

INRAE

Rapport d'activité
2023

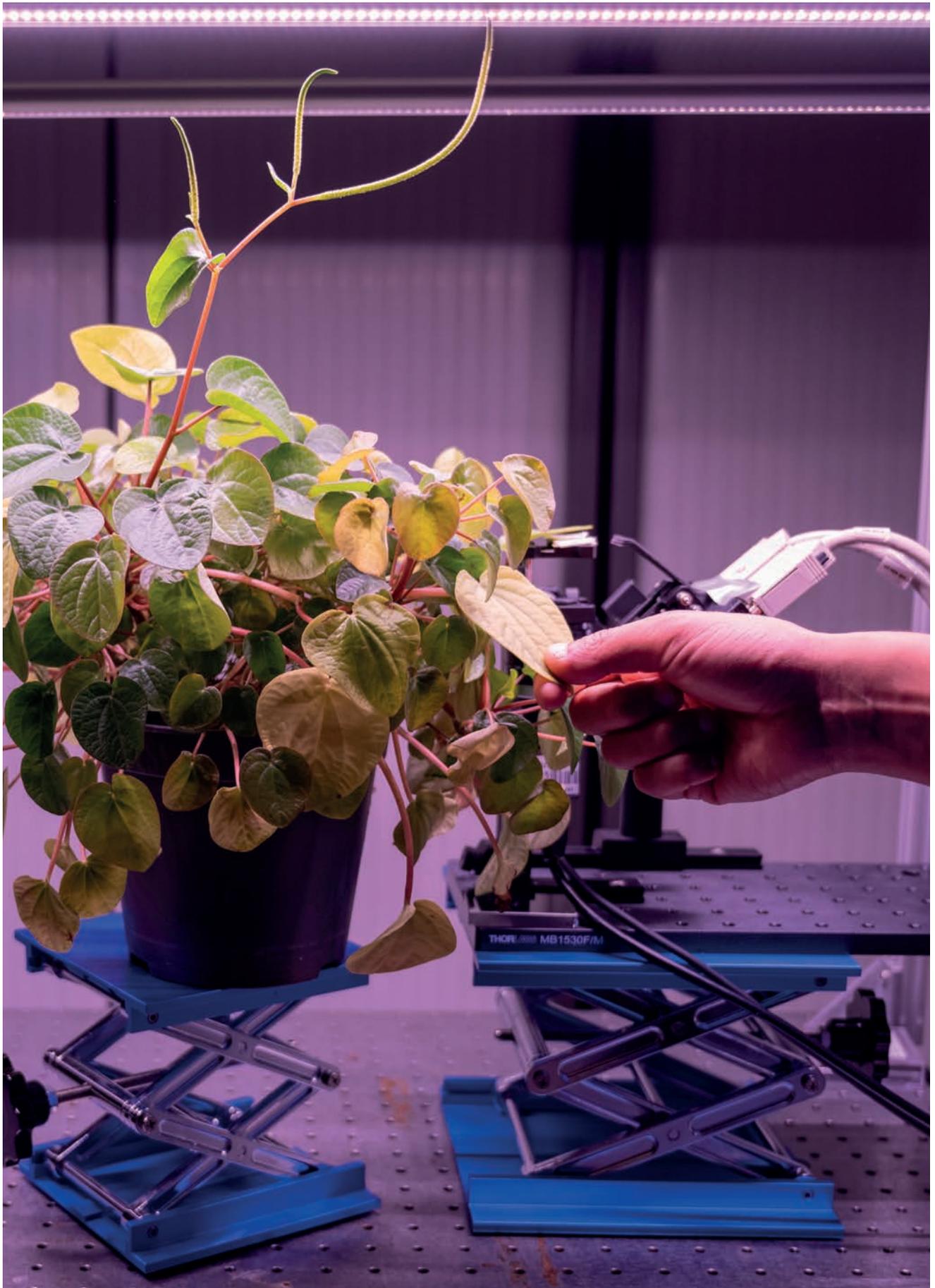
AE



Image de couverture

Fleur d'*Arabidopsis thaliana* exprimant le gène marqueur Gus dans ses étamines.

© INRAE - P. Mollier



^
Plante examinée avec une caméra hyperspectrale sur un banc de mesure optique. Laboratoire d'optique, UMR ITAP, Montpellier. ©INRAE · C. Maître



^
Chercheuse au Centre national de ressources génomiques végétales (CNRGV)
du centre INRAE Occitanie-Toulouse.
©INRAE - C. Maître

>
Plants d'*Arabidopsis Thaliana* dans une serre de l'institut
Jean-Pierre Bourgin. Centre INRAE Versailles.
©INRAE - B. Nicolas

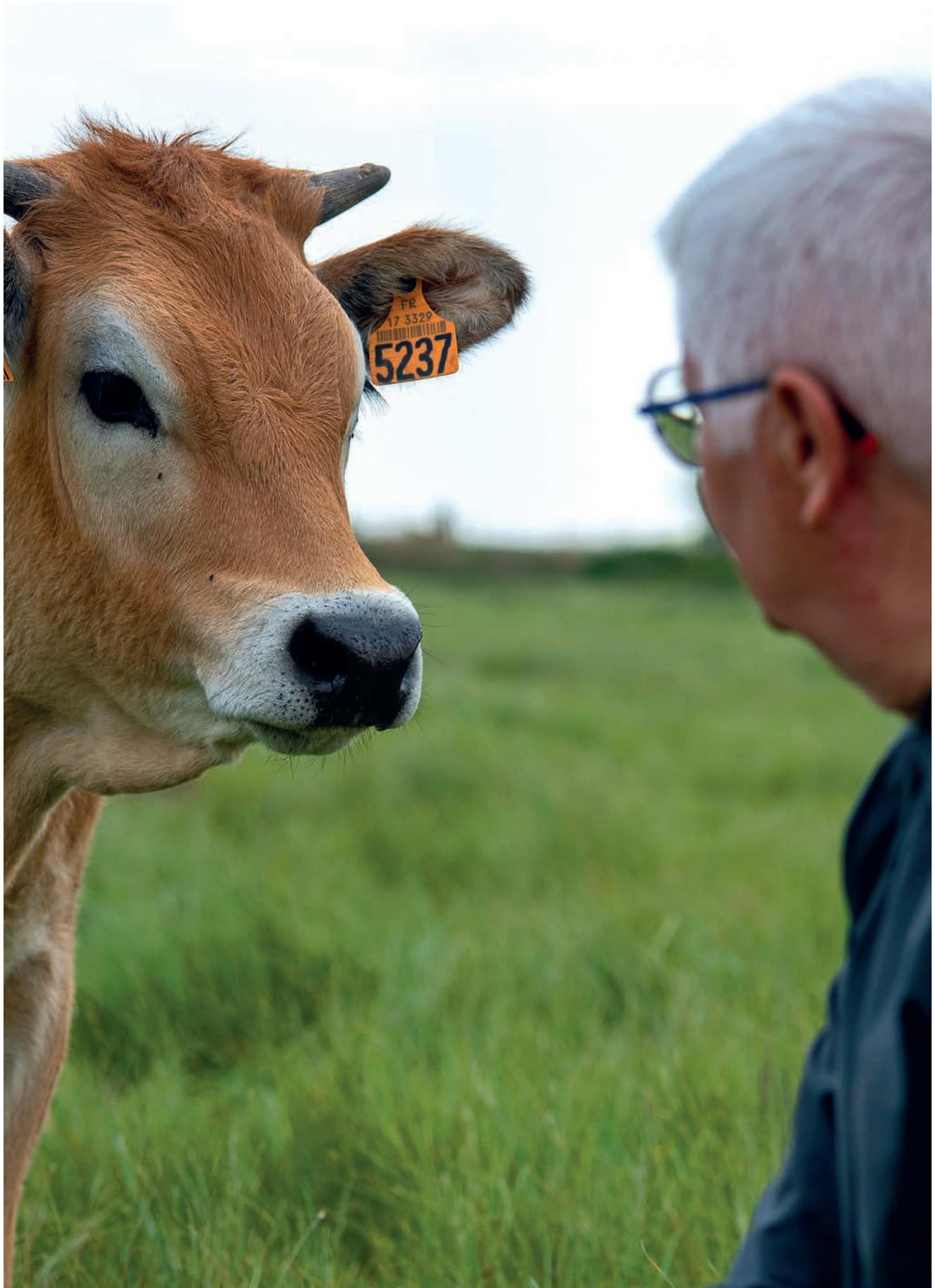




^
Réunion improvisée aux abords d'un verger du domaine
expérimental INRAE de Gotheron.
©INRAE - B. Nicolas

>
Expérimentation de microbiologie de l'alimentation
en « boîte à gants de laboratoire ». Unité Micalis, INRAE Jouy-en-Josas.
©INRAE - B. Nicolas





^
Veau de race maraîchine dans une prairie du domaine INRAE de Saint-Laurent de la Prée.
©INRAE - B. Nicolas



SOMMAIRE

PORTFOLIO

Orientations scientifiques en images
p.1

ÉDITO

Par Philippe Mauguin
Président-directeur général d'INRAE
p.8

TEMPS FORTS

Une année avec INRAE
p.12

Activités scientifiques

DÉPLOYER NOS ORIENTATIONS
SCIENTIFIQUES ET OSER LA RUPTURE !
p.18

ORIENTATIONS SCIENTIFIQUES
Comprendre les défis environnementaux
et gérer les risques associés
p.20

Accélérer les transitions agroécologiques
et agroalimentaires, en tenant compte
des enjeux économiques et sociaux
p.30

Une bioéconomie basée sur une utilisation
sobre et circulaire des ressources
p.42

Favoriser une approche globale
de la santé
p.48

Mobiliser les sciences de la donnée
et les technologies du numérique
au service des transitions
p.56

SCIENCE OUVERTE
p.62

Partenariats et impacts

FÉDÉRER L'EXPERTISE INTERNATIONALE
POUR PLUS D'IMPACT
p.66

International
p.68

Europe
p.71

Enseignement supérieur
et politique de sites
p.74

POUR UN APPUI AUX POLITIQUES PUBLIQUES
À TOUTES LES ÉCHELLES
p.78

Expertise et appui
aux politiques publiques
p.80

Partenariat et innovation
p.83

Vie des collectifs

UNE NOUVELLE DYNAMIQUE
DE RECRUTEMENT ET DE FIDÉLISATION
p.90

Ressources humaines :
attractivité et fidélisation en hausse
p.92

Une sobriété énergétique
exemplaire
p.94

La qualité de vie et les conditions
de travail, une priorité
p.96

Éthique de la recherche
et intégrité scientifique
p.98

Les Lauriers 2023
p.100

Nos scientifiques
distingués
p.102

Une communication
plus large
p.104

Organisation et chiffres-clés

Conseil d'administration
p.110

Conseil scientifique
p.111

Les Commissions scientifiques
spécialisées (CSS) et leurs présidents
p.112

Comité Éthique en commun
INRAE - Cirad - Ifremer - IRD
p.113

Effectifs ressources humaines
et budget
p.114

Partenariat et innovation
p.115

Filiales
p.116

Organigramme
INRAE
p.118

Centres et départements
de recherche
p.120



Directeur de la publication
Philippe Mauguin

Coordination éditoriale
Hélène Lucas, Sandrine Vinzant,
Élodie Ruhr et Aliette Maillard

Relecture
Élodie Ruhr

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

Direction artistique
Arnaud Veldeman

Conception graphique et réalisation
Studio Création INRAE

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

Dépôt légal
Juillet 2024
ISSN : 2804-004X

Face aux défis sociétaux, des recherches de haut niveau tournées vers l'impact



ÉDITO PAR

Philippe Mauguin

Président-directeur général
d'INRAE

8

Comme chaque année, en 2023, les femmes et les hommes d'INRAE se sont mobilisés pour faire progresser les connaissances par des recherches de haut niveau et pour proposer des innovations dans les domaines de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement, en interaction avec de nombreux partenaires. Ce rapport d'activité est le témoin de cet engagement et des avancées scientifiques qui symbolisent la richesse et la qualité des recherches menées par notre communauté.

Sous l'impulsion des pouvoirs publics, l'institut s'est particulièrement investi en 2023 pour le compte de la communauté scientifique nationale dans le cadre de France 2030, en concevant

et pilotant des programmes prioritaires de recherche : 10 Programmes prioritaires de recherche et 3 Grands Défis au cœur des priorités d'INRAE 2030. Ces projets ambitieux couvrent les domaines de l'agroécologie, du numérique et de la robotique, de l'alimentation, de la bioéconomie, des forêts, de la biodiversité, de l'eau et du cycle du carbone. INRAE a également renforcé en 2023 son action en matière de valorisation et d'impact. Au travers de notre filiale INRAE Transfert, nous coordonnons le volet prématuration de 2 projets soutenus par France 2030 qui associent les principaux acteurs français de l'enseignement supérieur et de la recherche engagés dans la prématuration et le transfert : ASTRAGAL dans les domaines de l'alimentation et de l'agriculture,

et BIOSCALE dans le domaine des produits biosourcés et des biotechnologies blanches.

Les équipes d'INRAE se sont également mobilisées, en partenariat avec les instituts techniques agricoles et les acteurs du développement, pour accompagner les agriculteurs dans la transition agroécologique et climatique, avec par exemple : de nouvelles solutions de protection des cultures dans de nombreuses filières comme la betterave, le colza ou les fruits et légumes, l'adaptation des cultures de céréales, des fourrages et de la vigne au changement climatique, des recherches sur la santé animale, qui ont contribué notamment au déploiement de la vaccination contre l'influenza aviaire hautement pathogène ou

encore de nouvelles avancées sur l'agrivoltaïsme et la méthanisation.

L'activité d'INRAE en 2023 a traduit la volonté de l'institut de renforcer son impact par l'expertise et l'appui aux politiques publiques. Tout en continuant à porter et à développer nos actions à l'échelle nationale et européenne, de nouvelles initiatives se sont concrétisées, notamment à l'échelle territoriale avec, par exemple, la signature d'un accord-cadre avec la métropole de Lyon, le tout premier avec une grande agglomération.

Notre capacité à constituer de larges consortiums de recherche à même de faire face aux grands défis de la planète s'est également illustrée au

des partenariats avec les acteurs clés de la recherche mondiale, illustrée par de nouveaux accords en Océanie, en Inde, en Amérique du Nord et au Japon. Notre ancrage scientifique international s'est également renforcé via le déploiement de nos instruments de coopération internationale : les laboratoires internationaux associés (LIA) et les réseaux de recherche internationaux (2RI).

INRAE s'implique avec conviction en matière de responsabilité sociétale et environnementale pour contribuer pleinement à l'atteinte des objectifs de développement durable d'ici 2030. 2023 a permis d'observer de belles avancées pour réduire l'impact de nos activités sur l'environnement. En

pour l'égalité entre les hommes et les femmes, la non-discrimination et l'inclusion ainsi que par le déploiement de nombreuses actions en faveur du développement des compétences et de la qualité de vie et des conditions de travail.

En matière d'attractivité de la recherche, les mesures financées par le ministère de la Recherche et de l'Enseignement supérieur dans le cadre de la loi de programmation de la recherche ont permis de mettre en œuvre une campagne de recrutements ambitieuse et de financer un schéma d'emploi stable pour le personnel titulaire. Cette politique permettra à l'établissement de conserver sa capacité à répondre au mieux aux enjeux sociétaux majeurs qu'il porte.

Le président de la République a annoncé le 7 décembre 2023 qu'il confiait à INRAE la mise en place de l'agence de programme qui coordonnera la communauté scientifique nationale dans les domaines de l'agriculture et l'alimentation durables, la forêt et les ressources naturelles (eau, sols, biomasses). La mise en œuvre de cette agence est d'ores et déjà engagée et cette responsabilité qui nous est accordée exprime la confiance des pouvoirs publics dans notre capacité à faire vivre une communauté scientifique riche de nombreux organismes, écoles et universités.

La période d'incertitudes que nous traversons sur le plan géopolitique comme sur celui du climat met en lumière les besoins impératifs de science, de recherche et d'innovations. À la lecture de ce rapport d'activité, je souhaite que vous perceviez que le collectif que nous formons est plus que jamais mobilisé. Notre action est résolument tournée vers la préparation du futur de notre agriculture, de nos systèmes alimentaires et de l'environnement. ●



Cette responsabilité qui est accordée à INRAE exprime la confiance des pouvoirs publics dans notre capacité à coordonner une communauté scientifique riche de nombreux organismes, écoles et universités.



niveau international avec le déploiement de l'initiative PREZODE pour la prévention des pandémies zoonotiques, la participation au lancement du One Forest Vision pour la protection des forêts tropicales mondiales ou encore par notre active participation à l'initiative TSARA pour renforcer la sécurité alimentaire en Afrique et dont j'assure actuellement la co-présidence avec mon collègue directeur général de l'Institut sénégalais de recherches agricoles.

Consécutives à la période de ralentissement des échanges internationaux compte tenu de l'épidémie de Covid-19, l'année 2023 est caractérisée par la reprise de la dynamique

matière de consommation d'énergie, la baisse de 10 % observée en 2022 s'est confirmée en 2023 pour atteindre 18 % par rapport à l'année 2021. Par ailleurs, nous avons lancé un ambitieux projet de transformation pour notre établissement avec la construction d'une trajectoire bas-carbone à horizon 2050. L'élaboration du bilan des émissions de gaz à effet de serre 2023 d'INRAE constitue une base importante qui nous permettra d'avancer vers l'adoption de cette trajectoire courant 2024. C'est un enjeu majeur pour notre établissement et plus largement pour la société.

L'engagement sociétal d'INRAE s'exprime également dans le plan annuel

Ae

1.



2.



1. Réunion des directrices et directeurs d'unités.
©INRAE / B. Nicolas

2. Séminaire d'encadrement.
©INRAE / B. Nicolas



Temps forts

6 janvier Lancement du Programme prioritaire de recherche Agroécologie et numérique

Copiloté par INRAE et l'Inria, ce PEPR financé à hauteur de 65 millions dans le cadre de France 2030 mobilise le numérique pour accélérer la transition agroécologique, au bénéfice de tous les agriculteurs.



2 mars INRAE acteur du One Forest Summit

INRAE contribue à ce sommet dédié à la conservation des forêts tropicales lancé par le président de la République, et s'implique comme co-coordonateur dans la nouvelle initiative One Forest Vision.



13 mars Lancement d'un LPA sur la robotique agricole avec Sherpa Engineering

Le laboratoire partenarial associé I-Smart vise à relever les défis de la robotique agricole en développant des outils et des méthodes d'évaluation de leur performance, de leur sécurité et de leur durabilité environnementale.

28 février Création du Pôle national de recherche, innovation et enseignement Agrivoltaïsme

Rassemblant 37 acteurs publics et privés, ce pôle fédère les recherches autour de la production agricole et électrique et vise le développement raisonné de la technologie photovoltaïque sur les terres agricoles.





24-31 mars
Partenariats en Australie et en Nouvelle-Zélande

Trois nouveaux accords-cadres sont signés avec les universités de Melbourne, du Queensland et l'Australian National University. En Nouvelle-Zélande, un programme JLC ainsi que 2 conventions LIA sont officialisés.

1^{er} juin
Alimentation durable des animaux d'élevage : un LIA avec l'université de Laval au Canada et AgroParisTech

Le LIA (laboratoire international associé) Nutri-Mod améliorera les connaissances sur les systèmes d'alimentation des animaux monogastriques, dans le but de favoriser la durabilité des élevages.

26 juin
1^{re} Journée d'atelier INRAE bas-carbone : tous les centres mobilisés

Une centaine d'agents a travaillé pendant une journée nationale autour de la vision idéale de notre institut bas-carbone à échéance 2050. Durant le mois de juin 1 350 propositions d'actions ont été recueillies.

29 juin
Accord-cadre avec la métropole de Lyon

INRAE et la métropole de Lyon mettront leurs expertises et dispositifs expérimentaux en commun pendant 10 ans pour des projets au service de la transition agricole, alimentaire et environnementale.



10 juillet
Innotech Day : 20 binômes entreprises/ labos pour booster l'innovation

Parmi les 20 entreprises labellisées lors du challenge InnoTech, le jury a récompensé 3 projets qui bénéficieront de 35 000 € pour co-financer l'apport d'expertise et de moyens des équipes INRAE, AgroParisTech et Institut Agro Montpellier.





14 septembre INRAE partenaire de 19 pôles universitaires d'innovation (PUI)

Financés par France 2030 à hauteur de 165 millions, les PUI permettront d'accélérer l'utilisation des résultats de la recherche. Parmi les 29 PUI labellisés par le ministère, INRAE en cofonde 19.

22 septembre Inauguration du Grand Défi Robotique agricole et de l'AgroTechnoPôle de Montoldre

Financé par l'État à hauteur de 21 millions, le Grand Défi Robotique agricole consolide la filière robotique agricole. La 1^{re} pierre de l'AgroTechnoPôle, qui sera le cœur des expérimentations robotiques, est posée en présence des ministres de la Recherche et de l'Agriculture.



18-19 octobre Participation à la Coalition mondiale pour l'alimentation scolaire

La coalition onusienne compte 100 organismes partenaires, dont INRAE. L'institut travaille avec le gouvernement français pour apporter un soutien scientifique aux politiques publiques en matière d'alimentation scolaire.



26 octobre INRAE et la Région Guadeloupe renouvellent leur partenariat

Cette signature permettra le renforcement des collaborations face aux grands défis auxquels l'île doit faire face : dérèglement climatique, préservation des ressources naturelles, souveraineté alimentaire.



21 novembre
Lancement du
consortium international
de recherche Soil Carbon

Démarré dans le cadre de la 1^{re} édition de la Mission européenne des sols à Madrid, ce consortium coordonné par INRAE ambitionne d'améliorer l'accès à la recherche et aux pratiques liées au carbone du sol.

7 décembre
INRAE pilote
une nouvelle agence
de programme

Le président de la République Emmanuel Macron confie à INRAE le pilotage de la nouvelle agence de programme thématique Agriculture et alimentation durables, forêts et ressources naturelles associées.



20 décembre
Renouvellement du
partenariat avec l'ACTA

INRAE et les 19 instituts techniques agricoles de l'ACTA renforcent leurs travaux communs pour concevoir des systèmes de production innovants durables, au service des filières agricoles et agroalimentaires.

4 décembre
Renouvellement du
partenariat avec le JRC

Le Centre commun de recherche de la CE (Joint Research Centre) et INRAE renouvellent leur partenariat (le seul entre le JRC et un ONR français). Il vise à renforcer l'appui aux politiques publiques européennes.





91/76



Activités scientifiques



Conservation sous forme lyophilisée de bactéries d'intérêt alimentaire. Ressources biologiques appartenant au Centre international de ressources microbiologiques.
Unité STLO - Rennes
©INRAE / J-C.Moschetti



Déployer nos orientations scientifiques et oser la rupture !



ENTRETIEN AVEC

Carole Caranta

Directrice générale déléguée
à la science et à l'innovation

Que reprenez-vous de 2023 ?

Un déploiement affirmé des orientations scientifiques de notre stratégie INRAE 2030, au travers de portefeuilles de programmes et de projets interconnectés au national, à l'Europe et à l'international, sans oublier les projets multi-acteurs dans les territoires (par exemple les projets Territoires d'innovation). Nous concilions ainsi des recherches fondamentales au meilleur niveau international et des recherches appliquées pour contribuer avec nos partenaires à des solutions concrètes pour accompagner la transformation des systèmes agricoles et alimentaires dans un contexte d'urgence climatique.

Par exemple, sur la thématique forêt, les recherches sont soutenues par le programme national de recherche Résilience des forêts (PEPR FORESTT), doté de 40 M€ dans le cadre de France 2030 et piloté par INRAE, le projet Horizon Europe EUFORE consacré à la structuration de la filière au niveau européen et l'initiative internationale One Forest Vision coordonnée avec nos partenaires du Cirad, qui va nous permettre de mobiliser les méthodes de surveillance les plus récentes (combinant études au sol à l'échelle du paysage, télédétection et IA), les sciences citoyennes et les pratiques durables pour préserver l'intégrité environnementale des forêts tropicales.

Sur la réduction des pesticides, nos travaux sont portés par la vision partagée de l'étude prospective « Une agriculture européenne sans pesticides chimiques en 2050 » que nous avons restituée en mars 2023, et alimentés par une diversité de programmes inter-



Le programme EXPLOR'AE, porté par INRAE au titre de la communauté nationale, ambitionne d'accélérer la recherche à risque et en rupture en agriculture, alimentation et environnement et de développer des impacts significatifs, en termes économiques, sociaux et environnementaux.



connectés. On peut par exemple citer les PEPR de la stratégie nationale « agriculture », ou encore le projet Marie-Curie Acropics, qui réunit 15 instituts européens autour de recherches et d'expérimentations sur le thème de la protection agroécologique des cultures. Je pourrais également parler du sujet alimentation-santé avec le Grand Défi Ferments du Futur, du démarrage du PEPR Alimentation-Microbiomes et du partenariat européen FutureFoodS.

Quelle est la priorité pour l'avenir ?

Celle de réussir le nouveau programme « recherche à risque » confié aux organismes nationaux de recherche par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et financé par France 2030. Ce programme EXPLOR'AE, porté par INRAE au titre de la communauté nationale, ambitionne d'accélérer la recherche à risque et en rupture en agriculture, alimentation et environnement et de développer des impacts significatifs, en termes écono-

miques, sociaux et environnementaux. Ce nouveau dispositif doit créer les conditions pour faciliter les ruptures conceptuelles ou technologiques. Pour une première année d'expérimentation, EXPLOR'AE bénéficie de 20 M€. Ouvert à tous les chercheurs sur le périmètre thématique du programme EXPLOR'AE, le projet est structuré autour de 3 piliers : acculturation des scientifiques à la recherche en rupture, exploration d'idées novatrices et transformation avec le financement, jusqu'à 2 M€, de projets prometteurs. Le séminaire de lancement du programme en janvier 2024 a réuni plus de 700 personnes autour d'experts comme Jean-Pierre Bourguignon, ancien président du Conseil européen de la recherche, Pascal Le Masson de Mines Paris, et les responsables du projet canadien AUDACE. Une plateforme de dépôt des idées d'exploration est ouverte depuis avril 2024 et les premières idées de recherches en rupture seront financées dès l'été. ●



Comprendre les défis environnementaux et gérer les risques associés



Prélèvement d'échantillon de branches au sommet d'un sapin pour mesurer le potentiel hydrique.
©INRAE - B. Nicolas

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 : enjeux pour les écosystèmes terrestres

Effet du dérèglement climatique sur les glaciers et évolution des écosystèmes

L'intensification du dérèglement climatique anthropique bouleverse notre planète, générant en particulier une rapide et inquiétante fonte des 210 000 glaciers qui couvrent 665 000 km² (hors calottes antarctique et groenlandaise). Une équipe franco-suisse a simulé l'évolution de ces glaciers et ses conséquences écologiques. Selon les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre d'ici 2100, la surface totale des glaciers devrait diminuer d'un quart à la moitié. Les espaces sans glace qui apparaîtront seront composés de zones terrestres (78 %), de dépressions sous-marines (14 %) et continentales (8 %), permettant respectivement le développement de grands écosystèmes terrestres (zones minérales, pelouses, landes, forêts, etc.), marins (fjords, lagons, littoraux) et d'eau douce (lacs, milieux humides, rivières). En fonction des projections climatiques, ces écosystèmes post-glaciaires seront soit de taille limitée et majoritairement soumis à des conditions écologiques extrêmes, offrant des refuges pour une biodiversité adaptée, soit vastes et caractérisés par des conditions écologiques plus favorables qui permettront l'arrivée d'espèces généralistes. Les glaciers et les écosystèmes post-glaciaires jouent un rôle fondamental pour faire face aux défis du dérèglement climatique, de l'accès à l'eau douce et de l'effondrement du vivant. Alors que l'ONU a déclaré 2025 comme l'année internationale de la préservation des glaciers, les auteurs de l'étude appellent à protéger les glaciers et les écosystèmes post-glaciaires par des mesures d'atténuation du changement climatique et de protection in situ.

Nature

doi.org/10.1038/s41586-023-06302-2

Quel avenir pour les stations de sport d'hiver européennes ?

Pour explorer les marges de manœuvre de l'industrie du tourisme de ski face au réchauffement climatique, une équipe franco-autrichienne impliquant des chercheurs d'INRAE et de Météo-France a étudié l'enneigement de plus de 2 000 stations dans 28 pays européens. Leurs résultats montrent que le risque climatique sur l'enneigement des stations de sport d'hiver est très hétérogène en fonction des massifs montagneux et en leur sein, et croît plus ou moins rapidement en fonction du niveau de réchauffement. 53 % à 98 % des stations de ski étudiées seront confrontées à un niveau de risque très élevé de faible enneigement dans le cas d'un réchauffement clima-



Langue gladière en montagne.
©INRAE - C. Slagmulder

tique planétaire de 2 °C et de 4 °C, respectivement. L'étude analyse les défis à relever pour les stations concernées, au croisement entre adaptation au changement, atténuation du changement climatique et développement soutenable du tourisme, notamment au regard de l'utilisation de neige artificielle.

Nature Climate Change

doi.org/10.1038/s41558-023-01759-5

Le nombre de feux et de surfaces brûlées pourrait tripler d'ici la fin du XXI^e siècle dans le Sud de la France

Pour appuyer la mission d'inspection interministérielle de 2023 portant sur l'extension des zones à risque d'incendie de forêt et de végétation, les chercheurs ont produit à la demande du ministère de l'Agriculture une étude de projection de l'activité des feux de forêt sous l'effet du changement climatique. Grâce au modèle probabiliste Firelihood, les activités de feu potentielles futures (en nombre de feux et surfaces brûlées) ont été estimées à plusieurs horizons temporels selon différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. Les projections ont été réalisées dans 19 départements du Sud-Est et Sud-Ouest de la France, avec un complément sur les autres départements métropolitains, produit avec un modèle simplifié. Les



simulations montrent une augmentation importante de l'activité des feux pouvant aller jusqu'à un triplement en fin de siècle, un allongement marqué de la saison de feu, ainsi qu'une expansion de la zone à risque dans l'arrière-pays méditerranéen et le Centre-Ouest de la France. L'étude a été reprise dans le rapport final de l'inspection générale pour estimer les changements multidimensionnels et classer le territoire national en 3 catégories pour l'adaptation des politiques publiques. Elle a été valorisée sous la forme d'un cours en ligne.

doi.org/10.17180/gpdj-xb05
<https://www.canal-u.tv/147359>

Vers une nouvelle histoire des forêts : les génomes de bois anciens livrent leurs secrets

Les chênes blancs composent plus du tiers des forêts européennes. Mieux comprendre leur histoire évolutive au cours des derniers 10 000 ans représente un enjeu pour prédire leurs réponses aux changements environnementaux actuels et à venir. Dans le cadre de l'ERC TreePeace, des scientifiques d'INRAE et du CNRS ont démontré qu'il était possible de générer des génomes complets à partir d'échantillons de bois vieux de 3 700 ans prélevés dans des sédiments humides. Grâce aux informations obtenues, les chercheurs ont pu déterminer l'origine des chênes anciens. La diversité génétique des chênes au cours des derniers millénaires est apparue stable, en dépit des multiples changements environnementaux qui ont eu cours pendant cette période. En s'appuyant sur des modèles de prédiction génomique, les chercheurs ont pu déterminer que les 3 vestiges séquencés provenaient d'arbres à débournement tardif des bourgeons. Ces résultats soulignent la valeur inestimable du bois préservé en milieu humide pour l'obtention de paléogénomes d'arbres. Ils ouvrent des perspectives majeures pour mieux comprendre les écosystèmes fores-

siers du passé, leur réponse face aux changements climatiques et leur exploitation par les humains sur des temps historiques.

Molecular Ecology
doi.org/10.1111/mec.16859

Les microorganismes du sol : un élément essentiel de leur stabilité

Les sols sont constitués de minéraux, de matière organique et hébergent une très grande diversité d'organismes (notamment bactéries, champignons, invertébrés, virus). Bien qu'étant essentiels au maintien de la production agricole et à la durabilité de la vie sur la planète, les sols sont menacés par les activités humaines et le changement climatique. Un article de synthèse décrit les processus par lesquels les microorganismes modifient les propriétés physico-chimiques des sols et comment ils peuvent être affectés en retour si ces changements persistent dans le temps. Les processus liés à la présence des microorganismes comme la production d'exopolysaccharides, la



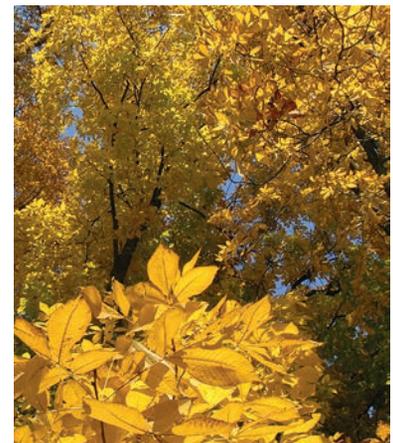
Récupération sur le terrain de capsules remplies de terre pour piéger la microflore du sol. Unité Agroécologie à Dijon.
 ©INRAE - C. Maître



BRÈVE

Une bourse ERC pour étudier la dynamique des forêts à partir des feuilles

Marc Peaucelle est lauréat d'une bourse ERC Starting Grant du Conseil européen de la recherche pour son projet LeafPace qui a pour ambition de comprendre le cycle de vie des feuilles d'arbres et leur réponse aux changements environnementaux et aux événements climatiques extrêmes. Ses travaux, essentiels pour évaluer la résilience des forêts, mobiliseront modélisation des processus, observations expérimentales et télédétection satellitaire.



© INRAE



Satellites et intelligence artificielle au service du suivi de l'évolution des forêts de la planète

ENTRETIEN AVEC

Jean-Pierre Wigneron

UMR ISPA
(Interactions sol plante atmosphère)

Comment une forêt passe-t-elle d'un état de puits à un état de source de carbone ?

Les forêts jouent un rôle essentiel dans la séquestration du carbone et l'atténuation du changement climatique. Dans des conditions environnementales et sylvicoles favorables, la biomasse de la forêt s'accroît : elle capte du carbone depuis le CO₂ de l'atmosphère et constitue un puits de carbone. Inversement, une forêt devient source de carbone lorsque sa biomasse diminue sous l'effet de contraintes et de changements liés à l'environnement et/ou aux activités humaines. Les conditions environnementales (tempêtes, attaques par des parasites et des maladies, sécheresse, etc.), dont les effets sont souvent conjugués et successifs, affaiblissent les arbres et peuvent conduire à leur mortalité. L'augmentation, en intensité et en fréquence, des événements climatiques extrêmes, et en particulier les sécheresses, accélère

“

En France et en Europe, beaucoup d'espèces forestières ne sont plus adaptées aux températures élevées et aux sécheresses actuelles et la forêt subit de fortes dégradations.

”

le rythme des dégradations des forêts en place et des replantations. La biomasse totale de la forêt diminue aussi sous l'effet des activités humaines (déforestations, coupes, feux, etc.). Grâce à une nouvelle méthode d'analyse d'images satellitaires, nous avons, dans le cadre d'une équipe internationale de recherche, cartographié pour la première fois les évolutions annuelles de la biomasse forestière mondiale entre 2010 et 2019. Nous avons mis en évidence que les forêts boréales et tempérées sont devenues les principaux puits de carbone au niveau mondial. Les forêts tropicales, plus anciennes mais dégradées, notamment par la déforestation, les feux et les sécheresses, sont désormais presque neutres en carbone.

Les écosystèmes forestiers ont-ils atteint un point de bascule ?

On parle de point de bascule quand la perte de biomasse/biodiversité devient irréversible et que la reconstitution de l'écosystème forestier originel n'est plus possible. La situation est préoccupante sur tous les continents. En France et en Europe, beaucoup d'espèces forestières ne sont plus adaptées aux températures élevées et aux sécheresses actuelles et la forêt subit de fortes dégradations. Il est probable que le point de bascule a été dépassé et qu'on ne pourra pas reconstituer à l'identique certaines forêts très dégradées. Il est donc essentiel de diversifier nos forêts avec des espèces plus adaptées aux nouvelles conditions pour éviter l'effondrement du couvert forestier et de la biodiversité associée.

Vos travaux utilisent-ils l'intelligence artificielle (IA) ?

Les méthodes de télédétection que nous employons utilisent l'IA depuis longtemps. Mais l'amélioration des mé-

thodes d'IA, de la performance des outils informatiques et la disponibilité de séries de données satellitaires de très haute qualité des satellites de l'Agence spatiale européenne ont permis des progrès révolutionnaires ces dernières années. Ainsi, avec le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (CEA-CNRS-UVSQ), nous avons pu réaliser une carte de la biomasse des forêts françaises en 2020 avec une résolution de 30 m pour la biomasse et 10 m pour la hauteur !

Comment allez-vous contribuer au projet international One Forest Vision ?

L'initiative, lancée lors du One Forest Summit en mars 2023, vise à valoriser ces méthodes d'IA dans le suivi des forêts du continent africain, et plus largement des tropiques. Grâce à l'IA appliquée à l'imagerie satellitaire et aérienne à haute résolution, associée aux observations LiDAR (mesures de hauteur) et aux données d'inventaire au sol, nous pourrions produire des cartes annuelles des forêts (hauteur, biomasse, structure, indicateurs de diversité) et un suivi des activités liées à la déforestation et à la dégradation. Ces cartes seront centrales pour contribuer au suivi de l'intégrité environnementale des forêts à haute résolution, jusqu'au niveau de l'arbre dans certains écosystèmes forestiers.

Nature Geoscience
doi.org/10.1038/s41561-023-01274-4
Earth System Science Data
doi.org/10.5194/essd-15-4927-2023
Nature
doi.org/10.1038/s41586-022-05653-6

>

précipitation de carbonate de calcium, la biodégradation de contaminants, l'altération biologique des roches, la production de composés hydrophobes et de biosurfactants, peuvent aussi être utilisés pour lutter notamment contre l'érosion, la pollution, le déséquilibre en nutriments des sols mais aussi contre les changements climatiques et leurs effets. Cette synthèse montre le potentiel de solutions fondées sur la nature pour répondre aux défis posés par le changement climatique et les menaces pesant sur les sols, en utilisant la capacité des communautés microbiennes à modifier physiquement et/ou chimiquement leur environnement.

[Nature Review Microbiology](https://doi.org/10.1038/s41579-023-00980-5)
doi.org/10.1038/s41579-023-00980-5

Complémentarité de systèmes de culture et d'élevage pour plus de résilience face au changement climatique

Le développement de systèmes territoriaux basés sur des échanges entre les cultures et les élevages est considéré comme une opportunité d'accroître la durabilité et la résilience des systèmes agricoles spécialisés face aux perturbations climatiques. Les chercheurs d'INRAE et du Joint Research Centre ont mis au point une approche d'évaluation

et de modélisation intégrées, basée sur la plateforme MAELIA, pour analyser la durabilité et la résilience socio-économique et environnementale d'un système territorial culture-élevage sous 2 scénarios climatiques. Le potentiel de cette approche a été testé et démontré dans un cas d'étude vendéen où 5 exploitations agricoles cultivent des légumineuses à graines pour fournir à 2 exploitations d'élevage des aliments riches en protéines afin de relocaliser l'alimentation des bovins laitiers. Les résultats montrent que l'organisation synergique entre les 2 types d'exploitations permettrait d'atteindre l'autosuffisance en protéines, d'augmenter la durabilité socio-économique et d'atténuer le changement climatique. En revanche, la dégradation de certaines performances environnementales souligne la nécessité de mettre en œuvre des pratiques de gestion améliorées comme l'introduction de cultures intermédiaires. Face au changement climatique, cette nouvelle organisation conduirait à une augmentation globale de la variabilité des performances mais à une plus grande résistance aux chocs climatiques.

[Journal of Cleaner Production](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139646)
doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139646

BRÈVES

Comment préserver le carbone des sols en outre-mer et atténuer le changement climatique ?

Coordonnée par le Cirad en partenariat avec INRAE et l'IRD, l'étude « 4 pour 1 000 » outre-mer dresse un bilan inédit des stocks de carbone du sol des territoires ultramarins. Les auteurs formulent des recommandations opérationnelles et de recherche aux décideurs pour préserver ces stocks élevés et répondre aux grands enjeux de l'agriculture face au changement climatique au niveau national et territorial.
agritrop.cirad.fr/603751/

METHANE 2030 : une démarche collective pour réduire le méthane entérique



En France, l'agriculture compte pour 19 % des émissions de gaz à effet de serre, et l'élevage y contribue à 48 %. Le potentiel de réduction dans les élevages est de l'ordre de 50 % en combinant différents leviers : sélection génétique, conduite du troupeau, alimentation des animaux et additifs, etc. Le programme filière METHANE 2030, porté par Apis-Gené, rassemble de nombreux acteurs français dont INRAE. L'ambition de METHANE 2030 est d'impacter durablement le secteur de l'élevage bovin français en visant une réduction de 30 % en 10 ans des émissions de méthane des filières bovines.

<

Travail pour établir le lien entre la qualité de l'herbe pâturée par les vaches et celle des produits qui en sont issus. Unité mixte de recherche sur les herbivores (UMRH), Auvergne-Rhône-Alpes.
©INRAE - C. Maître



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



Prélèvements d'échantillons de végétaux pour un suivi des populations dans le lac de Carcans-Hourtin (33).
©INRAE-B. Nicolas



La biodiversité des écosystèmes d'eau douce sous pression

En raison d'une longue histoire de pressions anthropiques, les écosystèmes d'eau douce sont parmi les plus vulnérables aux pertes de biodiversité. Une méta-analyse de 1 816 séries chronologiques de communautés de macro-invertébrés d'eau douce, collectées dans 22 pays européens entre 1968 et 2020, a permis de quantifier la biodiversité taxonomique et fonctionnelle au fil du temps, ainsi que sa réponse aux pressions et aux gradients environnementaux. Les gains de biodiversité observés dans les années 1990 et 2000 reflètent probablement l'efficacité des projets d'amélioration et de restauration de la qualité de l'eau, mais la trajectoire de ralentissement dans les années 2010 suggère que les mesures actuelles sont moins performantes. Compte tenu des pressions nouvelles et persistantes

sur les écosystèmes d'eau douce, y compris les polluants émergents, le changement climatique et la propagation des espèces envahissantes, les chercheurs appellent à des mesures d'atténuation supplémentaires pour relancer le rétablissement de la biodiversité des écosystèmes d'eau douce.

Nature

doi.org/10.1038/s41586-023-06400-1

Comment prédire l'impact d'introduction d'espèces exotiques dans les lacs d'altitude ?

L'impact des espèces exotiques sur la dynamique des écosystèmes reste mal connu du fait de la difficulté de prendre en compte l'ensemble des interactions écologiques régissant les relations entre les espèces. Les lacs soumis à des introductions piscicoles ont tendance à héberger des réseaux trophiques moins stables que ceux non

soumis à des introductions. L'analyse de données décrivant la biodiversité de 18 lacs d'altitude français soumis à différentes politiques d'introductions piscicoles a montré que la déstabilisation des réseaux trophiques due aux introductions piscicoles est principalement induite par l'augmentation de la longueur des chaînes trophiques en lien avec la taille des poissons introduits. Le nombre d'espèces de poissons introduits, leur taille mais aussi les caractéristiques de la biodiversité native permettent de prédire les impacts des introductions piscicoles sur la stabilité des réseaux trophiques des lacs d'altitude. Ces résultats mettent en évidence l'intérêt d'une approche basée sur l'analyse des réseaux trophiques pour caractériser l'impact des espèces exotiques dans les écosystèmes naturels.

Ecology Letters

doi.org/10.1111/ele.14290



BRÈVE

Lancement d'un laboratoire partenarial associé pour mieux gérer les écosystèmes aquatiques

Le LPA MODMAF associe l'unité mixte de recherche ECOBIOP, qui étudie le fonctionnement des populations de poissons sous l'effet des changements environnementaux, et l'entreprise SCIMABIO Interface, qui développe des méthodes et technologies nouvelles intégrant les dernières avancées scientifiques et en assure leur transfert opérationnel. MODMAF a pour objectif principal de faciliter le transfert de connaissances et d'outils vers les acteurs de la gestion des écosystèmes aquatiques, en particulier ceux mobilisés sur la démographie et les déplacements des différentes espèces de poissons.



▼
Invasion par la jussie dans le parc naturel régional de Brière en Loire-Atlantique.
©INRAE - A.Thomas

26

>

Les fourmis légionnaires à l'avant-garde de la description et de la surveillance des virus d'écosystèmes tropicaux

On estime que moins de 1 % des virus présents sur Terre auraient été identifiés à ce jour. De fait, les virus, extrêmement divers, restent mal décrits et caractérisés dans les environnements naturels, particulièrement dans les forêts tropicales. Des chercheurs d'INRAE, du Cirad et de l'IRD ont analysé le virome d'une forêt tropicale africaine en utilisant les fourmis légionnaires. Ces insectes, agissant en tant que brouteurs, charognards et prédateurs sociaux, ont été étudiés à travers 209 échantillons provenant de 29 colonies. En utilisant des techniques avancées de séquençage à haut débit, les chercheurs ont révélé une diversité impressionnante de séquences virales, provenant de 157 genres et 56 familles différentes, infectant les fourmis mais aussi les organismes qui leur servent de nourriture, incluant bacté-

ries, plantes et animaux divers. Ces résultats mettent en lumière l'intérêt des fourmis légionnaires et d'animaux similaires comme échantillonneurs naturels pour étudier les communautés virales dans les écosystèmes tropicaux complexes. Ils fournissent des informations essentielles sur la composition et la structure des communautés virales et ouvrent de nouvelles perspectives pour la recherche en écologie dans des environnements naturels difficiles d'accès.

Peer Community Journal
doi.org/10.24072/pcjournal.249

Espèces envahissantes aquatiques : comment mieux les contrôler ?

Les espèces invasives comme la jussie, présente dans le parc naturel régional de Brière en Loire-Atlantique, sont particulièrement problématiques dans les milieux aquatiques. Les gestionnaires des parcs naturels manquent d'outils pour définir des

stratégies de lutte adaptées à leurs moyens financiers réduits. Des chercheurs d'INRAE proposent un outil associant évaluation des dommages, coûts du contrôle et propagation spatiale et dynamique. En effet, l'évaluation des moyens financiers à affecter au traitement des zones envahies nécessite la mise en place d'une règle de décision basée sur un critère coût-bénéfice, débouchant sur une mise en priorité des zones et espèces à traiter. Ils montrent que, compte tenu du budget annuel de contrôle du parc régional de Brière, il est pertinent d'investir la totalité du budget sur une seule zone envahie du parc. L'étude montre que des moyens plus conséquents que ceux actuellement attribués aux parcs naturels seraient nécessaires d'un point de vue socio-économique, et seraient justifiés au vu de leurs bénéfices comparés au coût des politiques de contrôle.

Science of the Total Environment
doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162675

À la recherche de la diversité génétique perdue : de l'utilité de la conservation des ressources génétiques

La diversité génétique fait l'objet de nombreuses études pour caractériser son potentiel pour adapter les animaux d'élevage à de nouvelles conditions de milieu. Alors que les mesures de conservation visent principalement à limiter son érosion au fil des générations, des chercheurs INRAE ont proposé une approche originale de réintroduction de diversité à partir de ressources génétiques cryoconservées. L'utilisation de la semence congelée d'un taureau de la race Abondance appartenant à une famille ancienne, et réintroduit comme reproducteur 27 ans après sa naissance (soit 6 à 9 générations plus tard), a permis de réintroduire de la diversité génétique perdue au cours du temps dans la race Abondance. Les résultats obtenus démontrent l'efficacité à court et à long terme de cette approche, qui pourrait s'appliquer à d'autres races domestiques ou à des populations sauvages menacées. Cet exemple souligne l'importance de la conservation des ressources génétiques et le rôle des centres de ressources biologiques (CRB) comme outil de gestion dynamique de la diversité génétique, au-delà de leur rôle de sauvegarde des populations en cas de disparition.

Genetics Selection Evolution
doi.org/10.1186/s12711-023-00801-6

Cryoconservation de paillettes de spermatozoïdes animaux pour la conservation de la diversité génétique.
©INRAE - C. Maître

BRÈVE

FRUITDIV : un nouveau projet européen Horizon Europe pour exploiter la diversité génétique sauvage des arbres fruitiers et favoriser la durabilité de l'arboriculture

L'objectif de FRUITDIV est d'accélérer l'introgession de caractères agronomiques d'intérêt des espèces sauvages fruitières vers les variétés améliorées tels que la résilience, la résistance aux ravageurs et aux maladies et la qualité des fruits. FRUITDIV (2024-2028) est coordonné par INRAE et repose sur un consortium interdisciplinaire et multi-acteur de 27 partenaires provenant de 10 pays de la communauté européenne et 4 pays associés.

À LIRE

La biodiversité domestique - Vers de nouveaux liens entre élevage, territoires et société

L'ouvrage réinterroge la diversité des populations animales utilisées en élevage ainsi que la place des races locales. La question de la diversité des animaux d'élevage est abordée en tenant compte de la pluralité des pratiques humaines pour la gérer, l'utiliser et la valoriser. Elle est aussi appréhendée au travers de ses relations avec le reste du vivant.



Lauvie A., Audiot A., Verrier E. (coord.)
Éditions Quae, 2023, 266 pages



Compréhension et mobilisation des mécanismes d'adaptation du vivant

Mimosa.
©INRAE - M. Granada-Aguledo



Plantes et bactéries collaborent depuis des millions d'années pour valoriser l'azote de l'air

Quatre grands groupes de plantes de l'ordre des fabales, fagales, cucurbitales et rosales sont capables d'assimiler l'azote de l'air grâce à des associations symbiotiques avec des bactéries du sol et la formation de nodules racinaires qui hébergent ces bactéries. Cette symbiose fixatrice d'azote est vraisemblablement apparue il y a 90 à 110 millions d'années dans un ancêtre commun à toutes ces plantes. La comparaison de l'expression des gènes de 9 plantes symbiotiques appartenant à des branches phylogénétiques distinctes a permis d'identifier le programme génétique symbiotique ancestral qui était probablement déjà en place dans leur ancêtre commun. Plus d'un millier

de gènes devaient être exprimés lors de cette symbiose ancestrale, permettant aux plantes de percevoir les signaux chimiques produits par leurs bactéries symbiotiques et de former des nodules pour accueillir ces dernières dans leurs tissus. La capacité à héberger les bactéries au sein des cellules des nodules, une propriété spécifique de certaines légumineuses, serait quant à elle apparue au moins 2 fois indépendamment au cours de l'évolution, chez les *Papilionoideae* et les *Mimosoideae*. Ces connaissances permettent d'envisager la création de nouvelles symbioses fixatrices d'azote chez les plantes d'intérêt agronomique pour réduire l'utilisation d'engrais azoté.

Nature Plants
doi.org/10.1038/s41477-023-01441-w

Symbiose entre arbres et champignons : rôle de l'épigénétique

Très présente dans les écosystèmes forestiers des régions tempérées et boréales, la symbiose entre les racines des arbres et les champignons du sol, ou mycorhization, est cruciale pour la nutrition des arbres et leur capacité à s'adapter à l'environnement. Des chercheurs INRAE-université de Lorraine et de l'université d'Orléans, en collaboration avec des scientifiques du CEA, d'Espagne et des États-Unis, ont montré que l'établissement de la symbiose du peuplier avec un champignon ectomycorhizien fait intervenir des processus épigénétiques. Des lignées de peuplier dont la méthylation de l'ADN génomique était diminuée ont montré une baisse du potentiel de mycorhization, jusqu'à plus de 40 % pour une des lignées. Ces résultats suggèrent un rôle central de la méthylation de l'ADN de l'arbre hôte dans la capacité à former l'association symbiotique et donc à assurer un bon développement de l'arbre. Un remodelage de l'ADN du partenaire fongique induit par l'hôte a également été remarqué. Cette étude pionnière ouvre un nouveau champ d'exploration pour mieux comprendre la symbiose entre 2 organismes vivants.

New Phytologist
doi.org/10.1111/nph.18734

La sélection génétique pour endiguer la propagation de la maladie la plus répandue dans les élevages de bars en mer

La nodaviriose est une maladie virale qui peut provoquer des hécatombes dans les élevages de bars. Préférant les eaux chaudes (autour de 25 °C), ce virus sévit plutôt en Méditerranée et notamment en Grèce, en Italie et en Turquie, là où se concentrent les



Élevage de bars et dorades en Méditerranée.
© Tsuguliev

plus grands élevages de bars en Europe. En se répliquant au sein de l'organisme infecté, il provoque des lésions cérébrales qui altèrent le comportement de nage et causent le plus souvent une hémorragie cérébrale létale. Des équipes de l'Ifremer et d'INRAE, en collaboration avec l'Anses, le SYSAAF et des écloseries professionnelles, ont identifié une région génomique impliquée dans la résistance à la nodaviriose et porteuse de 2 gènes réduisant potentiellement la réplication du virus. Les populations de bars homozygotes pour l'allèle résistant de cette région affichent des taux de survie de 80 % lorsqu'elles sont mises en contact avec le virus. Suite à cette découverte, les scientifiques et les professionnels des écloseries françaises de bars, qui fournissent plus de 20 % des bars élevés en Méditerranée, ont démarré un nouveau projet pour sélectionner des bars plus résistants face à cette maladie. Un enjeu de taille pour tendre vers une aquaculture plus durable.

Genetics Selection & Evolution
doi.org/10.1186/s12711-023-00805-2

Transmission des effets de l'environnement à travers les générations

Dans le cadre du projet européen H2020 GEroNIMO, les chercheurs INRAE proposent un nouveau modèle mathématique pour détecter et quantifier la transmission à travers les générations des effets induits par l'environnement sur les organismes via les facteurs non génétiques transmissibles tels que le microbiote, les marques épigénétiques et le comportement. Ces facteurs ont en effet été rapportés comme des éléments clés de l'adaptation à de nouvelles contraintes environnementales chez les espèces sauvages. Le modèle permet d'identifier, à partir des seuls enregistrements des performances des animaux, s'il existe des conditions d'élevage des reproducteurs ayant des répercussions bénéfiques sur leurs descendants pendant plusieurs générations. À terme, la mise en évidence d'effets environnementaux transmissibles permettra d'identifier les modifications des pratiques d'élevage à mettre en œuvre pour faciliter l'adaptation des animaux. Dans un contexte où des transitions rapides sont attendues, la prise en compte des effets non génétiques transmissibles pour la sélection des futurs reproducteurs pourrait faciliter une adaptation plus rapide des animaux, en complément de la sélection par voie génétique.

Genetics Selection Evolution
doi.org/10.1186/s12711-023-00833-y

BRÈVES

Quels sont les premiers ancêtres de nos poissons modernes ?

Une controverse scientifique vieille de 50 ans portait sur la question de savoir quel groupe de poissons téléostéens, celui des poissons arowanas ou des anguilles, était le plus ancien. Une étude d'INRAE, du CNRS, de l'Institut Pasteur, de l'Inserm et du Muséum national d'histoire naturelle met fin au débat en montrant, grâce à l'analyse de leurs génomes, que ces poissons forment en réalité un seul et même groupe phylogénétique, baptisé *Elosteoglossocephales*. Ces résultats éclairent de façon nouvelle l'histoire évolutive des poissons.

Science
doi.org/10.1126/science.abq4257

Origine du bovin Créole

L'analyse de la séquence du génome de 23 bovins Créoles de Guadeloupe a confirmé la contribution plus élevée des ascendances zébus (36 % du génome) et taurines (35 % du génome) africaines par rapport à l'ascendance européenne (29 %). Cinq régions soumises à sélection hébergent des gènes associés à des fonctions importantes pour l'élevage en milieu tropical, telles que l'immunité et la résistance aux maladies, la solidité du squelette et la tolérance à la chaleur. Ces travaux confirment l'intérêt du bovin Créole comme ressource génétique patrimoniale et renforcent l'intérêt pour sa conservation et son exploitation dans un programme participatif de sélection du bovin Créole.

Scientific Reports
doi.org/10.1038/s41598-023-38774-7



Accélérer les transitions agroécologiques et agroalimentaires, en tenant compte des enjeux économiques et sociaux



>
Cantharide, petit coléoptère efficace pour la lutte contre les pucerons et la protection des cultures.
©INRAE - B. Nicolas

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 se limitent pas à une problématique technique, les recherches abordent aussi certains des enjeux socioéconomiques qui leur sont associés.



Renforcer la compréhension des processus de transition

Réduire les engrais synthétiques en Europe : impacts économiques et environnementaux

Près de la moitié des apports d'engrais azotés sont perdus dans l'environnement, polluant l'air, l'eau et les sols, affectant la santé humaine et la diversité biologique et contribuant à l'effet de serre. Les impacts économiques d'un scénario de réduction de 50 % de l'usage de l'azote synthétique en Europe ont été modélisés. Les résultats indiquent que, dans les conditions actuelles, cette réduction entraînerait une baisse de la production agricole, une augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'azote et la diminution de la compétitivité de l'agriculture européenne. Néanmoins, les bénéfices découlant de cette réduction en termes d'atténuation du changement climatique et de préservation de la biodiversité dépasseraient les coûts associés à la diminution de la production agricole. La réduction de 50 % de l'usage de l'azote synthétique en Europe pourrait conduire à une augmentation de l'utilisation d'azote synthétique et des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial, en raison d'un transfert des productions dans des régions à moindre efficacité d'utilisation de l'azote. Ces résultats indiquent qu'il est essentiel d'analyser l'utilisation de l'azote et son impact en utilisant une approche globale, non seulement en prenant en compte la réduction de l'utilisation de l'azote synthétique en Europe, mais également en promouvant l'évolution de la demande alimentaire en Europe et la durabilité des pratiques agricoles à l'échelle de la planète.

[Applied Economic Perspectives and Policy](#)

doi.org/10.1002/aapp.13391

[Review of Agricultural, Food and Environmental Studies](#)

doi.org/10.1007/s41130-022-00173-3

Analyser les freins et les leviers à l'innovation pour accompagner la transition des systèmes agrialimentaires

La transition vers des systèmes agrialimentaires durables demeure un défi majeur, entravée par des verrous sociotechniques. Malgré l'efficacité prouvée de certaines pratiques agroécologiques, leur adoption par les agriculteurs reste trop rare. Ce constat souligne l'importance de comprendre les facteurs complexes qui influencent la mise en œuvre de ces pratiques, dépassant le seul domaine des exploitations agricoles pour englober l'organisation des chaînes de valeur, les territoires et les stratégies des acteurs dans les systèmes agroalimentaires. Sur la base de recherches antérieures, un *Guide méthodologique de diagnostic sociotechnique* a été élaboré par

▼
Pulvérisateur automoteur pour tous les traitements phytosanitaires.
©INRAE - C. Maître



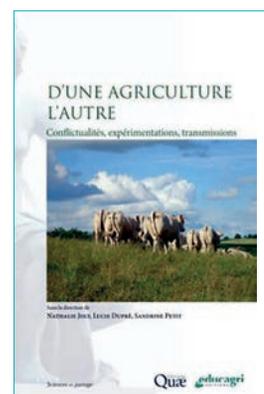
31

À LIRE

D'une agriculture l'autre.

Conflictualités, expérimentations, transmissions

Dans un contexte de crises, de conflits, d'accentuation du changement climatique et d'incertitude, quels devenir pour les agriculteurs et les agricultures ? Cet ouvrage explore les transformations qui s'opèrent dans les exploitations agricoles, en particulier les expérimentations collectives, les nouvelles pratiques et les transmissions de savoirs et de patrimoines. En analysant le changement au plus près des agriculteurs, il fournit une vision actuelle des mondes agricoles. Il invite à considérer la territorialisation comme un horizon souhaitable de la transition, qui demande à penser ensemble les questions écologiques, agricoles et de territoire, dans la complexité de leurs articulations.



Jolie N., Dupré L., Petit S. (coord.)
Éditions Quae/Educagri, 2023, 152 p.

>

un collectif de chercheurs pour analyser les réseaux d'acteurs influençant le processus d'innovation. Cette démarche permet d'identifier les freins et leviers au changement de pratiques, qui relèvent de facteurs agronomiques, techniques, cognitifs, économiques, politiques et sociaux. Le guide offre une approche structurée aux acteurs de la recherche engagés avec leurs partenaires de terrain dans des processus d'innovation. Mis en œuvre avec succès dans des cas concrets, ce guide encourage la collaboration et appuie la conception d'innovations adaptées aux réalités des systèmes agrialimentaires, contribuant à la transition.

INRAE

doi.org/10.17180/w78m-dn95

La conception pas à pas : une approche au service de la transition agroécologique

Les travaux sur la co-conception de nouveaux systèmes agricoles sont de plus en plus nombreux, mais restent avant tout focalisés sur la conception de novo, sans s'attacher à la dynamique du changement. En s'appuyant sur 9 études de cas de chan-

gement de pratiques dans des fermes commerciales ou expérimentales, en grande culture, maraîchage ou polyculture-élevage, en France ou en Afrique de l'Ouest, les chercheurs proposent une approche innovante de conception de systèmes de culture ou d'élevage, la conception pas à pas. Cette approche organise, à moyen et à long terme, le changement technique progressif vers un inconnu désirable et la production de connaissances situées nécessaires à ce changement. Le processus de conception est alimenté par la mise en action dans des situations agricoles réelles. Il est structuré par des boucles itératives (diagnostic-exploration-mise en œuvre-évaluation), sources d'apprentissages pour les concepteurs. Cette approche est bien adaptée à la gestion de la transition agroécologique par sa temporalité (organisation du changement de pratiques sur le moyen et long terme), par sa capacité à combler les lacunes en matière de connaissances grâce à l'apprentissage, par sa contribution à l'autonomisation des agriculteurs et par sa capacité à adapter les solutions aux spécificités locales. Ce faisant, elle permet la mise en œuvre progressive de profonds changements systémiques des modes de production.

European Journal of Agronomy

doi.org/10.1016/j.eja.2023.126948

BRÈVE

Le 17^e Congrès triennal de l'Association européenne des économistes agricoles (EAAE) à Rennes : un succès mondial

Le congrès, organisé du 29 août au 1^{er} septembre 2023 par l'unité mixte de recherche INRAE-Institut Agro SMART autour de la thématique Agri-food systems in a changing world : Connecting science and society, a rassemblé plus de 1 000 participants venant de 47 pays. Les 800 présentations orales et écrites ont permis aux participants de présenter et de discuter leurs travaux, d'échanger sur de nouvelles méthodes ou des thématiques spécifiques, et d'engager des collaborations. Des distinctions de l'EAAE ont été décernées à des scientifiques d'INRAE : Christophe Gouel, Laurent Piet, Yann Desjeux et Nicolas Treich.



©INRAE - C. Maître



Développement d'alternatives aux pesticides de synthèse



©INRAE - B. Nicolais

Diversifier les cultures : une clé pour une agriculture moins dépendante des pesticides

La diversification des cultures émerge comme un élément essentiel dans la transition agroécologique. Les données du réseau DEPHY Ferme (14 456 observations issues de 1 334 systèmes de culture couvrant l'ensemble des conditions climatiques françaises) ont été analysées par des chercheurs d'INRAE et de l'Institut Agro pour évaluer si la diversification taxonomique et fonctionnelle des successions culturales, telle qu'elle est mise en œuvre dans les exploitations commerciales spécialisées dans les grandes cultures, peut expliquer la variabilité de l'utilisation de pesticides au sein des 16 cultures les plus cultivées en France. Leurs résultats montrent que la diversification temporelle des familles botaniques et/ou intra-famille des successions culturales permet de réduire d'environ 20 % en moyenne le recours aux pesticides (insecticides, fongicides, herbicides) pour toutes les cultures en augmentant la proportion de cultures à faible utilisation de pesticides (effet de dilution) ou en améliorant la régulation naturelle des bioagresseurs, sauf pour les céréales à paille, pour lesquelles aucun effet n'a pu être quantifié. Une plus grande fréquence de couvert d'interculture augmente en revanche l'utilisation totale de pesticides par le biais d'une augmentation de l'utilisation d'herbicides. Ces résultats soulignent le rôle essentiel de la diversité des cultures dans la réduction du recours aux pesticides.

Nature Communications
doi.org/10.1038/s41467-023-43234-x

La régulation naturelle : un levier pour le biocontrôle des bioagresseurs et des adventices

Les facteurs permettant aux agriculteurs de favoriser sur leur exploitation le contrôle des bioagresseurs et des adventices par régulation naturelle, grâce notamment aux prédateurs d'insectes ravageurs ou de graines de plantes adventices, sont encore mal connus. Des scientifiques d'INRAE, du CNRS et de La Rochelle université ont étudié les effets de différents types d'habitats semi-naturels (prairies temporaires, prairies permanentes, haies) et de la diversité des cultures sur la régulation naturelle des insectes ravageurs et des plantes adventices en suivant près de 1 000 champs cultivés sur une période de 7 ans. Leurs résultats montrent que la présence de prairies permanentes âgées, hébergeant une grande diversité de plantes et d'insectes, augmente le taux de prédation des insectes ravageurs de 23 % et réduit de 19 % leur nombre dans les parcelles agricoles situées à proximité. Les paysages présentant une grande diversité de cultures permettent quant à eux une augmentation du taux de prédation des graines de plantes adventices qui conduit à une réduction de 6 % du nombre de plantes adventices. Ces résultats confirment les bénéfices des solutions fondées sur la nature pour l'agriculture et la nécessité de préserver les prairies permanentes et de diversifier les cultures pour réduire l'usage des pesticides, tout en garantissant la production agricole.

Proceedings of the National Academy of Sciences USA
doi.org/10.1073/pnas.2300861120

>

Exploiter l'immunité sociale des plantes pour raisonner les mélanges variétaux

Les mélanges de variétés sont un des outils pour réduire l'utilisation des pesticides et plus de 10 % des surfaces de blé sont aujourd'hui cultivées en France selon cette méthode. Toutefois l'efficacité de ces mélanges est variable et souvent imprévisible. La réduction de la dispersion des pathogènes liée à la présence de plantes résistantes parmi les mélanges variétaux et l'induction de réactions de défense par l'émission de signaux en provenance des plantes contaminées peuvent expliquer l'effet des mélanges variétaux. Dans le cadre du laboratoire international associé franco-chinois Plantomix, des chercheurs d'INRAE, de l'Institut Agro, du Cirad, du CNRS et de la Yunnan Agricultural University ont découvert qu'un nouveau mécanisme d'immunité sociale peut contribuer à expliquer l'effet des mélanges variétaux de blé dur et de riz. L'analyse de 201 paires de variétés inoculées par les champignons responsables de la rouille noire du blé et de la pyriculariose du riz montre que, dans 11 % des paires étudiées, le voisinage d'une plante diminue ou augmente sa sensibilité à la maladie. Ces résultats indiquent que la sensibilité des plantes n'est pas seulement conditionnée par leurs gènes de résistance mais résulte également d'un dialogue avec leurs voisines de la même espèce. Ces travaux ouvrent de nouvelles perspectives pour mettre au point des mélanges variétaux moins sensibles aux maladies.

PLOS Biology

doi.org/10.1371/journal.pbio.3002287



Ressusciter les récepteurs olfactifs d'insectes pour mieux comprendre leur fonction

Les papillons de nuit, dont certains sont d'importants ravageurs des cultures au stade chenille, ont un sens de l'odorat extrêmement performant. Les femelles utilisent notamment des bouquets d'odeurs, les phéromones sexuelles, pour attirer les mâles et se reproduire. Le décryptage de cette communication chimique chez certains papillons ravageurs a permis de développer des méthodes de lutte basées sur l'utilisation de phéromones sexuelles, mais une meilleure compréhension du système olfactif de ces insectes reste nécessaire pour améliorer les stratégies de biocontrôle. Dans le cadre du laboratoire international associé franco-chinois BiPi, des scientifiques d'INRAE, de Sorbonne université et de l'Institut de protection des plantes de Pékin ont retracé le parcours évolutif d'un récepteur olfactif de la noctuelle du coton, un papillon ravageur de cultures, qui permet aux mâles de reconnaître le composé essentiel de la phéromone sexuelle de la femelle. Les scientifiques ont retrouvé la trace d'une duplication de gène ayant eu lieu il y a environ 7 millions d'années et ayant donné naissance à un nouveau récepteur. Ils ont identifié les mutations ayant modifié la structure du récepteur ancestral pour lui permettre de reconnaître spécifiquement un seul composé du bouquet phéromonal de la noctuelle du coton. Au-delà de l'intérêt en biologie évolutive, ces travaux permettent de mieux comprendre le fonctionnement des récepteurs phéromonaux des papillons ravageurs.

Proceedings of the National Academy of Sciences USA

doi.org/10.1073/pnas.2221166120

Un nouveau mécanisme de contournement des défenses de la plante par les virus

L'interférence ARN (RNAi) est un mécanisme de défense qui dégrade les acides nucléiques invasifs d'origine endogène (comme ceux des éléments transposables) ou exogène (comme ceux des virus). Lorsqu'une plante est infectée par un virus, elle détourne une partie des ARN viraux pour produire des petits ARN interférents (siRNA). Ceux-ci guident le clivage des ARN viraux restants car ils leur sont complémentaires. La plupart des virus parviennent à infecter les plantes en exprimant des protéines appelées VSR (viral suppressor of RNAi) qui inhibent le RNAi. Toutefois, certains virus comme le virus de la mosaïque jaune du navet ne produisent pas de protéines capables d'inhiber totalement le RNAi. Des chercheurs d'INRAE, du CNRS et

<

Marquage des jeunes plantules de blé en vue de réaliser une inoculation manuelle de rouille noire.

©INRAE - J.B. Morel

>



Prospective « Une agriculture européenne sans pesticides à l'horizon 2050 »

ENTRETIEN AVEC

Claire Meunier et Olivier Mora

Direction de l'expertise scientifique collective,
de la prospective et des études

Pourquoi INRAE a-t-il réalisé une prospective sur l'agriculture européenne sans pesticides à l'horizon 2050 ?

Compte tenu de leurs effets négatifs sur l'environnement, la biodiversité et la santé humaine, l'utilisation des pesticides est un problème majeur pour la durabilité de l'agriculture et des systèmes alimentaires. Jusqu'à présent, les mesures visant à réduire l'utilisation des pesticides ont eu des effets limités à l'échelle européenne, le volume de substances actives utilisées par l'agriculture en Europe étant resté stable au cours des 10 dernières années. L'objectif de cette prospective était d'explorer les modalités d'une agriculture sans pesticides chimiques et quels pourraient être ses impacts au niveau européen.

Menée dans le cadre du programme prioritaire de recherche (PPR) Cultiver et protéger autrement et en lien avec l'Alliance européenne de recherche Towards a Chemical Pesticide-Free Agriculture, la prospective « Une agriculture européenne sans pesticides chimiques en 2050 » a mobilisé pendant 2 années 144 experts européens, scientifiques et parties prenantes.

Un colloque de restitution de l'étude a rassemblé près de 1 400 participants de 64 nationalités le 21 mars 2023 à Paris, avec des témoignages de divers acteurs français et européens des mondes de l'agriculture, de l'environnement et de l'alimentation.

Quels sont les scénarios retenus dans la prospective ?

L'étude propose 3 scénarios d'agriculture sans pesticides chimiques pour l'Europe en 2050, avec pour chacun une trajectoire de transition et l'évaluation quantitative

de leurs impacts à l'échelle européenne sur la production, les échanges commerciaux, les usages des terres, les émissions de gaz à effet de serre. Ces scénarios sont chacun illustrés à l'échelle d'une région et d'une filière sur la base d'ateliers participatifs menés dans 4 régions en Italie, Roumanie, Finlande et France. Ces 3 scénarios incluent 3 futurs de protection des cultures sans pesticides chimiques, basés sur l'immunité des plantes, l'holobionte et les microbiomes des plantes, et le rôle du paysage dans la régulation des bioagresseurs. Le premier scénario « marché global » explore le développement de la robotique et des bio-intrants pour renforcer l'immunité des plantes ainsi que les changements connexes dans les chaînes alimentaires globales pour développer un marché alimentaire sans pesticides chimiques. Le deuxième scénario « microbiomes sains » explore la mobilisation des holobiontes des plantes et des microbiomes du sol et des aliments pour des chaînes de valeur européennes conduisant à des régimes sains. Le troisième scénario « paysages emboîtés » explore la reconception de paysages complexes, la diversification des systèmes de cultures, et le développement des chaînes de valeur régionales pour des régimes sains et durables.

Quels enseignements peut-on tirer de cette prospective ?

Cette prospective montre qu'une transition vers une agriculture sans pesticides chimiques pourrait être un levier majeur pour améliorer la durabilité des systèmes alimentaires européens mais qu'elle nécessite de prendre en compte l'ensemble du système alimentaire dans la reconception des systèmes agricoles et alimentaires, en engageant tous les ac-



Une transition vers une agriculture sans pesticides chimiques pourrait être un levier majeur pour améliorer la durabilité des systèmes alimentaires européens mais elle nécessite de prendre en compte l'ensemble du système alimentaire.



teurs, du producteur au consommateur, en passant par les politiques publiques et réglementaires. La transition vers une agriculture sans pesticides chimiques nécessite un ensemble cohérent de politiques publiques européennes pour réduire l'usage des pesticides, soutenir la transition via une refonte de la Politique agricole commune et des instruments économiques mobilisables, et créer des marchés sans pesticides chimiques via des accords commerciaux. Enfin, la transition doit s'appuyer sur le partage du risque entre les acteurs pour la transformation de leurs systèmes de culture et celle des approvisionnements agricoles et de l'agroalimentaire.

INRAE
hal.inrae.fr/hal-04231124

>

de l'université de Perpignan montrent comment de tels virus réussissent néanmoins leur infection en induisant la production d'une enzyme anti-RNAi de la plante, RTL1, naturellement maintenue à un niveau basal en l'absence d'infection. Les virus capables d'inhiber les défenses de la plante par RNAi inhibent également la production de la protéine RTL1. L'ensemble des résultats obtenus révèle un nouveau niveau de complexité dans la course-poursuite entre virus et mécanismes de défense des plantes au cours de l'évolution.

[PLOS Pathogens](#)

doi.org/10.1371/journal.ppat.1010482

Un rôle méconnu du microbiote des mouches

Alors que le microbiote est aujourd'hui largement étudié pour son influence sur la physiologie et les performances des hôtes, une équipe de recherche INRAE a révélé le rôle encore méconnu du microbiote sur la compétition entre espèces en étudiant la mouche des fruits envahissante *Drosophila suzukii*, responsable de larges dégâts agricoles notamment sur les fruits rouges. Les chercheurs ont découvert que lorsque les mouches *D. suzukii* pondent dans un fruit, leurs proches cousines *D. melanogaster* les y suivent, attirées et nourries par leurs microbiotes. La relation est asymétrique : les femelles *D. suzukii* évitent quant à elles de pondre dans les fruits où se trouvent les larves d'une drosophile *D. melanogaster*. Des traces de passage des adultes suffisent à produire l'évitement de ponte. Les femelles *D. suzukii* détectent en fait des molécules produites en présence de certaines bactéries du microbiote de *D. melanogaster*. L'évitement de ponte de *D. suzukii* préserve ainsi la survie des juvéniles de *D. melanogaster* en évitant la compétition entre les larves des 2 espèces. Cette étude ouvre également des pistes pour protéger les cultures des attaques de *D. suzukii*. Le comportement d'évitement de ponte de *D. suzukii* dans les fruits rouges découvert par l'équipe de recherche pourrait être utilisé afin de produire un répulsif à base de molécules produites par les microbiotes de leur compétiteur.

[Microbiome](#)

doi.org/10.1186/s40168-023-01617-8

Épidémiosurveillance à haut débit pour une gestion durable des résistances variétales du colza au phoma

L'épidémiosurveillance des populations phytopathogènes est un enjeu majeur pour l'utilisation des résistances variétales. Les chercheurs ont étudié le polymorphisme de séquence de 11 gènes d'avorulence AVR dans une population française de 89 isolats de *Leptosphaeria maculans*, le champignon responsable du phoma du colza. Les séquences générées et celles obtenues au cours d'études

▼

Drosophila suzukii est un ravageur redoutable des petits fruits.
©INRAE - S. Fellous



précédentes ont permis de constituer une base de données de séquences publiques et d'établir une nomenclature adoptée au niveau international dans le cadre de l'établissement d'une collection de souches mondiale. Un outil de caractérisation des populations à grande échelle par amplification multiplex de 8 gènes AVR sur des pools de symptômes foliaires a été mis au point en collaboration avec le GEVES et Terres Inovia. Il permet la caractérisation de 1 800 symptômes en une analyse, l'identification de nouveaux variants alléliques et une prédiction très précoce de l'émergence de nouvelles virulences. Il offre une plus grande précision et rapidité d'analyse que les tests phytopathologiques classiques et sera utilisé pour surveiller l'apparition des virulences dans un contexte où de nouvelles sources de résistance ont été récemment déployées ou vont l'être sous peu.

[Pest Management Science](#)

doi.org/10.1002/ps.7401

[BioRxiv](#)

doi.org/10.1101/2023.10.06.561155

[Plant Pathology](#)

doi.org/10.1111/ppa.13801

Des avancées dans la compréhension du développement et de la reproduction des plantes

Pectines et protéines s'associent pour assembler la paroi végétale

Les cellules végétales sont entourées d'une paroi composée de pectine et de fibres de cellulose qui résistent à des pressions internes considérables et qui se restructure quand la cellule grossit. Des chercheurs d'INRAE, du CNRS et leurs collaborateurs suisses et belges ont démontré in vivo et in vitro comment l'interaction entre pectines et protéines contrôle la croissance de la paroi du tube pollinique unicellulaire d'*Arabidopsis thaliana*. Ces résultats révèlent le double rôle signalétique et structurel d'un complexe peptide-récepteur-pectines pour façonner l'extension de la paroi cellulaire.

Science

doi.org/10.1126/science.adi4720



Culture d'*Arabidopsis thaliana* en serre.
©AdobeStock



Rôle clé d'une protéine dans le métabolisme des plantes

Comprendre comment les plantes assimilent l'azote est essentiel pour développer une agriculture durable utilisant moins d'engrais. Des équipes d'INRAE, de l'ENS de Lyon, de l'université de Poitiers, du Max Planck Institute, de l'université Paris-Saclay et de l'université Paris Cité, avec la participation du CNRS, ont découvert le rôle majeur d'une protéine dans le métabolisme d'assimilation de l'azote. Appelée NLP2, elle régule à la fois l'assimilation de l'azote et le métabolisme du carbone qui assure l'apport d'énergie de la plante.

The Plant Cell

doi.org/10.1093/plcell/koad025

Un paradoxe biologique : quand la variabilité explique la reproductibilité

Les êtres vivants produisent de nombreux facteurs moléculaires de façon plus ou moins variable. Les progrès de la biologie moléculaire, de l'imagerie et de la modélisation informatique permettent aujourd'hui d'attribuer des rôles à ce qui était considéré comme un bruit sans fonction particulière. Des chercheurs INRAE, du CNRS et de l'université de Heidelberg montrent que, dans le mutant d'*Arabidopsis thaliana vip3*, la variabilité de l'expression génique et de la forme augmente de façon concomitante dans les sépales des fleurs, un organe de forme normalement très reproductible. Les auteurs proposent que l'hétérogénéité de la croissance causée par l'augmentation du bruit moléculaire empêche la formation de frontières nettes entre régions à forte et faible croissance au sein du sépale, ce qui conduit à des organes de forme variable.

Proceedings of the National Academy of Science USA

doi.org/10.1073/pnas.2302441120

Découverte de 2 protéines indispensables à la reproduction des plantes

Lors de la méiose, les gamètes haploïdes sont formés par 2 divisions cellulaires successives intervenant après une étape de réplication de l'ADN des chromosomes. Deux protéines essentielles à la formation de l'élément central du complexe synaptonémal ont été identifiées pour la première fois chez les plantes par des scientifiques d'INRAE, du CNRS, du CEA et du Max Planck Institute de Cologne. Ces protéines sont indispensables à l'assemblage des chromosomes homologues lors de la première division méiotique et au bon déroulement de la méiose.

Nature Plants

doi.org/10.1038/s41477-023-01558-y

Transition des élevages



©INRAE

Associer des ovins et des bovins pour améliorer la multiperformance de l'élevage

Promouvoir la diversité dans les agroécosystèmes est l'un des principes de l'agroécologie. L'association d'espèces a montré des avantages à l'échelle de la saison de pâturage, mais il manquait une évaluation de son effet sur la multiperformance du système d'élevage. Trois systèmes d'élevage allaitant herbagers conduits en agriculture biologique sur des prairies permanentes, un système mixte et 2 spécialisés témoins ont été mis en place dans l'unité expérimentale INRAE HerbiPôle en zone de moyenne montagne, et suivis pendant 4 campagnes (2017-2020). Les femelles de chaque système étaient croisées avec des mâles de race herbagère précoce. L'association d'espèces a amélioré les performances zootechniques, économiques et environnementales de l'atelier ovin. La production de viande ovine a été accrue avec moins d'intrants (concentrés, antiparasitaires), d'où une meilleure efficacité de l'atelier et une diminution de la compétition alimentation humaine-animale. Malgré de bonnes performances animales et de bonnes propriétés nutritionnelles et sensorielles de la viande, les bovins conduits en système mixte ont

enregistré des performances économiques médiocres, en raison d'un poids de carcasse des jeunes bovins jugé insuffisant par les acteurs du marché. Les résultats montrent que, globalement, les performances économiques et environnementales d'un système mixte 40 % ovins-60 % bovins sont améliorées par rapport aux systèmes monospécifiques.

[Animal](#)

doi.org/10.1016/j.animal.2023.100758

doi.org/10.1016/j.animal.2023.100759

Performances agroécologiques et alimentaires des systèmes de polyculture-élevage

Les systèmes de polyculture-élevage présentent un intérêt dans la recherche de durabilité des systèmes agricoles, de par la diversité des espèces élevées et cultivées et du potentiel de synergie entre ces espèces. Toutefois, leur capacité à maximiser la production d'une diversité de denrées alimentaires a été peu étudiée dans la littérature. Une expérimentation système de long terme conduite

dans l'installation expérimentale INRAE de Mirecourt a permis d'analyser 2 systèmes de polyculture-élevage autonomes : un système spécialisé bovin lait et un système hyper-diversifié. Les processus biotechniques et les performances agroécologiques de ces systèmes ont été évalués en adoptant une approche métabolique basée sur les flux de nutriments. Les résultats montrent que le système hyper-diversifié visant à maximiser la production alimentaire n'est pas le plus productif, mais le plus efficient. Dans les deux cas, l'efficacité à l'échelle du système agricole est meilleure que celle de chaque production. L'étude confirme l'importance de combiner les approches systémiques et analytiques, ainsi que les échelles d'analyse, pour mieux comprendre et agir sur la transition agroécologique. Elle confirme également l'intérêt des systèmes de polyculture-élevage intégrés mais souligne la nécessité d'une prise en compte plus fine de la compétition dans l'usage agricole des ressources (alimentation humaine, fourrages...) et aussi d'une analyse de la dynamique temporelle des agrosystèmes et des compromis entre production et cycle de nutriments.

Agriculture, Ecosystems & Environment
doi.org/10.1016/j.agee.2022.108300

Le comportement au nid chez la poule : un caractère sous contrôle génétique

La transition vers des systèmes d'élevage de poules pondeuses sans cage, prenant mieux en compte le bien-être des animaux, nécessite de considérer certains de leurs comportements jusqu'ici peu étudiés. Dans les systèmes d'élevage sans cage, il est essentiel que les poules pondent leurs œufs dans les nids prévus à cet effet pour faciliter la collecte et éviter les pertes (œufs souillés, cassés ou perdus). En collaboration avec l'entreprise de sélection Novogen (Plédran, France), les chercheurs ont montré que le

BRÈVES

Création de 2 laboratoires partenariaux associés (LPA) sur les ruminants

Axé sur le rôle du microbiote digestif dans la nutrition et la santé des ruminants, le LPA entre Lallemand Nutrition animale et l'unité de recherche MEDS INRAE-université Clermont-Auvergne vise à accélérer le développement d'innovations pour répondre aux préoccupations croissantes des consommateurs concernant la durabilité de la production de ruminants et la sécurité alimentaire. L'objectif du LPA entre Eliance et l'unité BREED INRAE-université Paris-Saclay-École nationale vétérinaire d'Alfort sera d'étudier le rôle des processus épigénétiques dans l'adaptation du génome à des environnements diversifiés, de créer des modèles de prédiction pour un élevage de précision et de les associer à terme à des recommandations en matière de nutrition et de gestion globale du troupeau.

choix des nids et la durée d'utilisation de ceux-ci était influencés par des caractéristiques génétiques des poules. La sélection de reproducteurs présentant des comportements au nid adaptés à un élevage au sol est donc possible, et pourra générer une évolution rapide des caractères sélectionnés. Les résultats apportent également des informations pour que cette sélection ne se fasse pas aux dépens d'autres caractéristiques essentielles à la filière ponte, telle que la qualité des œufs, et pour qu'elle améliore conjointement les caractéristiques de production et de comportement au nid.

Animal
doi.org/10.1016/j.animal.2023.100958



La France a accueilli le congrès mondial des sciences animales

De nombreux sujets d'actualité ont été au cœur des échanges du congrès international des sciences animales qui s'est tenu à Lyon du 26 août au 1^{er} septembre 2023. La France a été choisie par les coorganisateur – la Fédération européenne des sciences animales (EAAP), l'Association mondiale pour la production animale (WAAP) et Interbull – pour organiser ce rendez-vous des spécialistes et professionnels des sciences animales autour de la thématique « Changement climatique, biodiversité et durabilité globale de la production animale ». Le congrès a rassemblé plus de 2 200 personnes, une édition sans précédent dont le comité d'organisation était présidé par INRAE.



©INRAE

Une alimentation saine et durable, pour tous

Impact environnemental de produits fermentés mixant protéines végétales et animales

Le développement d'alternatives végétales aux produits laitiers suscite beaucoup d'intérêt pour soutenir la transition alimentaire vers des régimes plus végétaux. On suppose couramment que ces produits présentent des avantages environnementaux par rapport aux produits laitiers, sans que cela soit démontré. Les performances environnementales de nouveaux produits fermentés créés en utilisant différents mélanges de sources de protéines d'origine végétale (pois) et animale (lait de vache) et préparés selon un procédé inspiré de celui de la production de camembert ont été quantifiées. Les analyses de cycle de vie réalisées ont montré que la substitution des protéines laitières par des protéines de pois conduit à une diminution de l'impact environnemental des étapes de production et d'affinage. Cependant, les produits contenant des protéines de pois ont un impact environnemental globalement plus négatif que le camembert, le houmous ou le tofu. La forte consommation d'énergie (et d'eau) de leur procédé de fabrication contrebalance en effet les avantages d'un changement de matière première. Ces travaux font apparaître la nécessité de travailler à l'optimisation des procédés de production de produits végétaux fermentés et d'intégrer la conception du procédé et les impacts environnementaux associés dès l'amont de la phase de conception des produits.

Cleaner Environmental Systems

doi.org/10.1016/j.cesys.2023.100115

Data in Brief

doi.org/10.1016/j.dib.2023.109263

Vers un outil d'aide à la décision pour la boulangerie industrielle

La variabilité de la qualité des lots de blé a des impacts défavorables sur le processus de transformation de la farine en boulangerie, notamment sur le comportement de la pâte sur la ligne de production industrielle, où les réglages des procédés doivent être constamment ajustés. Les chercheurs ont précisé les relations entre le comportement en ligne et la formation du réseau de gluten en fonction des 2 principaux leviers disponibles en production, le pétrissage et l'hydratation de la farine. Les caractéristiques d'une pâte considérée comme « optimale » ont été déterminées aux différents niveaux d'organisation de la matière : un état d'hydratation de la pâte spécifique, identifié par résonance magnétique nucléaire (échelle supramoléculaire), un réseau de gluten présentant des filaments fins

et interconnectés (échelle microscopique), une pâte dont la viscosité extensionnelle est élevée (échelle macroscopique) et une courbe de puissance lors du pétrissage ajustable par une fonction gaussienne. Un modèle phénoménologique de prédiction du comportement des pâtes au pétrissage a été élaboré. Une fois étayé, ce modèle servira, dans un contexte industriel, aux opérateurs de ligne de production à effectuer les réglages du pétrissage ou déterminer l'hydratation optimale des farines.

Food hydrocolloids

doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109214

Simuler in vitro la digestion du senior pour concevoir des produits adaptés

La proportion des plus de 65 ans est en constante augmentation en Europe et dans le monde, et cette population présente un risque accru de malnutrition. Prévenir la malnutrition des seniors est un enjeu majeur de santé publique qui peut passer par la mise à disposition de produits adaptés à leurs besoins nutritionnels, notamment enrichis en protéines. Toutefois, les spécificités physiologiques de cette population en termes de digestion doivent être prises en compte afin de vérifier si les produits proposés ont effectivement un intérêt nutritionnel. Les modèles de digestion in vitro fournissent de précieuses indications sur les qualités nutritionnelles des aliments, sans avoir recours à des expérimentations chez l'humain ou l'animal. Les chercheurs INRAE ont contribué à un protocole de digestion in vitro adapté à cette population, établi dans le cadre du projet européen EAT4AGE et du réseau international INFOGEST, qui permet d'évaluer et comparer la digestibilité d'aliments destinés aux personnes âgées. L'application de ce modèle à des produits laitiers riches en protéines a notamment montré que la digestion des protéines était ralentie pendant la phase gastrique des seniors. Ce nouveau modèle a vocation à devenir une référence mondiale, facilitant ainsi la comparaison d'études effectuées dans différents laboratoires.

Food & Function

doi.org/10.1039/d3fo00535f

doi.org/10.1039/D3FO02693K



Dispositif expérimental de fermentation.
Unité SayFOOD sur le campus Agro Paris-Saclay.
©INRAE - B. Nicolas





Une bioéconomie basée sur une utilisation sobre et circulaire des ressources



©INRAE - C. Maître

La bioéconomie durable propose un cadre reposant sur une gestion sobre de l'eau, du carbone, de l'azote et du phosphore, et sur une empreinte environnementale maîtrisée. La diversification des bioressources et de leurs usages en cascade est indispensable pour répondre de façon durable aux besoins alimentaires, à la production de matériaux, de molécules ou d'énergie. Il est nécessaire à cet effet 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.

Cycles de l'azote et du phosphore dans les écosystèmes terrestres

Efficienc e d'utilisation de l'azote : une voie pour concilier capacité nourricière de la planète et soutenabilité

La disponibilité mondiale en azote et la productivité des cultures ont augmenté de façon spectaculaire depuis le développement des engrais azotés chimiques au début du XX^e siècle, permettant de dissocier les dynamiques de croissance de la population mondiale et d'expansion des terres agricoles. Ce découplage, combiné à une mauvaise efficacité d'utilisation de l'azote en agriculture a eu, à l'échelle globale, des effets néfastes sur le climat, les ressources en eau, la qualité de l'air, la biodiversité, ainsi que sur la santé humaine. Des chercheurs d'INRAE et de l'université Paris Cité ont mis au point un modèle qui intègre les principaux facteurs favorisant ou limitant la capacité nourricière de la planète et la pollution azotée associée. La simulation des limites alimentaires mondiales selon le régime de fertilisation azotée (organique ou industrielle) a montré que le nombre d'habitants que notre planète est capable de nourrir peut varier du simple au septuple en fonction des régimes alimentaires, des modes d'occupation des terres et, dans le cas de la fertilisation organique, en fonction de l'efficacité de l'utilisation de l'azote. L'élevage joue un rôle majeur dans le mode d'occupation des terres, le niveau des pertes d'azote et la possibilité de recours à la fertilisation organique. Il peut contribuer à maximiser la capacité nourricière mondiale, à condition de limiter les effectifs des animaux d'élevage au potentiel des prairies disponibles et à la quantité de résidus de cultures disponibles pour leur alimentation.

Nature Food

doi.org/10.1038/s43016-023-00741-w

La moitié du phosphore disponible dans les sols agricoles est issue des engrais minéraux

Le phosphore est un nutriment essentiel pour la croissance des plantes. L'usage d'engrais minéraux phosphatés en agriculture a permis d'accroître fortement la fertilité en phosphore des sols et les rendements des cultures. Cependant ces engrais sont fabriqués à partir de roches phosphatées, une ressource non renouvelable et mal distribuée sur la planète. Une équipe de recherche d'INRAE et de Bordeaux Sciences Agro a développé un modèle calculant, pour chaque pays du monde, la fraction du phosphore disponible des sols agricoles qui provient des engrais minéraux et son évolution depuis le milieu du XX^e siècle. Leurs résultats montrent qu'en moyenne près de la moitié du phosphore disponible des sols agricoles à l'échelle globale est issue des engrais minéraux, avec de fortes inégalités



^ Cette prairie diversifiée qui n'a jamais été semée ni retournée et n'a jamais reçu d'engrais autres que les déjections animales est un véritable réservoir de biodiversité.
©INRAE - C. Maître

entre les régions du monde. L'Europe de l'Ouest, l'Amérique du Nord et l'Asie présentent des signatures supérieures à 60 %, contre 40 % pour l'Amérique du Sud et autour de 30 % pour l'Afrique. Ceci témoigne de la dépendance très forte des systèmes agricoles à l'utilisation des engrais minéraux phosphatés. Ces résultats appellent à accélérer la transition agroécologique dans les pays du Nord pour préserver la fertilité acquise des sols, faciliter les retours aux sols des effluents agricoles et urbains et à diriger les ressources minières restantes vers les pays du Sud, notamment en Afrique, dont les sols sont encore très déficitaires en phosphate et limitants pour la production agricole.

Nature Geoscience

doi.org/10.1038/s41561-022-01092-0

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

Découverte d'une microalgue avec un fort potentiel de remédiation des eaux polluées

La contamination des écosystèmes par l'uranium est une menace pour l'environnement et la santé humaine en raison de la toxicité chimique de cet élément métallique naturel. Une microalgue verte unicellulaire (*Coelastrella sp. PCV*) tolérante à l'uranium et capable d'accumuler une quantité remarquablement élevée de ce métal (jusqu'à 240 mg d'uranium par g de biomasse sèche) a été isolée. Cette microalgue est capable de se développer dans des eaux naturelles pauvres en nutriments essentiels et contaminées par des métaux toxiques. En un cycle de croissance d'une semaine, *Coelastrella sp. PCV* est capable de capturer jusqu'à 55 % de l'uranium et 45 % du plomb initialement présents dans les eaux contaminées. En réponse aux stress nutritifs et métalliques, elle accumule des lipides neutres (triglycérides) sous forme de gouttelettes lipidiques. *Coelastrella sp. PCV* présente un fort potentiel pour l'assainissement d'eaux naturelles ou industrielles polluées par des métaux. Une valorisation de la biomasse algale riche en lipides neutres est également envisageable. Les propriétés uniques de tolérance et d'accumulation d'uranium et de plomb de *Coelastrella sp. PCV* en font également un organisme de choix pour identifier de nouveaux mécanismes moléculaires de réponse et d'adaptation aux stress métalliques.

Science of the Total Environment

doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168195

Les cyanobactéries filamenteuses : des ingénieurs des photogranules

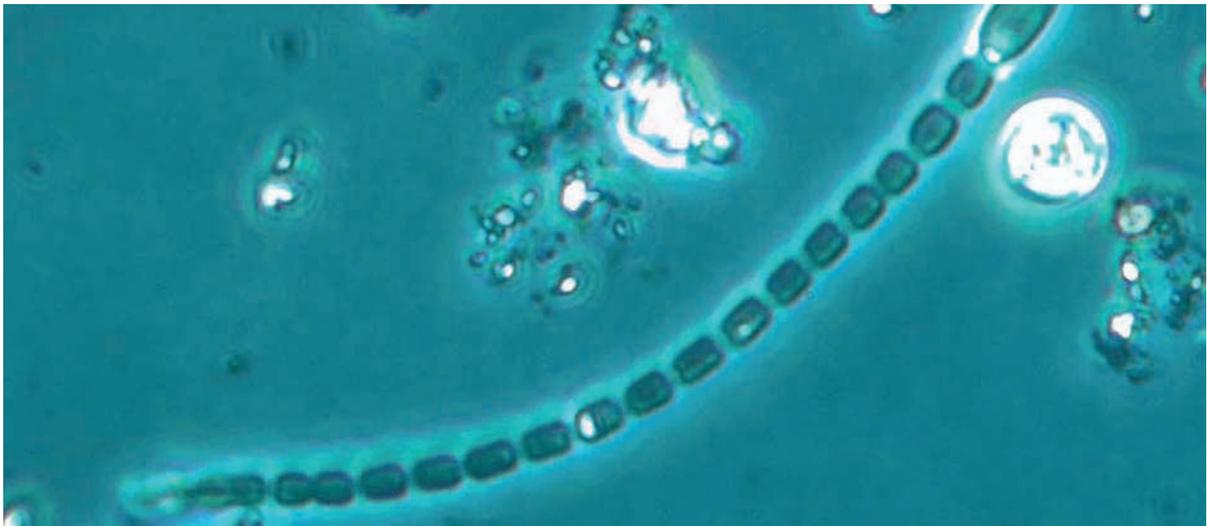
Les photogranules, agrégats microbiens composés de cyanobactéries filamenteuses en interaction syntrophique avec d'autres bactéries hétérotrophes, présentent un intérêt en bioraffinerie environnementale, notamment pour le traitement des eaux usées. Une connaissance préalable des mécanismes de formation de ces photogranules est nécessaire pour créer des communautés microbiennes adaptées à la bioéconomie. Les chercheurs ont montré que seules certaines cyanobactéries filamenteuses sont capables de former des photogranules, mais qu'elles sont souvent indétectables dans les photogranules matures. Cette absence est la conséquence d'une évolution de la composition de la communauté microbienne dans le photogranule : les cyanobactéries ayant joué le rôle d'ingénieur de l'écosystème sont déplacées de celui-ci par d'autres organismes mieux adaptés aux conditions environnementales dominantes une fois que le photogranule est formé. L'identification, sur la base de leur signature génomique, des cyanobactéries formant des photogranules pourrait permettre de construire des châssis prêts à héberger des organismes intéressants pour la biotechnologie.

FEMS Microbiology Ecology

doi.org/10.1093/femsec/fiad099



Cyanobactérie filamenteuse.
©INRAE - J.-C. Druart





La fermentation lactique, une nouvelle stratégie de stockage des déchets alimentaires avant valorisation

ENTRETIEN AVEC

Éric Trably

Laboratoire de biotechnologie
de l'environnement (LBE)

Quel est le potentiel de valorisation des déchets alimentaires ?

Les procédés biologiques de traitement des déchets et effluents ont beaucoup évolué pour s'orienter vers une meilleure valorisation de la matière organique en produisant des bioénergies (méthane) et un digestat pouvant être utilisé comme amendement organique des sols, le tout contribuant à l'essor de systèmes bioéconomiques. De nouveaux modes de valorisation, complémentaires à la méthanisation, sont développés, comme la production par fermentation de biohydrogène (BioH₂) ou de molécules biosourcées d'intérêt industriel. De nouvelles sources de déchets telles que les déchets alimentaires, jusqu'alors peu

“

Une pré-fermentation lactique des biodéchets permet de stabiliser la matière organique pendant quelques semaines sans affecter le rendement en BioH₂ par fermentation sombre.

”

exploitées, sont également étudiées. En effet, la fermentation des déchets alimentaires permet de produire une variété de molécules valorisables en chimie verte, comme des acides carboxyliques ou certains alcools, contribuant ainsi à une économie circulaire tout en réduisant les nuisances environnementales associées à ces déchets. L'un des produits d'intérêt est le BioH₂ qui représente une alternative prometteuse aux carburants fossiles. Aujourd'hui, environ 95 % de l'hydrogène provient de ressources fossiles (gaz naturel, charbon, pétrole) et 4 % de l'électrolyse de l'eau. Les procédés biologiques basés sur la fermentation de déchets en bioréacteurs, sous l'effet de microorganismes, présentent beaucoup d'intérêt comparés aux technologies actuelles de production, notamment en raison de leur faible impact environnemental. De plus, les déchets alimentaires constituent une source de biomasse importante, notamment dans les villes. Toutefois, la fermentation spontanée de ces déchets pendant leur stockage puis leur transport conduit à une perte du carbone organique utilisable comme substrat par les microorganismes en bioréacteurs, ce qui constitue une limitation importante à leur valorisation en BioH₂.

Quelle solution proposez-vous pour limiter cette perte de carbone organique ?

La fermentation lactique est un procédé largement utilisé pour conserver les aliments et stabiliser certaines productions agricoles par ensilage. En collaboration avec des partenaires malaisiens (UNITEN-The University of Energy), nous

avons testé si elle pouvait être utilisée pour stabiliser la matière organique des déchets alimentaires avant transformation en BioH₂ par fermentation sombre (à l'obscurité), et sous quelles conditions opératoires. Nos résultats montrent qu'une pré-fermentation lactique des biodéchets permet de stabiliser la matière organique pendant quelques semaines sans affecter le rendement en BioH₂ par fermentation sombre, tout en augmentant les cinétiques de production. Cette stabilisation a été montrée pour une large gamme de températures (4 à 55 °C) avec un optimum compris entre 25 et 35 °C.

La fermentation lactique comme pré-traitement est-elle envisageable à plus grande échelle ?

Ces premiers résultats ouvrent de nombreuses possibilités quant à la gestion des déchets alimentaires, et plus généralement des déchets facilement biodégradables. À l'issue de ces travaux, nous avons formulé des recommandations de stockage par pré-fermentation lactique pour une large gamme de climats, en vue d'accompagner les exploitants, et permettant de conserver tout le potentiel de valorisation en BioH₂ des déchets alimentaires. À ce jour, le principal verrou pour une exploitation à grande échelle concerne la variabilité des substrats, qui peut influencer sur les performances des procédés de prétraitement par fermentation lactique puis de production de BioH₂ par fermentation sombre.

Bioresource Technology
doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128985

Cycle de l'eau



46

Arasement des barrages : la Sélune retrouve peu à peu son fonctionnement de rivière

Depuis 2012, des chercheurs suivent l'impact du démantèlement de 2 barrages hydroélectriques centenaires situés sur la Sélune (Manche) sur la biodiversité, la qualité de l'eau et le territoire de ce fleuve côtier de la baie du mont Saint-Michel. Des chercheurs d'INRAE, du CNRS et de l'université Rennes 2 ont analysé la qualité de l'eau avant, pendant et après arasement des 2 barrages pour déterminer dans quelle mesure et à quelle vitesse l'objectif de restauration de la continuité écologique et sédimentaire était atteint. Suite à l'arasement, les températures et concentrations en nitrate et silice sont devenues quasiment identiques à l'amont et à l'aval de l'emplacement des barrages, signe d'un rétablissement rapide du système rivière pour ces paramètres de la qualité de l'eau. En revanche, seule une partie des sédiments stockés dans les retenues a été exportée vers la baie du mont Saint-Michel, le reste s'étant redéposé sous la



Étude de la restauration de la Sélune suite à la suppression de deux barrages.
©INRAE

forme de banquettes le long des berges de la rivière restaurée. La présence d'invertébrés aquatiques sensibles aux polluants et à la quantité d'oxygène dans certaines zones confirme l'amélioration de l'état écologique du fleuve. Les poissons migrateurs, notamment le saumon atlantique, l'anguille européenne et la lamproie marine, remontent la Sélune pour s'y établir, renouant les cycles migratoires entre l'océan et la rivière essentiels à ces espèces.

[Frontiers in Environmental Science
doi.org/10.3389/fenvs.2023.1231721](https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1231721)

[Frontiers in Ecology and Evolution
doi.org/10.3389/fevo.2023.1254462](https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1254462)

Produits biosourcés

Des panneaux d'isolation acoustique à base de tiges de tournesol

Les tiges de tournesol représentent une matière première d'intérêt pour la production de matériaux biosourcés. L'analyse de panneaux de moelle de tournesol réalisés avec de l'amidon comme liant a révélé qu'ils possédaient des propriétés d'absorption acoustique à basse fréquence très performantes qui pourraient être exploitées pour réduire la réverbération du bruit dans les espaces ouverts à l'intérieur des bâtiments. La récolte des tiges de tournesol semble avoir un impact négligeable sur le contenu en carbone du sol, dans les conditions testées. Une analyse de cycle de vie a également montré que ces panneaux permettraient de réduire les impacts environnementaux par rapport à des alternatives d'origine fossile en mousse de mélamine.

Journal of Cleaner Production
doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136620



BRÈVE

Refonder la chimie du bois pour la transition bioéconomique circulaire des territoires

Le projet ExtraFor_Est, soutenu par le LabeX Arbre, la Région Grand Est, l'Ademe et le FEDER a permis d'explorer la grande richesse en biomolécules des arbres des forêts du Grand Est et d'identifier les marchés susceptibles de valoriser les extraits et composés identifiés. Le dialogue avec les partenaires professionnels (propriétaires forestiers, chimistes, scieries) les a rendus attentifs aux possibilités d'optimisation de la circularité dans la filière forêt-bois. Au niveau territorial, la chimie du bois s'affirme de plus en plus comme une alternative incontournable pour réussir la transition bioéconomique des territoires. Deux initiatives régionales d'émergence de filières forêt-chimie ont vu le jour : l'initiative Kémyos dans et autour du territoire du Parc national des forêts et l'initiative WoodChem Valley dans le territoire autour d'Épinal, animée par le CRITT Bois.



← Récolte de tournesol.
©INRAE - M. Pitsch



Favoriser une approche globale de la santé



©INRAE - C. Maître

De nombreux risques pèsent sur la santé des végétaux, des animaux et des humains et plus globalement sur l'environnement en lien avec le réchauffement climatique et les activités humaines dans leurs différentes dimensions. 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 par les recherches menées à INRAE. En particulier, la compréhension des relations entre alimentation, environnement et santé reste déterminante pour permettre l'évolution des systèmes alimentaires et la protection de l'environnement.



Émergences et réémergences des maladies transmissibles



Unité expérimentale Pôle d'expérimentation avicole de Tours (PEAT).
©INRAE - C. Maître

Élevage avicole : améliorer les connaissances sur un pathogène émergent pour mieux cibler les traitements

Les volailles du monde entier peuvent être affectées par *Enterococcus cecorum*, une bactérie pathogène qui provoque des troubles locomoteurs et des infections généralisées au sein des élevages de poulets de chair, dont l'incidence a été multipliée par 100 en 15 ans. *E. cecorum* est naturellement présente dans le système digestif des volailles mais certaines souches ont un potentiel pathogénique. Des chercheurs d'INRAE et de l'Anses se sont associés pour caractériser ces isolats cliniques. La comparaison des génomes de variants cliniques et non cliniques a révélé que la majorité des isolats cliniques fait partie d'un même groupe phylogénétique. Ce groupe évolutif réunit la majorité des variants responsables des infections en France, dans d'autres pays d'Europe et aux États-Unis. La présence/absence de 6 gènes permet d'identifier la plupart des variants cliniques des élevages avicoles et d'évaluer le risque pathologique des élevages par des prélèvements de surveillance. Ces variants sont résistants à la plupart des antibiotiques communément utilisés en élevage, mais présentent un niveau significatif de sensibilité à d'autres molécules antimicrobiennes autorisées. Ces résultats apportent un éclairage sur la diversité génétique de *E. cecorum* et sur sa résistance aux antibiotiques. Ils aideront à mieux prévenir et contrôler les maladies liées à cette bactérie.

[Journal of Clinical Microbiology](#)

doi.org/10.1128/jcm.01445-22

[mSphere](#)

doi.org/10.1128/msphere.00495-22

La composition du microbiote intestinal et la réponse immunitaire des porcs à *Salmonella* conditionnent sa dissémination dans les élevages

La salmonellose est une zoonose d'origine alimentaire fréquente chez l'être humain et la viande de porc est l'une des principales sources d'infections. À la ferme, l'infection des porcs par la salmonelle est hétérogène : certains animaux seulement excrètent de grandes quantités de salmonelles et contribuent à la propagation de ce pathogène dans la chaîne alimentaire. L'analyse de la composition microbienne fécale et de la réponse immunitaire chez des porcs infectés expérimentalement montre que les porcs « faible excréteurs » diffèrent des porcs « super excréteurs » par leur réponse immunitaire innée, ainsi que par la présence de certaines bactéries et fonctions du microbiote intestinal. Les résultats obtenus indiquent que la sti-



mulation de la réponse immunitaire par l'infection précède la perturbation du microbiote et l'apparition du pic de *Salmonella* chez les super excréteurs. Cette étude corrobore l'observation en modèle murin que la salmonelle utilise à son profit l'inflammation qu'elle induit, celle-ci lui conférant un avantage compétitif sur les autres bactéries du microbiote intestinal. Ces résultats suggèrent que la modification du microbiote et la réduction de l'inflammation de l'intestin pourraient être utilisées pour prévenir la forte excrétion de salmonelles dans les élevages.

[mSystems](#)

doi.org/10.1128/mSystems.00852-22

[Microorganisms](#)

doi.org/10.3390/microorganisms10112101



>

Les palmipèdes diffusent la grippe aviaire par leurs plumes

La grippe aviaire, causée par le virus de l'influenza de type A, peut entraîner une mortalité élevée parmi les oiseaux infectés, perturber la chaîne d'approvisionnement alimentaire et causer des pertes économiques majeures. De plus, certaines souches de grippe aviaire peuvent se transmettre de l'oiseau à l'être humain, présentant un risque pour la santé humaine. Au moment où la vaccination est massivement appliquée dans les élevages de canards en France, il est essentiel de continuer à évaluer les risques de diffusion et de persistance des virus influenza aviaires. En collaboration avec le Centre de recherche en santé animale de Barcelone, les chercheurs ont mis en évidence un mécanisme biologique expliquant le rôle particulier joué par les palmipèdes dans l'épidémiologie de l'influenza

aviaire hautement pathogène. Leurs travaux révèlent que les virus influenza aviaires hautement pathogènes (VIAHP) se multiplient et se disséminent, non seulement par les voies d'excrétion digestive et respiratoire connues depuis des décennies, mais aussi au niveau des plumes chez le canard. Les plumes des canards infectés par les VIAHP du sous-type H5 produisent et relarguent en effet massivement des particules virales infectieuses par desquamation de l'épithélium. Ces particules virales sont retrouvées en association avec les débris de plumes dans les poussières et aérosols provenant d'élevages infectés. Cette voie d'excrétion semble importante chez les palmipèdes, mais marginale chez les galliformes, comme le poulet.

[Emerging Microbes & Infections
doi.org/10.1080/22221751.2023.2272644](https://doi.org/10.1080/22221751.2023.2272644)

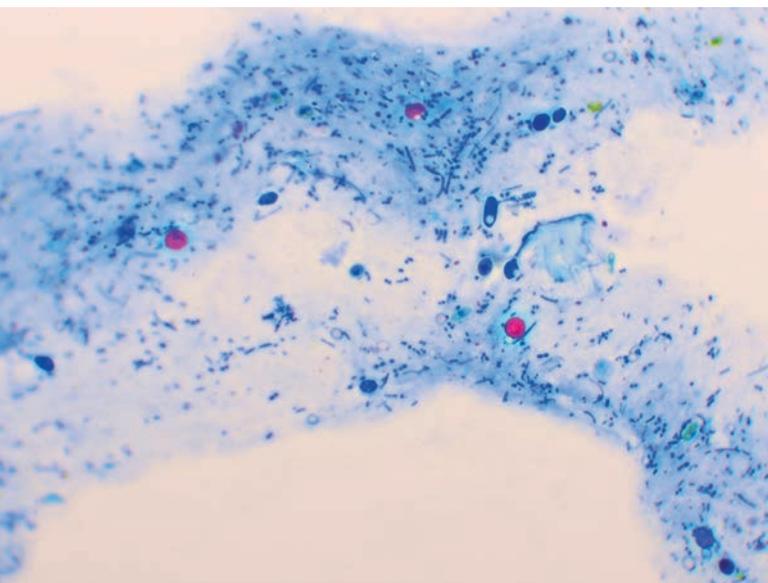


^

Les débris relargués par les follicules de plumes constituent une source complémentaire de diffusion des virus influenza aviaire dans l'environnement, en plus des particules d'origine respiratoire ou digestive.
©IHAP, ENVT-INRAE



Cryptosporidium parvum.
©AdobeStock



Des méthodes alternatives à l'expérimentation animale pour étudier les interactions hôtes-pathogènes

Face à l'évolution de la réglementation européenne et à une forte demande sociétale, les équipes INRAE collaborent avec l'université de Tours dans le cadre du projet ANIMALT et développent de nouveaux modèles d'étude ex vivo de différents tissus pour répondre aux questions scientifiques en lien avec l'inféctiologie et limiter le nombre d'animaux utilisés à des fins scientifiques. Pour le poulet, des modèles d'épiderme reconstitué et de follicule plumeux ont été mis au point pour étudier in vitro les infections par le virus de Marek, ainsi qu'un modèle d'organoides intestinaux pour étudier les infections par la bactérie *Salmonella* et le parasite *Eimeria*. Pour les bovins, des modèles d'organoides intestinaux et de coupes épaisses de poumon et de mamelle ont été mis au point pour analyser le développement intracellulaire du parasite *Cryptosporidium parvum* et la réponse aux agents responsables de la tuberculose bovine et de mammites.

PLOS One

doi.org/10.1371/journal.pone.0271448

Veterinary Research

doi.org/10.1186/s13567-023-01189-3

Journal of Animal Science and Biotechnology

doi.org/10.1186/s40104-023-00899-0

Productions Animales

doi.org/10.20870/productions-animales.2023.36.2.7562

doi.org/10.20870/productions-animales.2023.36.2.7574



BRÈVES

Une bourse ERC pour comprendre la transmission de l'influenza aviaire dans les réseaux de marchés de volailles vivantes

Claire Guinat a reçu une bourse ERC Starting Grant pour son projet TrackFLU. Elle étudiera les mécanismes de transmission des virus de l'influenza aviaire dans les réseaux de marchés de volailles vivantes au Cambodge. Son projet intégrera l'épidémiologie, l'écologie des systèmes d'élevage et l'évolution virale pour analyser les données collectées dans le cadre d'un vaste travail de terrain au Cambodge.

Un nouveau vaccin anti-influenza aviaire

La vaccination des volailles d'élevage contre la grippe aviaire est essentielle pour prévenir les épizooties dévastatrices dans l'industrie avicole. Une nouvelle formulation vaccinale avec une composition immunogène novatrice permettant d'élargir le spectre du vaccin tout en inhibant l'excrétion du virus dans l'environnement, obtenue en collaboration avec l'université du Québec à Montréal, représente une avancée significative dans le domaine de la lutte contre la grippe aviaire.

Brevet européen n° 23 306715.6

L'intelligence artificielle au service de l'identification des tiques

TICKS/AI est un outil conçu pour fournir une identification précise et rapide des différents genres taxonomiques des tiques présentes en France Métropolitaine. Cette solution utilise des techniques d'intelligence artificielle pour analyser des photos fournies par les utilisateurs. La détection peut être réalisée via une interface web conviviale ou une API (Application Programming Interface) qui permet d'intégrer la fonction de détection au sein d'applications tierces. TICKS/AI permet de détecter plus de 90 % des tiques présentes sur des photos et de caractériser 80 % des genres taxonomiques parmi les genres *Ixodes*, *Dermacentor*, *Rhipicephalus* et *Hyalomma*.



Pollutions, contaminants et exposome

Persistance des résidus de pesticides dans les sols : intérêt d'une surveillance nationale

À la différence de ce qui est fait pour les milieux aquatiques et l'atmosphère, la surveillance de la contamination des sols par les pesticides n'existe pas à l'échelle du territoire. Des travaux de chercheurs INRAE et de l'université de Bordeaux montrent qu'un grand nombre de substances persistent sous forme de résidus dans 46 des 47 sols prélevés en France métropolitaine. Au total, 67 molécules sur les 111 testées ont été retrouvées, majoritairement des fongicides et des herbicides. Les parcelles de grandes cultures sont les plus contaminées, avec jusqu'à 33 substances différentes retrouvées dans un seul site, et une moyenne de 15 molécules. Dans les sols sous forêts, prairies permanentes, en friche ou en agriculture biologique depuis plusieurs années, plus de 32 pesticides différents ont également été détectés, bien qu'à des concentrations majoritairement plus faibles. Les herbicides contribuent le plus aux concentrations totales en pesticides retrouvées dans les sols. Les risques de toxicité chronique pour les vers de terre, principalement liés aux insecticides et aux acaricides, sont estimés comme étant modérés à forts pour toutes les parcelles cultivées. Ces travaux démontrent une persistance inattendue des molécules de pesticides dans l'environnement, bien au-delà de leur temps de dégradation théorique et à des concentrations supérieures à celles escomptées. Ils soulignent un besoin accru de surveillance des sols, qui pourrait s'appuyer sur le Réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS) national, en place depuis plus de 20 ans.

Environmental Science & Technology
doi.org/10.1021/acs.est.2c09591

Contamination des aliments solides : un mécanisme de tolérance à l'acidité de l'estomac découvert chez une bactérie pathogène

Les aliments peuvent être contaminés par des bactéries pathogènes à l'origine d'intoxications alimentaires, avec parfois des complications graves pour les patients. La gestion des risques microbiens se base sur des seuils de contamination standardisés, mais ces seuils ne tiennent pas compte des spécificités des différents types d'aliments et de la diversité de populations microbiennes qui y sont présentes. Les scientifiques d'INRAE ont utilisé des hydrogels mimant la texture de certains aliments solides pour mieux comprendre l'adaptation de la bactérie pathogène *Escherichia coli* O157:H7 à différents microenvironnements (plus ou moins acides, présence d'autres bactéries...). Ils ont mis en évidence que *E. coli* O157:H7 peut développer



©AdobeStock

une tolérance aux conditions acides de certains environnements présents dans les aliments solides, comme la viande hachée et le fromage, en exprimant le gène de la glutamate décarboxylase gadB. Par comparaison avec des bactéries cultivées dans un milieu liquide ou sur un hydrogel de pH neutre, les bactéries *E. coli* provenant de ces environnements sont plus tolérantes à un milieu très acide (pH = 2) simulant les conditions de l'estomac. Ces résultats mettent en évidence la nécessité de prendre en compte les caractéristiques propres à chaque type d'aliments dans l'évaluation des risques microbiens pour la santé publique.

npj Science of Food
doi.org/10.1038/s41538-023-00229-8

Chercheurs et acteurs des filières s'allient pour promouvoir l'usage prudent d'antibiotiques en élevage

La surutilisation et le mésusage d'antibiotiques en élevage comptent parmi les principales causes de l'antibiorésistance, qui représente un enjeu majeur pour la santé publique, la santé animale et la protection de l'environnement. De 2019 à 2023, le projet européen ROADMAP a réuni 17 partenaires de 10 pays (en Europe, Afrique et Asie) pour étudier la transition des filières d'élevage vers un usage prudent d'antibiotiques. Interdisciplinaire et participatif, ce projet coordonne

donné par INRAE a développé des approches innovantes, guidées par une vision des sciences sociales et économiques. Pour encourager ces transitions, il a analysé les facteurs socioéconomiques de l'utilisation des antibiotiques, a accompagné l'élaboration des stratégies pour des changements adaptés au niveau local et a proposé des voies de transition pour divers systèmes de production d'animaux d'élevage en Europe et dans le monde. Les chercheurs ont mis en évidence l'importance des mesures réglementaires d'encadrement des usages qui complètent et uniformisent les initiatives privées souvent trop hétérogènes, le déploiement de dispositifs de monitoring des prescriptions et des utilisations ainsi que l'implication des acteurs dans les décisions.

zenodo.org/records/8038288

Une nutrition préventive pour la santé publique et environnementale

Manger de bonne heure pourrait réduire le risque cardiovasculaire

Les maladies cardiovasculaires représentent la principale cause de mortalité dans le monde avec 18,6 millions de décès chaque année en 2019, dont environ 7,9 seraient attribuables à l'alimentation. La chrononutrition émerge comme un domaine d'importance pour comprendre la relation entre le moment de la prise alimentaire, les rythmes circadiens et la santé. Une étude pilotée par INRAE, avec l'Institut de santé globale de Barcelone, l'Inserm et l'université Sorbonne Paris Nord, révèle que l'heure à laquelle nous mangeons au cours de la journée pourrait avoir une influence sur le risque de développer une maladie cardiovasculaire. Cette étude, menée sur un échantillon de plus de 100 000 personnes de la cohorte NutriNet-Santé suivies entre 2009 et 2022, suggère que manger tardivement pour la première ou la dernière fois de la journée serait associé à un risque plus élevé de maladies cardiovasculaires, particulièrement chez les femmes. Il ressort également qu'une durée plus longue du jeûne nocturne est associée à une réduction du risque des maladies cérébrovasculaires, comme les AVC. Ces résultats soulignent un rôle potentiel du moment de la prise des repas dans la prévention des maladies cardiovasculaires : prendre son premier et son dernier repas plus tôt avec une plus longue période de jeûne nocturne pourrait contribuer à prévenir le risque de maladie cardiovasculaire.

Nature Communications

doi.org/10.1038/s41467-023-43444-3

BRÈVE

Devenir des résidus d'antibiotiques dans les litières des élevages

Dans le cadre du projet européen H2020 Healthylivestock, les chercheurs ont montré que la stabilité chimique des antibiotiques utilisés pour les traitements avait une plus grande influence sur leur rémanence dans les litières que la fréquence des traitements. Afin de limiter la pollution des litières en résidus d'antibiotiques, la réduction du nombre de traitements devrait être accompagnée d'une réorientation des prescriptions vers des familles d'antibiotiques instables et rapidement dégradés dans l'environnement.

Environmental Research

doi.org/10.1016/j.envres.2023.117242

Une stratégie innovante pour réduire le risque de dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA)

La DMLA est la première cause de malvoyance dans les pays industrialisés chez les personnes âgées de plus de 50 ans. Alors qu'il est estimé qu'environ 288 millions de personnes seront affectés dans le monde par cette maladie d'ici 2040, les traitements de la DMLA restent limités et non curatifs. La nutrition est aujourd'hui au cœur de la recherche de stratégies préventives. En particulier, plusieurs études chez l'être humain indiquent qu'une alimentation riche en acides gras oméga-3 – apportés notamment par la consommation de poissons gras – serait protectrice vis-à-vis de l'apparition et de la progression de la DMLA. Cependant, les stratégies nutritionnelles actuelles visant à augmenter la biodisponibilité des acides gras oméga-3 pour la rétine ne sont pas optimales. Des chercheurs d'INRAE et de l'université de Bourgogne ont montré chez la souris qu'une supplémentation en probiotiques (*Lactiseibacillus casei*) et un jeûne intermittent (accès quotidien à la nourriture ad libitum mais sur seulement 2 créneaux horaires) étaient chacun associés à des modifications de la composition en acides gras de la rétine, et que leur combinaison potentialisait ces effets jusqu'à modifier l'abondance relative de plus des 2/3 des espèces d'acides gras rétinien. Ces résultats apportent une preuve de concept que modifier le microbiote intestinal par le prisme de l'alimentation pourrait être une stratégie efficace pour augmenter la teneur des acides gras oméga-3 dans la rétine, et ainsi réduire le risque de la DMLA.

Aging and Disease

doi.org/10.14336/AD.2023.0324

>

Dégradation des fibres et des mucines par le microbiote intestinal

Des chercheurs INRAE ont développé une nouvelle méthode d'analyse métagénomique, combinant modélisation du métabolisme microbien et apprentissage statistique, pour étudier le microbiote intestinal humain. L'analyse de 1 153 échantillons fécaux leur a permis d'identifier 4 profils fonctionnels universels impliqués dans la dégradation des fibres alimentaires et des mucines. Ces profils reflètent différents aspects du fonctionnement du microbiote. L'équilibre entre ces profils est essentiel pour un microbiote sain : chez les individus obèses, cet équilibre est perturbé, tandis qu'il est favorisé par un régime riche en fibres. Les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin sont associées à un changement de prédominance de ces profils, indiquant des modifications dans le fonctionnement global du microbiote. Ces découvertes offrent des perspectives pour l'utilisation de ces profils comme marqueurs de détection de déséquilibres du microbiote. Elles pourraient aider au développement de nouveaux pré- et probiotiques pour restaurer les fonctions altérées du microbiote, offrant ainsi des pistes pour

des traitements plus ciblés et efficaces pour maintenir ou rétablir un microbiote sain.

Microbiome

doi.org/10.1186/s40168-023-01667-y

Vers des choix alimentaires plus durables grâce à l'affichage environnemental ? Une expérimentation en supermarché virtuel

Réduire l'impact sur l'environnement de notre alimentation est un enjeu majeur de la transition écologique. Le déploiement d'un affichage environnemental dans le secteur alimentaire est actuellement envisagé par les pouvoirs publics pour inciter les individus à choisir des aliments de moindre impact environnemental. L'effet d'un affichage environnemental sur les choix alimentaires et sur la capacité des individus à identifier les aliments de moindre impact environnemental a été testé dans un environnement immersif virtuel recréant un supermarché et impliquant 132 participants. Les résultats montrent qu'un affichage de type label permet de mieux identifier les aliments à plus faible impact environnemental et de réduire l'impact environnemental des choix alimentaires pour un repas, en diminuant notamment les choix à base de viande. La diminu-

tion de l'impact environnemental des choix effectués ne se fait ni au détriment de la qualité nutritionnelle, ni de l'appréciation des aliments choisis et n'entraîne pas de surcoût. Ces résultats soutiennent la mise en place d'un affichage environnemental dans le secteur alimentaire. Ils soulignent l'importance de parvenir à un consensus sur un label facile à comprendre et de veiller à un déploiement coordonné afin que l'affichage environnemental puisse être une mesure réellement efficace.

International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity

doi.org/10.1186/s12966-023-01410-8

BRÈVE

Des légumineuses pour l'alimentation et l'agriculture nationale et européenne

INRAE coordonne un projet de recherche européen pour optimiser la sélection génétique de 14 légumineuses dans l'Union européenne et les pays associés. Le projet BELIS (Breeding European Legumes for increased Sustainability) a démarré en octobre 2023 pour 5 ans et réunit 34 partenaires dans 18 pays. Soutenu par le programme Horizon Europe, il répond à la stratégie de l'Union européenne de favoriser la culture des protéines végétales. INRAE coordonne également le projet LETS-PROSEED qui vise à accroître la consommation des protéines de légumineuses, et participe au projet SOYSTAINABLE pour le développement de sources de protéines de soja locales et durables, tous deux financés sur la période 2023-2028 dans le cadre de l'appel à projets Protéines de légumineuses de France 2030.

©AdobeStock





Diversification de l'alimentation des enfants : un enjeu de santé

ENTRETIEN AVEC

Sophie Nicklaus

Centre des sciences du goût
et de l'alimentation (CSGA)

Pourquoi la petite enfance est-elle cruciale pour l'acquisition des habitudes alimentaires ?

La petite enfance est fondatrice pour la mise en place des fonctionnements biologiques en lien avec l'environnement utérin et post-natal. C'est vrai pour des organes clés comme le cerveau ou l'intestin et pour de nombreux paramètres de santé : croissance staturo-pondérale, neurodéveloppement, immunité acquise... Cette période sensible, désignée comme période des 1 000 jours – de la conception à 2 ans – fait l'objet de différentes politiques de prévention de la santé.

Le comportement alimentaire s'élabore comme une réponse adaptative de

l'enfant à l'environnement alimentaire qui lui est offert, tant en ce qui concerne les types d'aliments que les pressions éducatives exercées par les parents. Les apprentissages précoces sont souvent plus faciles et plus durables que les apprentissages plus tardifs, et c'est pourquoi il importe de favoriser les conditions d'apprentissage des préférences pour des aliments sains quand l'enfant se montre ouvert à des découvertes alimentaires, avant l'apparition de la néophobie alimentaire qui survient vers 2 ans.

Comment inciter les parents à bien conduire la diversification de l'alimentation de leurs enfants ?

Alors qu'en France l'allaitement au sein est relativement peu pratiqué, la conduite de la diversification alimentaire joue un rôle important. Nos travaux menés en collaboration avec l'Inserm, l'Ined et le CHRU de Nancy précisent son rôle dans le développement des maladies allergiques. Cette étude épidémiologique basée sur la cohorte Elfe, concernant 6 662 enfants âgés de 2 mois à 5,5 ans, met en évidence que seuls 62 % des enfants ont débuté la diversification alimentaire sur la période recommandée, soit entre 4 et 6 mois. Pour 1 enfant sur 10, au moins 2 allergènes majeurs, parmi les œufs, le poisson, le blé et les produits laitiers, ne sont pas encore introduits dans l'alimentation à l'âge de 10 mois. Nos résultats confirment que ces mêmes enfants ont un risque 2 fois plus élevé de développer une allergie alimentaire avant l'âge de 5,5 ans que ceux pour lesquels les 4 allergènes considérés sont introduits avant l'âge de 10 mois. Cette étude souligne l'importance de ne pas retarder l'introduction des allergènes alimentaires

majeurs pour prévenir la survenue des maladies allergiques dans l'enfance.

Pour encourager les parents à adopter des bonnes pratiques d'alimentation, il importe de les informer. Les pouvoirs publics français ont mis à jour les recommandations en la matière, sous la forme de guides accessibles au plus grand nombre et d'une campagne média qui s'est appuyée sur des recherches menées par INRAE pour comprendre les besoins des parents. D'autres travaux sont en cours pour évaluer si la diffusion de ces recommandations modifie le comportement des parents.

Comment faire évoluer les com- portements alimentaires pour une meilleure santé de l'être humain mais aussi de son environnement ?

De nombreuses analyses prospectives mettent en avant les leviers pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation tout en réduisant son impact sur l'environnement, par exemple en réduisant la consommation de viande rouge et de charcuterie. Pour faire évoluer les comportements alimentaires, une double stratégie semble prometteuse : agir à la fois sur l'offre et sur la demande afin de faciliter la mise en place de boucles vertueuses de changement. Un des objectifs du PEPR Alimentation-Microbiomes est de stimuler et de financer des travaux qui permettront d'évaluer de telles stratégies.

Allergy
doi.org/10.1111/all.15828



Cette étude souligne
l'importance de ne pas
retarder l'introduction
des allergènes
alimentaires majeurs
pour prévenir la survenue
des maladies allergiques
dans l'enfance.





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



Site de recherche et d'expérimentation sur les technologies et systèmes d'information pour les agrosystèmes, Montoldre (03).
©INRAE - C. Maître

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 de l'évaluation des impacts climatiques, de la protection des cultures ou du bien-être animal.



Systèmes complexes

L'intelligence artificielle pour la conception d'enzymes

La mise au point de solutions biotechnologiques novatrices pour une multitude de secteurs (environnement, alimentation, santé...) nécessite de concevoir des enzymes sur mesure dotées de fonctions améliorées ou nouvelles. Le design computationnel de protéines (CPD) offre un potentiel considérable pour répondre à ce besoin. Il vise à prédire la séquence d'acides aminés qui se replie dans une structure 3D donnée et présente la fonction cible, en explorant de vastes espaces combinatoires de séquences, bien au-delà de ceux explorés par l'évolution naturelle ou par les approches expérimentales traditionnelles en ingénierie des protéines. En combinant des algorithmes d'intelligence artificielle (IA) de raisonnement automatique avec des simulations moléculaires, les chercheurs ont mis au point une approche originale dédiée au design d'enzymes dont l'efficacité a été démontrée expérimentalement. En tirant parti de la masse de données croissante de structures de protéines et des progrès algorithmiques en IA, ils ont également développé une approche hybride associant apprentissage profond et raisonnement automatique qui promet d'accélérer encore davantage les avancées dans le design d'enzymes pour proposer des solutions biotechnologiques innovantes dans de nombreux secteurs, notamment l'industrie, l'agriculture et la santé. En plus de sa rapidité et sa transparence, le véritable atout de la méthode développée est sa capacité à modéliser des problèmes variés, allant de la résolution de sudoku à des problèmes comme le design de nouvelles protéines.

ACS Catalysis

doi.org/10.1021/acscatal.3c01452

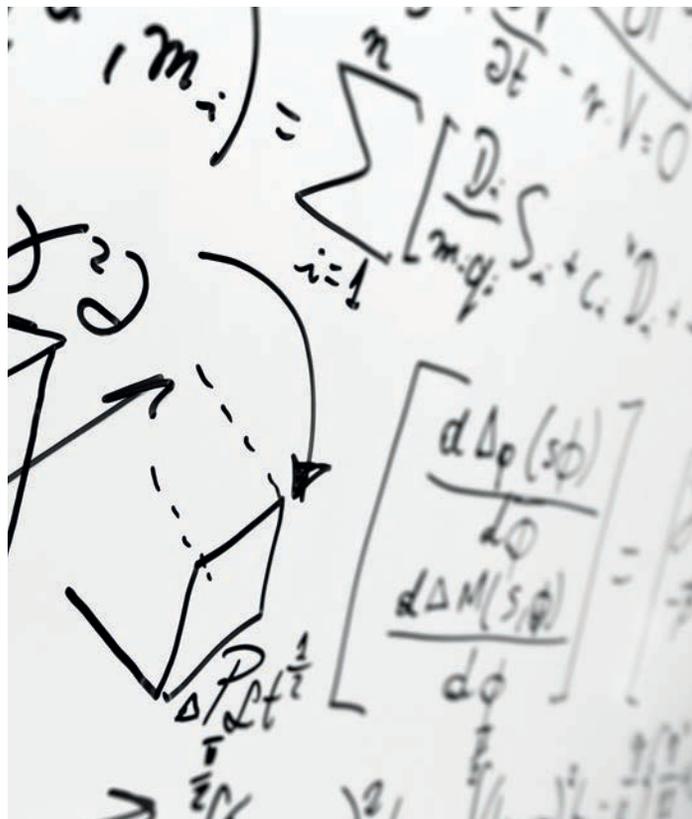
IJCAI 2023 Proceedings

arxiv.org/abs/2305.07617

Mettre le microbiote du rumen en équation pour réduire les émissions de méthane

Le microbiote du rumen joue un rôle essentiel dans la nutrition et la santé des ruminants en dégradant les aliments végétaux et les transformant en source d'énergie et de protéines pour l'animal. Cependant, l'action du microbiote est aussi à l'origine des émissions de méthane. Les progrès dans les techniques de caractérisation à haut débit (approches omiques) ont accru nos connaissances sur le microbiote ruminal, mais la traduction de ces connaissances en stratégies de manipulation microbienne efficaces pour réduire les émissions de méthane tout en préservant la santé de l'animal reste un défi. En collaboration avec l'Inria et la Queen's University de Belfast et en ré-

©Freepik



unissant des expertises en microbiologie du rumen, en modélisation mathématique, en modélisation métabolique et en biologie computationnelle, les chercheurs ont proposé un cadre mathématique pour intégrer les informations génomiques microbiennes dans des modèles prédictifs du processus de fermentation dans le rumen. Les modèles utilisés ont permis d'étudier les capacités métaboliques de la bactérie cellulolytique *Fibrobacter succinogenes* S85 et de simuler leurs variations en réponse à des perturbations de l'écosystème ruminal. Cette approche constitue une étape clé pour construire un modèle mathématique plus complet du microbiote du rumen qui pourra être utilisé pour concevoir des stratégies de réduction des émissions et étudier leurs co-bénéfices pour l'animal.

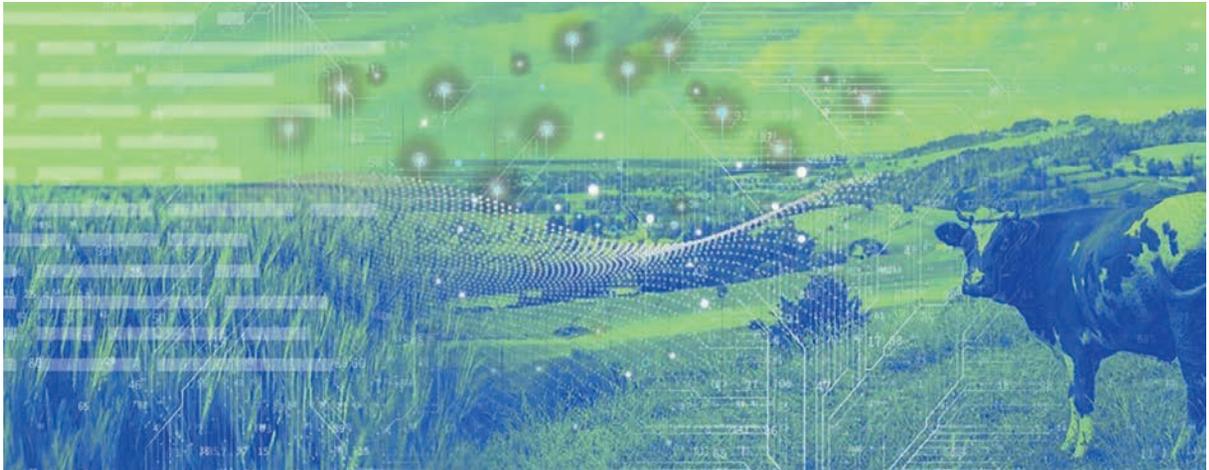
mSystems

doi.org/10.1128/msystems.01027-22

Animal

doi.org/10.1016/j.animal.2023.100984

Le numérique et la robotique au service de la transition agroécologique



©INRAE

58

Ajuster automatiquement les apports nutritionnels aux besoins individuels des truies gestantes : un exemple de synergie entre agroécologie et numérique

L'alimentation sur mesure vise à fournir une ration adaptée aux besoins nutritionnels de chaque animal afin d'améliorer l'efficacité alimentaire et de réduire le coût alimentaire et les impacts environnementaux. En élevage porcin, les besoins des truies gestantes sont actuellement déterminés par un modèle nutritionnel (InraPorc) s'appuyant sur des données enregistrées manuellement. Une étude a été réalisée pour déterminer s'il était possible d'automatiser le calcul des besoins des truies gestantes en se basant uniquement sur des données collectées grâce à des capteurs ou automates présents dans l'environnement des truies (par exemple alimentateurs, caméras, etc.). Neuf algorithmes d'apprentissage automatique ont été testés pour prédire les besoins nutritionnels quotidiens de truies gestantes dans 22 scénarios de fermes numériques. Les données produites par l'alimentateur (seules ou combinées avec un autre capteur) conduisent aux prédictions les plus précises (95-99 %). Ces résultats montrent que les besoins individuels quotidiens en nutriments des truies gestantes peuvent être prédits avec précision grâce aux données fournies par certains capteurs ou automates en élevage en les associant aux méthodes de machine learning. Ils ouvrent la voie à des solutions pour la mise en place de l'automatisation de l'alimentation sur mesure en élevage.

[Journal of Animal Science
doi.org/10.1093/jas/skad337](https://doi.org/10.1093/jas/skad337)

Lancement du PEPR Agroécologie et numérique

La recherche et l'innovation ont un rôle fondamental à jouer dans la construction d'une agriculture numérique responsable, au service du développement de modes de production durables. Le Programme et équipement prioritaire de recherche Agroécologie et numérique a été lancé officiellement le 6 janvier 2023 par les ministères en charge de la Recherche, de l'Agriculture, de la Transition numérique et par le secrétariat général pour l'Investissement. Ce PEPR s'inscrit dans la stratégie d'accélération « Systèmes agricoles durables et équipements agricoles contribuant à la transition écologique ». Financé par l'État à hauteur de 65 millions d'euros pour 8 ans dans le cadre de France 2030, le PEPR vise à fédérer les recherches de toutes disciplines à l'interface entre les deux trajectoires du numérique et de l'agroécologie, en associant les partenaires socioéconomiques. L'objectif est d'orienter le développement du numérique pour servir l'agroécologie. Pour cela, le PEPR ambitionne d'identifier les développements spécifiques nécessaires et d'analyser leurs impacts, afin de favoriser la sobriété d'une part, et de renouveler l'attractivité du secteur agricole d'autre part. Partenaires de longue date et auteurs du livre blanc *Agriculture et numérique* paru en mars 2022, INRAE et Inria se voient confier le copilotage de cet ambitieux programme de recherche sur les synergies entre transition numérique et transition agroécologique. ➤



L'intelligence artificielle au service des recherches d'INRAE

ENTRETIEN AVEC

Hervé Monod

Chef du département
MathNum

Qu'apporte l'intelligence artificielle (IA) dans les domaines scientifiques d'INRAE ?

L'IA fait aujourd'hui référence aux progrès considérables accomplis dans les méthodes d'apprentissage automatique et d'intégration de données. Elle ouvre de nouveaux horizons par sa capacité à exploiter des jeux de données massifs et de toutes natures pour détecter, classer, prédire et reproduire des structures complexes. Tous les domaines scientifiques d'INRAE sont concernés : biologie (données omiques, imagerie, phénotypage), sciences de l'environnement (réseaux de capteurs, télédétection), sciences sociales (données textuelles, vidéos, données d'enquête), etc.

L'IA inclut aussi des avancées sur le raisonnement automatique, l'optimisation ou la théorie des jeux, ainsi que des technologies qui enrichissent l'interface homme-machine. L'IA générative,

en particulier, permet de générer des variantes virtuelles mais réalistes d'objets ou de systèmes réels, sous une forme intelligible à ses utilisateurs ou sous un format numérique se prêtant à la simulation. Il devient possible, non seulement de poser des questions à une IA, mais aussi de concevoir, générer et tester in silico des complexes moléculaires, des itinéraires techniques ou des scénarios climatiques, à différentes échelles de temps et d'espace.

Présentes au sein du département MathNum notamment, les recherches en IA sont indispensables pour développer ces nouvelles méthodes, mais aussi pour évaluer les risques et opportunités. Nos équipes s'intéressent également aux approches hybrides entre IA, statistique inférentielle et modélisation et bien sûr à leurs nombreuses applications.

Quelles sont les perspectives pour l'IA générative en agriculture ?

Croisée avec la modélisation et la simulation, l'IA générative permet, avec des données de qualité et des moyens de calcul adaptés, de mieux reproduire les incertitudes et la variabilité des systèmes étudiés pour explorer le champ des possibles. C'est un enjeu essentiel en recherche pour concevoir des systèmes innovants et évaluer les risques face au changement climatique et aux transitions en cours dans l'agriculture.

L'IA générative commence aussi à être utilisée pour offrir des services aux acteurs, comme l'a montré un hackathon organisé par la Ferme Digitale au dernier Salon international de l'agriculture, auquel INRAE a contribué. À condition de bien en mesurer les limites, les applications

potentielles sont nombreuses : synthèse de connaissances, aide à la décision, prédictions et évaluation du risque, formation par des techniques de réalité virtuelle, intermédiation entre acteurs, etc. Sans parler des applications que l'on ne soupçonne pas encore !

Qu'est-ce qu'un jumeau numérique (JN) et que peuvent-ils apporter aux sciences du vivant ?

Nés dans le monde de l'entreprise, les JN font irruption dans celui de la recherche. Dans un JN, les connaissances disponibles sur un système réel précis sont recueillies et mises à jour régulièrement par des mesures sur ce système et son environnement. Le JN permet en retour d'étudier et de suivre l'état du système, de prédire son comportement et de décider d'actions si nécessaire.

L'intérêt des JN s'applique à de nombreux systèmes relevant des sciences du vivant (bioréacteur, tissu, plante, parcelle, animal, installation expérimentale), à condition de l'utiliser avec discernement pour ne pas dépersonnaliser notre rapport au vivant. Les premiers JN d'INRAE ont concerné des projets technologiques : suivi des performances techniques d'une station d'épuration, interactions de robots agricoles avec leur environnement, mais les domaines d'application des JN se diversifient. Nous travaillons actuellement sur un JN pour explorer les effets des contaminants alimentaires sur le métabolisme hépatique et un autre pour piloter un atelier laitier. Nous développons aussi des projets collaboratifs sur des JN à l'échelle de l'exploitation agricole, de territoires ou même de la planète avec l'initiative européenne Destination Earth.



À condition de bien
en mesurer les limites,
les applications
potentielles de
l'IA générative
sont nombreuses.



>

Le numérique au service de l'élevage sur mesure : l'exemple du comportement des vaches laitières

Le comportement d'un animal est très sensible aux perturbations extérieures, à son état de santé et à son statut physiologique. En appliquant des outils d'apprentissage automatique à des données obtenues d'une part à l'aide de capteurs d'activité et, d'autre part, par l'enregistrement de l'état spécifique de vaches laitières lié à une maladie (boiterie, mammité, acidose, accident, etc.), aux chaleurs, au vêlage, ainsi qu'au stress potentiel dû au regroupement d'animaux ou à la manipulation, les chercheurs ont mis au point une méthode permettant de détecter 56 à 86 % des anomalies dues à un problème de santé, aux chaleurs ou à un vêlage, souvent 1 à 2 jours avant les signes cliniques détectables par l'éleveur. Ces résultats montrent que la répartition des activités des vaches laitières au cours de la journée est un bon indicateur de l'état interne de l'animal et que l'apprentissage automatique appliqué à des séries temporelles est un ou-

til très puissant pour détecter et distinguer divers événements utiles pour l'éleveur : désordres de santé, chaleurs, vêlages, stress des vaches. La sensibilité de la méthode doit encore être améliorée pour qu'elle puisse être incorporée dans les outils actuels d'élevage de précision afin d'aider à la détection précoce d'éventuels désordres et de faciliter la prise de décision.

[Computers and Electronics in Agriculture
doi.org/10.1016/j.compag.2022.107556](https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107556)

Un algorithme innovant pour l'auto-pesée des petits ruminants

Les dispositifs d'auto-pesée pour l'élevage bovin sont commercialisés depuis quelques années. Ils permettent de suivre la croissance des animaux (et d'anticiper ainsi des problèmes de santé) ou de mieux piloter son élevage en évitant les manipulations stressantes pour les animaux. L'adaptation de ces dispositifs pour mesurer le poids de chaque individu d'un troupeau de brebis en extérieur est confrontée à des difficultés

liées aux caractéristiques dynamiques et grégaires des brebis. Les animaux rentrent de manière brutale et à plusieurs dans le dispositif, ce qui peut engendrer une proportion importante de données aberrantes. L'algorithme robuste Kfino (Kalman Filter with impulse noised outlier), créé à partir d'un modèle mécano-statistique, permet de nettoyer les jeux de données les plus « bruités » et d'utiliser un prototype d'auto-pesée des brebis au pâturage de manière automatique. Les résultats ouvrent des perspectives intéressantes pour mesurer sans intervention humaine le poids vif des brebis conduites au pâturage. Une application web est mise en ligne via la plateforme INRAE Sk8.

[ArXiv](https://arxiv.org/abs/2208.00961)

<https://arxiv.org/abs/2208.00961>

[Animal](https://doi.org/10.1016/j.anopes.2022.100032)

doi.org/10.1016/j.anopes.2022.100032

<https://oriole.sk8.inrae.fr/>

▼

Installation expérimentale de production laitière à Méjusse (UMR Pegase).
©INRAE - C. Maître



▼

BRÈVES

Le MobiLab AgroTIC : un fablab mobile à la rencontre des agriculteurs

Le besoin de formation des agriculteurs, la diversité et/ou la complexité des solutions disponibles et la crainte d'investissements trop coûteux font partie des freins principaux qui ralentissent l'adoption des outils numériques par le monde agricole. Pour aider les agriculteurs à s'approprier ces technologies par le biais de l'échange, du partage de connaissances et de l'auto-construction, le MobiLab AgroTIC propose des animations sur les technologies numériques en milieu rural. Il s'agit d'un véhicule-atelier, équipé de divers outils, qui permet d'effectuer des démonstrations ludiques autour des solutions numériques et d'organiser des ateliers de co-construction d'outils fonctionnels simples au service des agriculteurs et des viticulteurs. Soutenu par le projet Territoire d'innovation Occitanum et le Mas numérique, le MobiLab AgroTIC apporte au monde rural la dynamique des fablabs.



^
MobiLab à la rencontre d'agriculteurs.
©INRAE

Création d'un laboratoire partenarial associé (LPA) pour la robotique agricole

Le LPA I-Smart résulte de la collaboration entre l'unité de recherche TSCF du centre INRAE Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes et Sherpa Engineering et incarne l'engagement des deux entités dans la recherche appliquée en robotique agricole. I-Smart se positionne comme un catalyseur de l'innovation, visant à relever les défis spécifiques de la robotique agricole et la mobilité hors route, notamment dans les environnements extérieurs complexes et changeants.



Science ouverte

INRAE partage les processus et les résultats de ses recherches, non seulement avec tous les scientifiques, mais aussi avec la société. En 2023 plusieurs actions importantes ont été mises en œuvre : l'ouverture d'un portail dédié à la science ouverte, le développement de Recherche Data Gouv et l'élargissement du Prix de la recherche participative.

Ouverture du portail science ouverte

Fort de son expertise pour l'ouverture des sciences à tous les publics, INRAE a lancé le 25 octobre un portail web à destination de la communauté scientifique pour faire découvrir la science ouverte au quotidien. Il promeut les bonnes pratiques en la matière et met en avant les avancées d'INRAE dans ce domaine au travers de guides pratiques, de services, d'actualité et de liens utiles. Les scientifiques peuvent par exemple découvrir des projets de sciences et recherches participatives dans lesquels s'impliquer. Ils ont accès à différents services pour être accompagnés dans leurs projets.



▲ <https://science-ouverte.inrae.fr/fr>

Recherche Data Gouv poursuit son développement

Ouvrir l'accès aux données issues de la recherche est un enjeu majeur pour accélérer la science. Lancée par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, le dispositif national Recherche Data Gouv intègre de nombreuses composantes dont la plateforme – qui comprend l'entrepôt, le catalogue et le portail – a été confiée à INRAE. Fin 2023, 18 mois seulement après son lancement, près de 35 établissements de l'ESR bénéficiaient d'un entrepôt institutionnel sur recherche.data.gouv.fr. Le portail facilite l'accès à plus de 3 690 jeux de données et oriente vers les dispositifs d'accompagnement (Ateliers de la donnée notamment). Des classes virtuelles sont régulièrement organisées pour faciliter l'usage de l'entrepôt et l'administration d'une collection. L'année 2023 a également été marquée par la préfiguration d'une unité mixte de service « Entrepôt - catalogue de Recherche Data Gouv » visant à pérenniser la plateforme et les moyens associés.

BRÈVES

Un guide sur l'innovation ouverte à INRAE

En mai 2023 le guide *Accompagner l'innovation ouverte et sociale à INRAE* a été mis en ligne sur l'archive nationale HAL afin de favoriser les dynamiques en place au sein des départements scientifiques. hal.inrae.fr/hal-04088890v2



Prix Science ouverte des données de la recherche pour DataSusFood

Lors de la remise du Prix Science ouverte des données de la recherche, le 4 décembre 2023, le projet INRAE DataSusFood a été distingué dans la catégorie « Créer les conditions de la réutilisation ». Ce projet, porté par Magalie Weber (unité BIA), vise à structurer et ouvrir les données pour améliorer la durabilité des systèmes alimentaires.

Partenariat entre INRAE et l'Association française pour l'éducation par la recherche

L'Association française pour l'éducation par la recherche (AFPER) déploie des actions, services, ressources et des formations dans le domaine éducatif, appuyés par les travaux scientifiques de professionnels de l'éducation. Le programme proposé par l'association repose sur le modèle de l'éducation par la recherche et mobilise savoirs scientifiques et expertise pédagogique. Plus d'une vingtaine de chercheuses et chercheurs INRAE sont impliqués dans la production de supports pédagogiques d'éducation par la recherche, en lien avec l'AFPER. Ils ont contribué à la conception en 2023 d'une fresque pédagogique représentant de manière transversale les différentes problématiques liées à une alimentation saine et durable, un vade-mecum permettant d'illustrer certains points (par exemple : la place des légumineuses dans l'alimentation du futur) et même un MOOC intitulé Alimentation et environnement : quelle éducation au développement durable ?

fête de la Science

La Fête de la science, le rendez-vous annuel avec le grand public

Chaque année INRAE se mobilise pour la Fête de la science. Plus de 130 animations ont eu lieu du 6 au 16 octobre 2023, dans de nombreux centres INRAE, proposant parcours ludiques, courts-métrages scientifiques, ateliers et conférences.

Sur le site INRAE de Gothenon, dans la Drôme, l'unité expérimentale en arboriculture fruitière fêtait ses 60 ans. En plus d'une conférence « Du verger expérimental au jardin fruitier : orchestrer la biodiversité », le domaine de Gothenon a ouvert ses portes. Le public avait le choix entre des visites thématiques en immersion dans les vergers de demain, des expositions sur l'histoire de l'unité avec des photos et des films (résultats d'expérimentation, photos de la biodiversité, photos historiques...), un quiz sur l'arboriculture, un jeu de piste sur la biodiversité et une visite du laboratoire d'entomologie avec un atelier d'observation d'insectes à la loupe binoculaire.

Les recherches participatives à l'honneur

La seconde édition du Prix de la recherche participative 2023, dont le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche a confié l'organisation à INRAE, a été élargie à toute la communauté scientifique française et à tous les secteurs de recherche. Lors de la cérémonie du 26 juin 2023, 3 lauréats, sélectionnés par un jury composé d'acteurs académiques et associatifs, ont été récompensés. Dans la catégorie recueil citoyen, « TEMPO, observer au fil des saisons » (pilote par INRAE, le CNRS et Tela Botanica) ; dans la catégorie co-construction, 2 lauréats ex aequo : « évaluation de la prophylaxie en pré-exposition au VIH (PrEP) » (AIDES, Coalition Plus, Inserm et IRD) et « Croiser les savoirs avec tous sur la lutte contre les inégalités et la grande pauvreté » (CNRS, ATD Quart Monde, Cnam et université de Lille). Ces projets illustrent comment scientifiques et citoyens peuvent travailler ensemble pour produire des connaissances et des innovations.

En 2023, l'application pour smartphone issue du projet DRYRivers, piloté par INRAE, a également remporté un prix de l'Union européenne pour les sciences participatives, mention honorifique. Les données récoltées par les citoyens sur 1 900 cours d'eau à travers l'Europe et le monde permettent de suivre l'état des rivières intermittentes en temps réel et sont accessibles à tous via un simple site web. En plus d'être un outil de sensibilisation du grand public à l'assèchement des cours d'eau, DRYRivers permettra d'améliorer les prédictions scientifiques des effets du changement climatique sur ce type de rivières.

FOCUS

TEMPO a compilé 2,5 millions d'observations

Réunissant des observations sur la phénologie d'animaux et de végétaux, TEMPO rassemble les données d'une centaine de partenaires mobilisant le grand public pour contribuer à la recherche scientifique sur le changement climatique. En 5 ans, le projet a compilé 2,5 millions d'observations sur 11 500 sites. TEMPO a intégré en 2016 l'Observatoire des saisons, créé dès 2007 pour sensibiliser la société aux conséquences du changement climatique et pallier l'absence de réseau d'observation de la phénologie en France. Par la remise du Prix de la recherche participative, le jury souligne la qualité du projet TEMPO et l'engagement de longue date de l'Observatoire des saisons dans les sciences et recherches participatives.



Partenariats et impacts



Visite d'un champ de culture fourragère.
Échange entre agriculteurs et éleveurs sur le domaine
de Saint-Laurent de la Prée (17).
©INRAE - B. Nicolas



Fédérer l'expertise internationale pour plus d'impact



ENTRETIEN AVEC

Jean-François Soussana
Vice-président en charge de la politique internationale

Quelle a été la richesse de l'année 2023 ?

L'année 2023 a été marquée par la reprise des déplacements et rencontres internationales. Nous avons ainsi pu signer des accords importants en Asie et en Océanie. Dans le même temps nous avons continué à développer les collaborations en Afrique, en coopération avec le Cirad, avec par exemple la deuxième assemblée générale de TSARA au Sénégal. Nous sommes impliqués également dans la montée en puissance des initiatives thématiques en lien avec la diplomatie française.



La transformation des systèmes alimentaires est devenue urgente pour préserver un avenir durable.



Ainsi le One Forest Summit, organisé par la France et le Gabon à Libreville en mars, a permis de lancer l'initiative One Forest Vision réunissant 6 organismes français et coordonné par le Cirad, INRAE et l'IRD. Cette initiative se déploie sur le bassin du Congo et vise à mieux caractériser la biodiversité et les stocks de carbone des forêts tropicales primaires.

Plusieurs autres initiatives sont en cours de développement international. Citons celle sur l'étude des liens entre microbiome et santé humaine, avec la création d'un réseau mondial de centres de recherche, et PREZODE (prévention de l'émergence des maladies zoonotiques) qui a élu son comité directeur international. Ces développements sont dans certains cas soutenus directement par la Commission européenne. Ainsi, le consortium international de recherche sur le carbone du sol a été lancé dans le cadre de la mission sur la santé des sols de la Commission.

Quelles sont les perspectives ?

Aujourd'hui INRAE est le premier institut dans le monde spécialisé sur l'agriculture, l'alimentation et l'environnement. Nos recherches contribuent aux

objectifs de développement durable des Nations unies concernant la sécurité alimentaire, la santé, le changement climatique, la biodiversité, les ressources naturelles, etc. L'atteinte de ces objectifs a pris du retard et l'ONU a identifié la transformation des systèmes alimentaires comme l'un des leviers pour rattraper ce retard.

Je représente INRAE dans un panel pour les Nations unies dont le but est d'accompagner, par l'expertise scientifique, les transformations des systèmes alimentaires dans chaque pays. Nous cherchons à mobiliser et à fédérer les compétences de pointe et l'appui aux politiques publiques au niveau national, européen et international dans ce but.

Il s'agit donc en Europe de structurer des partenariats en bilatéral, ou en réseau, pour mobiliser la meilleure recherche européenne et renforcer l'expertise internationale sur les différents enjeux globaux comme le changement climatique, la protection de la biodiversité ou la sécurité alimentaire.

C'est une perspective ambitieuse que d'articuler tous ces niveaux en vue de la transformation des systèmes alimentaires, mais ces transformations sont devenues urgentes pour préserver un avenir durable. ●

International



INRAE poursuit sa politique de structuration des coopérations scientifiques bilatérales ou multilatérales avec de nombreux partenaires.

Une année riche en initiatives et rencontres

L'année 2023 a été marquée par une forte dynamique, avec 13 nouveaux accords-cadres signés. Les déplacements des délégations INRAE, menées par le PDG, ont fortement renforcé les collaborations internationales de l'institut.

En Amérique du Nord, le partenariat historique a pu être renforcé avec l'université Laval au Québec. Un nouveau laboratoire international associé pour la nutrition des animaux d'élevage et la modélisation pour des systèmes alimentaires durables (LIA Nutri-Mod) a été signé. Ce LIA renforcera les connaissances sur les systèmes d'alimentation des animaux monogastriques, dans le but d'améliorer la durabilité des élevages tant en Europe qu'au Canada. Aux États-Unis, le LIA IN-COMBI a été signé avec l'université du Michigan. Il porte sur l'adaptation nutritionnelle des plantes au changement climatique.

En Asie, le PDG et le vice-président International ont participé à la 20^e rencontre annuelle du Forum pour la science et la technologie dans la société (STS Forum) qui réunissait à Kyoto les leaders mondiaux de la recherche. Ce déplacement au Japon a permis de renforcer le partenariat avec le NARO en matière de robotique et de phénotypage des plantes pour répondre aux enjeux de la sécurité alimentaire mondiale. En Inde, à l'occasion de la participation de Philippe Mauguin au G20 MACS (meeting of the agricultural chief

scientists du G20), un accord-cadre a été conclu entre INRAE et notre partenaire de longue date l'Indian Institute of Science de Bangalore. Il vient renforcer la coopération sur la réutilisation des eaux urbaines, la chimie verte et la biologie cellulaire moléculaire. Par ailleurs, le partenariat avec l'ONG BAIF a pu être renouvelé, organisation avec laquelle INRAE travaille sur le living lab ClINSFoodS qui porte sur la transition agroécologique des agriculteurs indiens.

En Océanie, un fort développement des accords et instruments structurants a été impulsé en 2023. En Australie, l'accord pour le programme avec le CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) a été renouvelé, et 3 nouveaux accords-cadres ont été signés avec les universités de Melbourne et du Queensland et l'Australian National University. En Nouvelle-Zélande, le LIA Biomata a été créé. Il fournira des connaissances fondamentales et appliquées pour le développement de matériaux biosourcés à partir de ressources issues de la biomasse végétale. Les recherches menées s'inscrivent dans une démarche d'économie circulaire.

La participation des scientifiques INRAE dans les organisations et réseaux internationaux s'intensifie

En 2023, l'institut était partie prenante des grandes initiatives internationales.

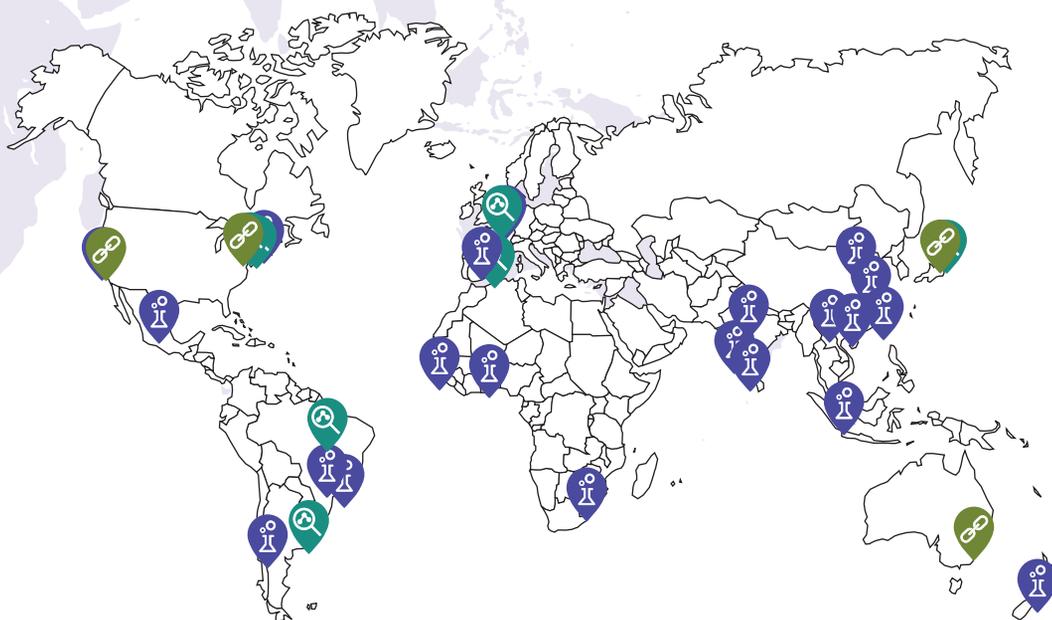
Dans la continuité du premier Sommet des Nations unies sur les systèmes alimentaires (UN Food Systems Summit) organisé en 2021, INRAE, aux côtés du Cirad et de l'IRD, a participé au point d'étape décisif de juillet 2023. Le vice-président International d'INRAE, qui avait rejoint le Comité scientifique consultatif du hub de coordination onusien et de suivi du sommet, est devenu l'un des 2 coprésidents de ce comité.

INRAE soutient la convergence onusienne entre la transformation des systèmes alimentaires et le changement climatique. L'institut est impliqué dans le volet recherche de la Coalition mondiale pour la transformation des systèmes alimentaires par l'agroécologie. INRAE contribue également à la Coalition mondiale pour l'alimentation scolaire ainsi qu'au réseau de recherche français correspondant. Le réseau a par exemple participé à l'événement organisé en marge de la réunion mondiale de la Coalition à Paris en octobre 2023, à l'initiative du président de la République.

À la COP28 Climat à Dubaï en novembre/décembre 2023, le vice-président International d'INRAE a participé à la journée internationale « 4 pour 1 000 », à un événement organisé par le Haut Conseil pour le climat sur le pavillon France et à un autre organisé par l'European Scientific Advisory Board on Climate Change sur le pavillon de l'Union européenne.

Instruments internationaux coordonnés par INRAE en 2023

joint linkage calls, laboratoires internationaux associés et réseaux internationaux de recherche



-  Laboratoire international associé (LIA)
-  Réseau international de recherche
-  Joint linkage call

IRI et PPI, les vases communicants

INRAE soutient et contribue à la coordination des initiatives de recherche intergouvernementales comme la Wheat Initiative et la Global Research Alliance, ainsi que des programmes internationaux de recherche comme AgMIP (projet d'intercomparaison et d'amélioration de modèles de simulation de cultures).

L'institut est également force de proposition de programmes prioritaires internationaux, en cohérence avec ses orientations stratégiques INRAE 2030. Il s'agit de porter, avec des partenaires scientifiques, une mobilisation nationale, européenne et internationale pour construire un agenda de recherche, puis contribuer en appui aux ministères au développement d'initiatives internationales comprenant un pilier recherche.

Outre les laboratoires internationaux associés (LIA) et les réseaux de recherche internationaux (2RI), les programmes prioritaires internationaux (PPI) et les initiatives de recherche internationales (IRI) ont poursuivi leur dynamique et leur développement.

Suite au PPI ORCaSa, le consortium international de recherche Soil Carbon a été officiellement lancé le 21 novembre 2023 à Madrid. L'initiative PREZODE a désormais sa gouvernance internationale et participe en tant qu'observatrice aux négociations sur le futur traité sur les pandémies.

FOCUS



One Forest Vision, une nouvelle initiative prometteuse

L'initiative One Forest Vision a été annoncée lors du One Forest Summit à Libreville le 2 mars 2023. Il s'agit d'un projet de recherche et de coopération scientifique et technique consacré au monitoring et à la cartographie des forêts et zones humides tropicales du bassin versant du Congo. Prévu pour une durée de 5 ans à partir de 2023 et doté de 15 M€, One Forest Vision est placé sous la tutelle conjointe du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère de l'Europe et des Affaires étrangères ainsi que sous la co-coordination Cirad-INRAE-IRD. Cette initiative est complémentaire du PPI CRAAFT et a vocation à s'articuler avec TSARA sur la thématique forêt.

TSARA, une assise partenariale et scientifique confortée avec l'Afrique

Créée en 2022, l'initiative TSARA (Transformer les systèmes alimentaires et l'agriculture par la recherche en partenariat avec l'Afrique), impulsée par le Cirad, INRAE et 17 institutions de recherche africaines se consolide. Elle compte aujourd'hui 26 membres ou membres associés, dont 22 du continent africain, et a été rejointe par l'Institut Agro et AgroParisTech. Le secrétariat bilingue s'est réuni à 8 reprises en 2023 et a stabilisé un agenda scientifique, renforcé sa gouvernance et répondu à plusieurs appels à projets. Un webinar scientifique visant à élaborer l'agenda scientifique et le plan d'action a rassemblé en septembre plus de 70 participants. Un événement dédié à TSARA a été organisé à l'occasion du Salon de l'agriculture à Abidjan et l'initiative a été présentée au Paris Peace Forum 2023.

©AdobeStock



Europe



L'institut continue à renforcer son engagement sur les priorités scientifiques du Pacte vert européen. De nombreux moyens sont déployés pour favoriser la participation d'INRAE dans l'espace européen de la recherche, et tout particulièrement dans le cadre des instruments du programme Horizon Europe. Pour mener à bien ses ambitions, INRAE peut compter sur l'expertise déterminante de sa filiale INRAE Transfert dans l'accompagnement des projets européens.

Horizon Europe : un taux de succès et de financement toujours élevé

INRAE est le premier acteur français et le deuxième acteur européen sur le cluster 6 (« Alimentation, bioéconomie, ressources naturelles, agriculture et environnement ») du pilier II d'Horizon Europe. Le taux de succès global d'INRAE reste fortement supérieur à la moyenne européenne (25 % contre 16 % au niveau européen) avec 48 projets remportés sur les appels 2022, sur 192 proposés. L'enveloppe financière INRAE sur ces appels représente 26,38 M€.



FOCUS



PHENET, un projet « infrastructures » européen en soutien à la transition agroécologique

PHENET (Tools and methods for extended plant PHENotyping and EnviroTyping services of European Research Infrastructures) vise à fournir des services innovants, fondés sur l'intelligence artificielle, pour le phénotypage dans l'agriculture. Démarré en 2023 à l'issue d'un appel à projets compétitif, PHENET regroupe près d'une trentaine de partenaires sous la coordination d'INRAE pour un budget total de plus de 10 M€ jusqu'à fin 2027. Fédérant les ressources de différentes infrastructures européennes – EMPHASIS (phénotypage des plantes), AnaEE (expérimentation des écosystèmes), eLTER (observation à long terme), ELIXIR (gestion des données en bioinformatique) –, le projet ambitionne de structurer le paysage des infrastructures européennes et de favoriser la collaboration entre les parties prenantes du secteur public et privé. PHENET contribue à la transition agroécologique afin de soutenir la sécurité alimentaire, la résilience au changement climatique, la biodiversité et la restauration des stocks de carbone dans les sols.

TRANSFORM, premier projet en coordination INRAE remporté sur les appels « missions » d'Horizon Europe

Les missions européennes visent à apporter des solutions concrètes aux plus grands défis du XXI^e siècle en s'appuyant sur une approche méthodologique transversale avec des objectifs concrets. La mission « Adaptation au changement climatique et aux transformations sociales » a comme objectif d'accompagner d'ici 2030 au moins 150 régions et communautés européennes vers la résilience climatique. Sélectionné à l'issue d'un appel à projets lancé par cette mission, le projet TRANSFORM (Transformative Rotations for Adaptation and Sustainable Future, Outcome and Resilience Mapping) coordonné par INRAE (10 M€, 18 partenaires) a pour ambition de proposer des rotations de cultures innovantes comme solutions fondées sur la nature pour l'adaptation de l'agriculture au changement climatique. Ces rotations de cultures seront créées avec les parties prenantes (Régions, agriculteurs et société civile de 5 régions européennes du pourtour atlantique). Le projet prévoit également 5 régions de réplification pour évaluer la possibilité de diffuser les résultats dans le reste de l'Europe.

giques en tenant compte des enjeux économiques et sociaux » ainsi que son orientation de politique générale visant à être un chef de file européen dans ces domaines. Elle se traduit par un fort investissement structurel de plus d'une vingtaine d'unités de recherche et de l'infrastructure de recherche CALIS dans les activités transversales du partenariat (ex. : contribution à l'observatoire des systèmes alimentaires et knowledge hubs & living labs). Les équipes de l'institut seront amenées à se mobiliser également sur les appels à projets de recherche collaboratifs qui seront ouverts annuellement par ce partenariat.



Participation aux nouveaux partenariats d'Horizon Europe

INRAE est un acteur clé dans les actions structurant le paysage européen de la recherche et identifiant les futures priorités de R&I. À ce titre, il s'est tout particulièrement engagé dans la construction des nouveaux partenariats européens d'Horizon Europe. Citons FutureFoodS, projet de partenariat co-financé porté par la France (ANR) qui rassemble 87 partenaires de 29 pays, y compris 42 agences de financement, avec un budget initial de 133 M€ (2024-2026).

Ce nouvel instrument co-financé par l'Union européenne et les États membres sur 10 ans a comme ambition de faciliter la transition vers des systèmes alimentaires sains et durables, en ligne avec les objectifs de développement durable des Nations unies, la stratégie Farm2Fork du Green Deal et la politique FOOD2030 de la Commission européenne. Dès la phase de réflexion, INRAE s'est fortement impliqué dans l'élaboration de ce partenariat stratégique. Cette mobilisation d'INRAE dans le projet FutureFoodS permet de répondre à l'objectif scientifique de la stratégie INRAE 2030 d'« accélérer les transitions vers des systèmes agricoles et alimentaires agroécologiques ».

Des résultats encourageants pour les bourses ERC

Les bourses d'excellence ERC (European Research Council), instruments majeurs et reconnus de la recherche européenne qui contribuent à maintenir l'Europe à la pointe de la recherche scientifique mondiale, mobilisent fortement INRAE à l'échelle institutionnelle et au sein des départements scientifiques. Le nombre de lauréats INRAE est en augmentation depuis la mise en place de ce programme très compétitif en 2019. Sur la période 2020-2022, les chercheurs INRAE ont été lauréats de 11 bourses ERC en tant que coordinateurs et de 3 en tant que partenaires. En 2023, 2 bourses ERC Starting Grant, 1 Advanced et 1 Proof of Concept ont été obtenues. Plusieurs leviers sont actionnés dans le cadre d'un plan d'action ERC, dont l'accompagnement des chercheurs par un comité scientifique et par un consultant d'INRAE Transfert. À l'automne 2023 un séminaire ERC dédié aux potentiels et futurs candidats a été organisé à Paris, avec des témoignages de lauréats, membres de panels d'évaluation et autres experts ainsi qu'avec des ateliers animés par INRAE Transfert.

Un accord-cadre renouvelé avec le Joint Research Centre

Soutenir des politiques publiques efficaces, telle est l'ambition commune d'INRAE et du Centre commun de recherche de la Commission européenne (Joint Research Centre). C'est pourquoi en décembre 2023, le directeur général du JRC et le PDG d'INRAE ont renouvelé leur partenariat stratégique en signant un nouvel accord pour 4 ans, le seul à ce jour entre le JRC et un ONR français visant à renforcer l'appui aux politiques publiques.

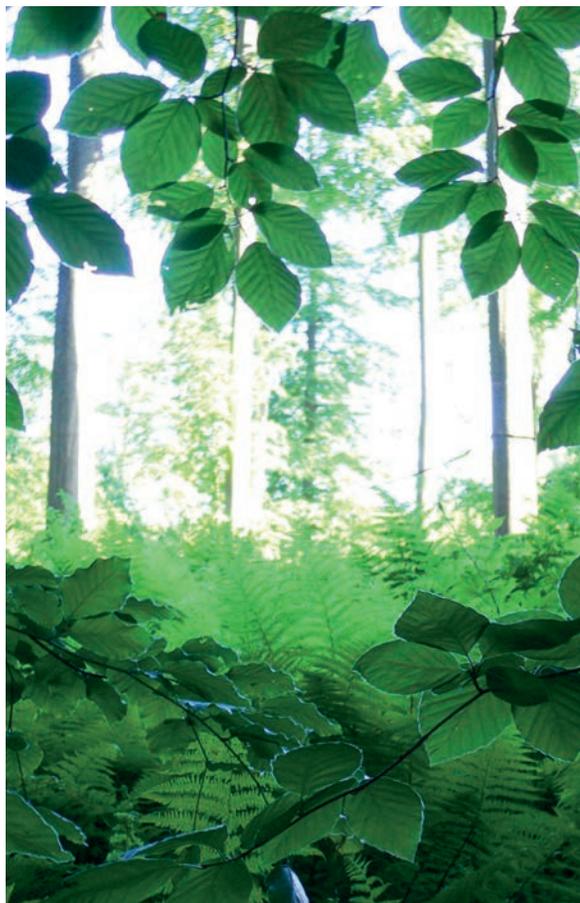
Les 2 organismes poursuivront leur collaboration dans 4 domaines :

- l'approche holistique de la durabilité, axée sur les systèmes alimentaires ;
- l'amélioration de la capacité de modélisation (dimension biophysique et socioéconomique) liée à l'agriculture durable et aux systèmes alimentaires ;
- l'amélioration des cadres de suivi au niveau européen et mondial : suivi et compréhension du processus pour les ressources naturelles (sols, eaux, forêts) ;
- les sciences pour les politiques : élaborer des méthodes conjointes pour intégrer les connaissances scientifiques au processus d'élaboration des politiques.



Mobiliser la recherche française pour soutenir une stratégie forêt à Bruxelles

Le 7 décembre 2023, INRAE a organisé à la Maison Irène et Frédéric Joliot-Curie de Bruxelles l'événement Mobilising research in support to the EU forest strategy for 2030. Réunissant plus de 50 participants d'horizons divers (scientifiques, décideurs politiques, acteurs du monde forestier), cet événement a été une occasion unique de dialogue entre la science, la politique et les parties prenantes autour de la question « Comment la recherche sur les écosystèmes tempérés et tropicaux peut-elle répondre aux objectifs des politiques environnementales européennes ? ». INRAE et ses partenaires français et européens ont ainsi pu promouvoir une approche holistique des forêts et apporter leur expertise à l'UE pour soutenir la conception de politiques publiques adaptées à un environnement changeant.



©INRAE - M. Meuret

Enseignement supérieur et politique de site

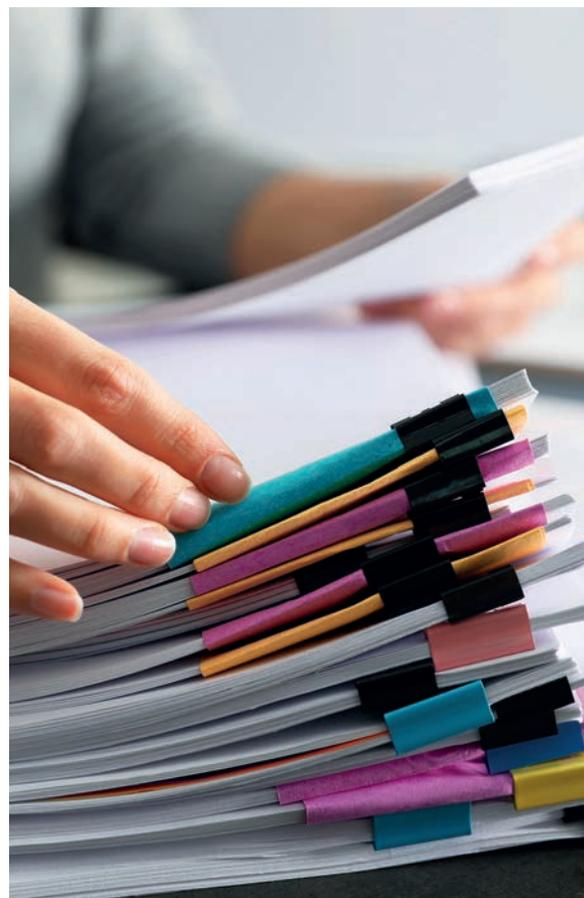


INRAE a poursuivi en 2023 le déploiement de son plan d'actions Enseignement supérieur et formation sur l'ensemble des sites où il entretient des partenariats avec des établissements d'enseignement supérieur. Cinq nouveaux accords-cadres ont été conclus. Pour fluidifier le travail des équipes de recherche et conformément aux orientations du président de la République, l'institut s'est engagé dans le chantier de la simplification du fonctionnement des unités mixtes de recherche.

La simplification du fonctionnement des UMR est en marche

La multiplicité des pratiques des tutelles est un frein à la fluidité de la gestion administrative et financière des unités mixtes de recherche (UMR). INRAE participe pleinement au chantier piloté par la ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche en faveur de la simplification de leur fonctionnement, dans le cadre des suites données à la mission Gillet. Grâce à une mission d'enquête interne réalisée auprès des directeurs et directrices d'unités d'INRAE, l'institut a également émis des propositions concrètes sur la question de la simplification de la gestion de ses unités, propres comme partagées.

INRAE a participé, aux côtés des principaux acteurs de la recherche française, à l'identification de 17 sites universitaires qui ont été retenus et validés par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche pour expérimenter des modalités d'organisation et de pilotage des actions qui simplifieront la vie des chercheurs. INRAE a engagé une trentaine d'UMR localisées sur 10 de ces sites, à Aix-Marseille, à Bordeaux, à Grenoble, en Lorraine, à Lyon, à Montpellier, à Nantes, à Nice, à Paris-Saclay et à Toulouse.



©AdobeStock



^
Observation au microscope dans l'unité
Science et technologie du lait et de l'œuf.
©INRAE - B. Nicolas

L'offre de formation doctorale se structure

Le développement de la politique doctorale représente une des 6 priorités de la politique d'implication d'INRAE dans l'enseignement supérieur et la formation. Une des actions phares du plan d'actions qui en découle est le développement d'une offre de formation complémentaire pour les doctorants accueillis dans nos unités de recherche et sa reconnaissance par les écoles doctorales des partenaires.

Le nouveau système d'information Doctorat d'INRAE, interconnecté avec les 2 principales plateformes utilisées par les écoles doctorales et les établissements d'inscription des doctorants, a été ouvert en novembre 2023. En 2024, de nouvelles actions seront menées pour améliorer la complétude des données, produire les restitutions et les premières analyses sur les doctorants et sur les sujets des thèses effectuées dans nos unités.

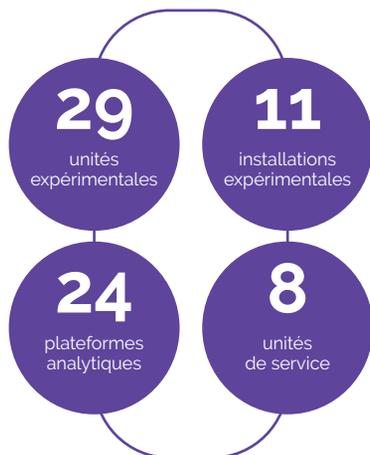
Treize chaires de professeur junior ont été pourvues en 2023, dont 5 par des scientifiques étrangers et 5 par des chercheurs français revenant de l'étranger, à quasi parité homme-femme (la moyenne nationale se situant à 26 % de femmes).

Des liens toujours plus étroits avec les universités et l'enseignement supérieur agronomique

Outre les conventions d'objectifs et de moyens (COM), INRAE entretient des relations privilégiées avec ses partenaires de l'enseignement supérieur et de la recherche via la signature d'accords-cadres. Ainsi, en 2023, des accords-cadres ont été signés avec l'ENV de Toulouse, Oniris, l'université Paris-Saclay, Bordeaux Sciences Agro, l'université de Corse Pasquale Paoli et VetAgro Sup, ainsi qu'avec le groupe ESA.

Un nouveau cycle de labellisation des infrastructures de recherche ouvertes à nos partenaires

Lancé en 2023, ce nouveau cycle, basé sur un processus actualisé et simplifié, prévoit le ré-examen de chacune de nos infrastructures de recherche tous les 6 ans avec un point budgétaire et stratégique à mi-parcours. Lors de la campagne de labellisation 2023, au cours de laquelle 24 entités ont été évaluées, 2 nouveaux dispositifs ont été labellisés et 2 ont vu leur labellisation suspendue. Au total, INRAE soutient 72 infrastructures scientifiques collectives labellisées, ouvertes à nos partenaires nationaux et européens, qui forment son dispositif national stratégique d'appui à la recherche : 29 unités expérimentales, 11 installations expérimentales, 24 plateformes analytiques et 8 unités de service, dont 5 e-infrastructures.



FOCUS

Un accord-cadre avec l'université de Corse Pasquale Paoli



INRAE et l'université de Corse s'engagent à développer une politique de recherche et d'innovation partagée et à renforcer les liens entre leurs unités de recherche. Trois opportunités se dessinent. Tout d'abord, le projet UNITI (projet ExcellencES de France 2030) portant sur les transformations au service des territoires insulaires méditerranéens et piloté par l'université de Corse. Il associe INRAE, le CNRS, le Cirad, l'Ifremer et l'Inserm. Ensuite, une filière d'ingénieurs en agronomie, rattachée à l'école d'ingénieurs Paolitech, ouvrira en 2024. Le centre INRAE de Corse a contribué à la labellisation de ce parcours unique sur l'île et participera aux enseignements. Enfin, dans le cadre de l'appel à propositions du pôle universitaire d'innovation (PUI) Méditerranée, le projet Med'Innov porté par l'université Côte d'Azur, l'université de Corse, INRAE et 9 autres acteurs majeurs

de l'innovation déploiera une stratégie d'innovation et de transfert de technologies répondant aux enjeux des territoires impliqués et aux ambitions des acteurs locaux.

Un maillage de partenariats pour le nouveau plan Ambition Guadeloupe

Le plan Ambition Guadeloupe 2023-2027 est le fruit d'échanges avec les principaux partenaires d'INRAE sur l'île (Cirad, université des Antilles, instituts techniques, Région). Il donne un cadre de priorités pour les recherches conduites par les unités du centre. Il est organisé autour de 3 axes thématiques : conception et évaluation de systèmes de polyculture-élevage agroécologiques adaptés au changement climatique ; santé intégrée de l'individu au territoire ; souveraineté alimentaire, bioéconomie et circularité. Ces axes font appel à des recherches transdisciplinaires. Un plan d'action visant à soutenir les ambitions portées par Ambition Guadeloupe a été défini. Il repose sur des partenariats solides, incluant la mise en place d'une dynamique soutenue de collaborations entre unités de recherche du site et entre unités du centre et unités métropolitaines ; une structuration renforcée des acteurs académiques, socioéconomiques et les acteurs des politiques publiques ; une coordination des dispositifs scientifiques ; une politique de gestion des ressources humaines cohérente avec les objectifs du plan, et la mise en place d'une gouvernance assurant le pilotage et l'animation.



Vue générale du Campus Agro Paris-Saclay.
©INRAE - B. Nicolas





Pour un appui aux politiques publiques à toutes les échelles



ENTRETIEN AVEC

Patrick Flammarion

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

Que reprenez-vous de 2023 ?

Je retiens deux faits qui illustrent l'importance de la connaissance scientifique et de la recherche pour éclairer les politiques publiques, aux échelles nationale et européenne, mais aussi l'accompagnement de l'action publique territoriale.

Le premier est la signature par INRAE d'un accord-cadre avec une grande métropole française, celle de Lyon. C'est une première pour INRAE. Cet accord mobilise les deux nouveaux partenaires pour 10 ans sur un large périmètre thématique, incluant l'agriculture et l'alimentation durables, la gestion qualitative et quantitative de la ressource en eau et des milieux aquatiques, la lutte contre les inondations, ainsi que la restauration des milieux, de leur biodiversité et de leurs fonctions. Il symbolise notre engagement pour l'appui aux politiques publiques au niveau territorial.

Le second est la restitution par notre direction de l'Expertise scientifique collective, de la Prospective et des Études (DEPE) de la première étude prospective réalisée dans un cadre européen : la prospective « Une agriculture européenne sans pesticides chimiques en 2050 » (voir entretien avec Olivier Mora et Claire Munier p. 35). Cette prospective européenne a fait suite à 2 expertises scientifiques collectives pilotées par INRAE en lien avec le sujet des pesticides. Elle a été présentée au Parlement européen, en avril

2023, dans le cadre d'une table ronde organisée par l'Agence européenne pour l'environnement (EEA) ainsi qu'au séminaire Crop protection futures in agriculture dans le cadre de l'Alliance zéro pesticides, à Uppsala, en mai. Les 3 scénarios de la prospective sont depuis régulièrement discutés, en France et en Europe, avec des scientifiques, des décideurs publics et des acteurs du domaine agricole. Au travers de ces expertises et prospective, INRAE se positionne dans l'éclairage des politiques publiques de demain en proposant des analyses et synthèses de connaissances et des scénarios utiles sur la base de processus collectifs rigoureux et la mobilisation des meilleures compétences scientifiques.

Quelle est votre vision de l'avenir ?

Notre cap est bien celui de l'anticipation pour éclairer au mieux les politiques publiques et le débat public. Pour ce faire, nous renforçons nos interactions avec les ministères, notamment le ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire et le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires ou le ministère de la Santé et de la Prévention, pour davantage anticiper nos contributions, avec par exemple des expertises scientifiques collectives ou prospectives sur certains sujets émergents, ou encore le développement de dispositifs pérennes d'appui aux politiques publiques qui engagent des ressources importantes tant des ministères et

“

Notre cap est bien celui de l'anticipation pour éclairer au mieux les politiques publiques et le débat public.

”

agences nationales que d'INRAE. Les interactions doivent également se développer au niveau territorial, essentiel pour l'efficacité de l'action publique, ainsi qu'au niveau international pour éclairer les évolutions des grandes réglementations.

Enfin, nous œuvrons pour construire et développer une culture de l'appui aux politiques publiques avec les autres établissements de recherche et d'enseignement supérieur. Ainsi, nous animons un groupe national de partage de bonnes pratiques, nous collaborons lors de séminaires, écoles chercheurs, retours d'expérience... Nous articulons également ces réflexions avec le niveau européen grâce au partenariat avec le Joint Research Center qui est particulièrement stimulant sur cette dimension « science au service de la politique ». ●

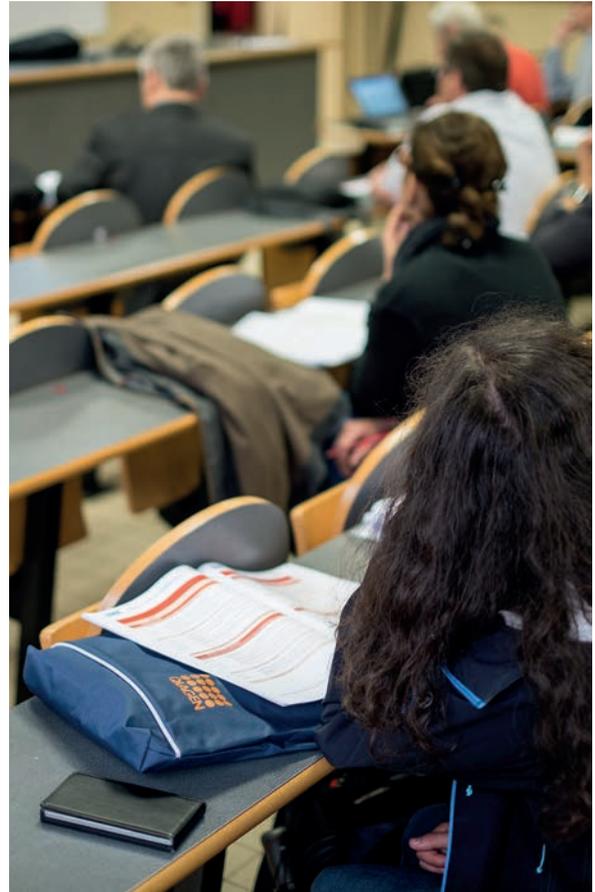
Expertise et appui aux politiques publiques



Depuis 2020, les activités d'expertise et d'appui aux politiques publiques (EAPP) d'INRAE s'exercent à toutes les étapes de la vie des politiques publiques (éclairage des décideurs publics, aide à la conception de politiques publiques et appui à leur mise en œuvre, évaluation) et à toutes les échelles : au niveau national, principalement, mais de plus en plus aux niveaux territorial et international. En retour, le partage des résultats de la recherche pour éclairer le débat et la décision publique nourrit la recherche avec l'émergence de nouvelles questions.

Nouvelle dimension de l'appui aux politiques publiques à l'échelle des territoires

L'accompagnement territorial de l'appui aux politiques publiques se développe. Il a fait l'objet de réflexions avec les présidents de centre, les directeurs scientifiques et les chefs des départements de recherche d'INRAE en 2022 et 2023. Des actions de formation des scientifiques à l'appui aux politiques publiques et de sensibilisation de publics plus larges (décideurs, élus, etc.) se déploient. Une école-chercheurs a été organisée en mars 2023, en partenariat avec le centre Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux, dans la continuité de l'action-pilote de diagnostic des activités d'appui aux politiques publiques menée en 2022 avec ce centre. L'école-chercheurs s'est structurée autour d'une première journée dédiée à l'appui aux politiques publiques au niveau national. La seconde journée était tournée vers l'appui aux politiques publiques à l'échelle territoriale avec la présence de partenaires locaux pour échanger et construire avec les scientifiques. Cette école a rassemblé une quarantaine de scientifiques INRAE et une quinzaine de personnels de directions d'appui d'INRAE, avec une large variété de disciplines et de domaines d'activité.



©INRAE - B. Nicolas

Structuration des collaborations au niveau national

L'encadrement des relations avec les partenaires stratégiques s'est poursuivi en 2023 avec la signature d'accords-cadres avec l'Anses, l'IGN et l'ONF. Les interactions avec les partenaires académiques nationaux ont également été amplifiées dans le cadre du réseau métier informel inter-organismes animé par INRAE et qui regroupe Anses, BRGM, Cerema, Cirad, CNES, Ifremer, IGN, Ineris, Inria, IRSN, MNHN et université Gustave Eiffel. En 2023, ce groupe de responsables d'expertise et appui aux politiques publiques s'est réuni 3 fois et a poursuivi ses réflexions, en particulier sur la formation.

©AdobeStock



FOCUS



©AdobeStock

À Lyon, un premier accord-cadre avec une métropole

Après 40 années de collaboration sur la thématique du traitement des eaux usées, INRAE et la métropole de Lyon ont signé une convention-cadre élargie à 3 thèmes structurants qui s'inscrivent dans la stratégie INRAE 2030 : agriculture et alimentation durables ; protection qualitative et gestion sobre de la ressource en eau et des milieux aquatiques, lutte contre les inondations ; restauration des milieux, de leur biodiversité et de leurs fonctions, développement de solutions fondées sur la nature. Le centre INRAE Lyon-Grenoble-Auvergne-Rhône-Alpes s'engage dans cette convention à s'appuyer sur son réseau de partenaires académiques et socioéconomiques au niveau local et régional, mais aussi à mobiliser INRAE à l'échelle nationale. Le suivi de cette opération entre le niveau local et le niveau national permettra d'expérimenter la question de l'articulation entre ces 2 niveaux, et de progresser pour mieux formaliser et valoriser les apports possibles d'INRAE vers les métropoles, acteurs majeurs des transitions.

Au niveau européen, INRAE consolide son expertise

En 2023, la DGDEAPP (direction générale déléguée à l'EAPP) a continué de développer des actions auprès de l'Agence européenne pour l'environnement (EEA) et auprès du Joint Research Centre (JRC) de la Commission européenne sur les questions d'interface science-politique. Depuis 2020, la DGDEAPP consolide ses relations avec le JRC en participant activement aux réflexions européennes sur les écosystèmes d'élaboration des politiques publiques dans les États membres de l'UE. Un large champ de collaborations est prévu dans l'accord-cadre INRAE-JRC renouvelé le 4 décembre 2023.

INRAE est sollicité de manière croissante à Bruxelles pour présenter la méthodologie des activités de la DEPE (direction de l'Expertise scientifique collective, de la Prospective et des Études), notamment aux directeurs de PEER (Partnership for European Environmental Research) en septembre, au Bureau des choix scientifiques et techniques du Parlement européen (STOA) et au Scientific advisory mechanism (SAM) de la Commission européenne.

INRAE est désormais co-organisateur de formations européennes annuelles destinées aux chercheurs et dédiées aux liens entre recherche et politiques publiques agricoles et environnementales, via le Ghent Group, réseau informel animé par l'université d'Aarhus et composé d'INRAE, WUR, ILVO, CREA, LUKE et de l'université de Stockholm. Six experts INRAE sont intervenus à Gand du 29 novembre au 1^{er} décembre 2023 pour témoigner des activités et bonnes pratiques en EAPP au sein de l'institut.

Des faits marquants au niveau international

L'expertise d'INRAE en matière d'appui aux politiques publiques à l'international gagne en visibilité et en reconnaissance. L'école-chercheurs « expertise projet internationale » qui s'est tenue à Paris du 6 au 8 décembre 2023 a ainsi permis aux participants d'appréhender une vision globale de l'expertise scientifique française à l'international. Des intervenants issus de différentes organisations et structures (notamment l'OMS, la Banque mondiale, la Commission européenne, Expertise France, FranceAgriMer, etc.) ont partagé leur expérience. Une mission d'expertise scientifique collective et pros-

pective a par ailleurs été organisée les 8 et 9 février 2023 auprès des 3 organismes onusiens : la FAO, le Fonds international des Nations unies pour le développement agricole et le Programme alimentaire mondial. En 2023, l'institut a également renforcé sa présence au sein de panels d'experts internationaux, notamment grâce à la procédure d'accompagnement des candidatures, portée conjointement par la DGDEAPP (via les correspondants appui aux politiques publiques des départements) et la direction des Relations internationales. Une douzaine d'experts ont ainsi été sélectionnés dans des panels internationaux et européens, dont notamment Marie-Josèphe Amiot-Carlin qui a intégré le comité directeur du Panel d'experts de haut niveau (HLPE) du Comité de la sécurité alimentaire mondiale (CFS) pour un mandat de 2 ans où elle apportera son expertise en matière de nutrition. Elle y rejoint Akiko Suwa-Eisenmann qui en assure la présidence depuis novembre 2023.

Pour gagner encore en visibilité auprès des acteurs concernés, la DEPE s'est dotée en 2023 d'un nouveau site internet destiné à présenter les méthodologies utilisées, les opérations réalisées et les formations offertes.

FOCUS



©FAO/Cristiano Minichiello

Akiko Suwa-Eisenmann, experte sécurité alimentaire et nutrition auprès des Nations unies

Économiste de renom, directrice de recherche INRAE, Akiko Suwa-Eisenmann préside depuis le 29 novembre 2023 le comité directeur du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition pour les Nations unies. Une distinction qui salue l'expertise et les compétences d'une scientifique INRAE et son engagement dans les plus hautes instances internationales.

Partenariat et innovation



INRAE contribue concrètement aux transitions agricole, alimentaire, écologique et énergétique en s'impliquant auprès des entreprises pour favoriser l'innovation. L'année 2023 a été marquée par le premier challenge InnoTech ainsi que le lancement du Grand Défi Robotique agricole.

Première édition du Challenge InnoTech

Lancé avec AgroParisTech, l'Institut Agro de Montpellier et le consortium AgriO, ce défi vise à financer des projets de partenariats entre les laboratoires et des entreprises pour lever des verrous scientifiques et technologiques. La première édition, lancée en février 2023, a attiré 41 entreprises candidates. 20 projets ont été labellisés InnoTech et ont trouvé des équipes de recherche pouvant répondre à leurs problématiques. Le 10 juillet 2023, lors de l'InnoTech Day, 20 investisseurs et 51 acteurs de l'innovation ont rencontré les entreprises sélectionnées dans cette compétition. Le jury a récompensé 3 projets qui bénéficieront d'un soutien de 35 000 € pour co-financer l'apport d'expertise et de moyens des équipes INRAE, AgroParisTech et Institut Agro Montpellier.

FOCUS

BioRenGaz, un des 3 lauréats du jury InnoTech

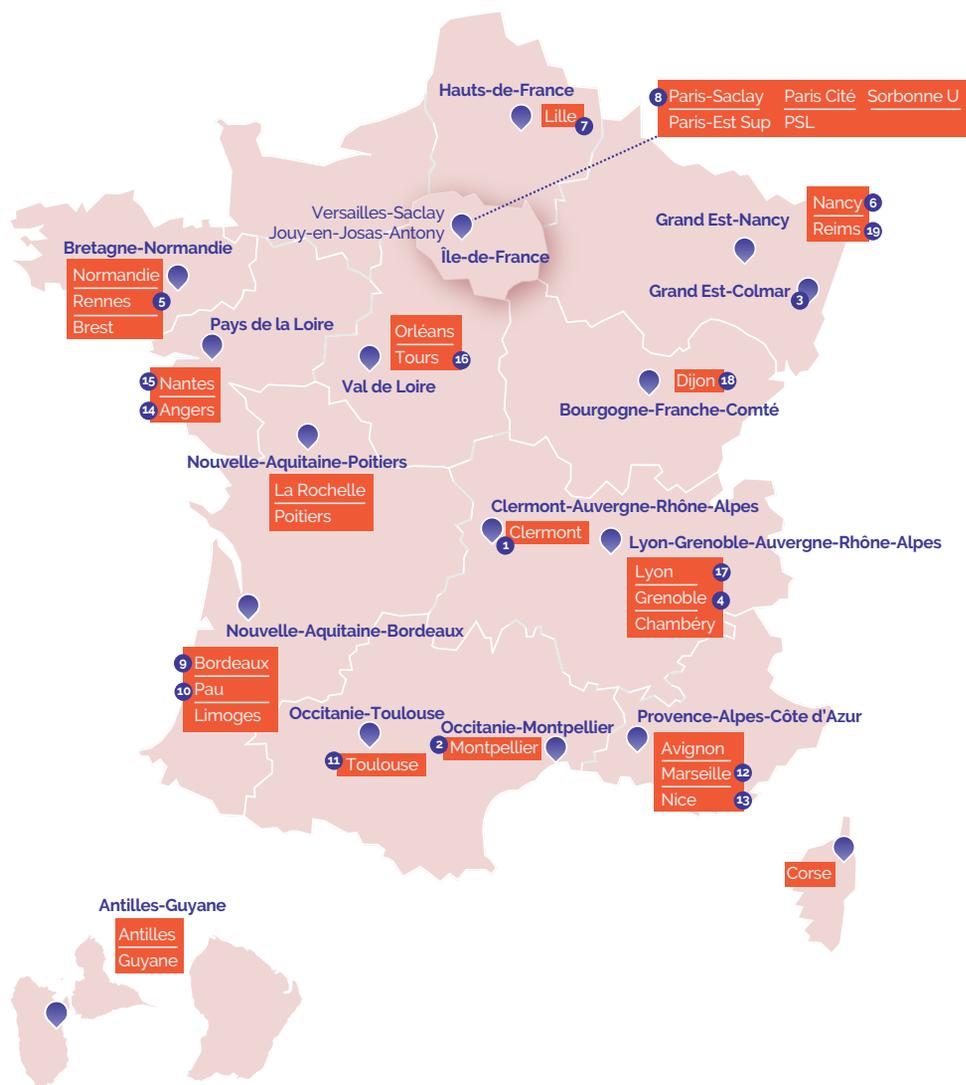
BioRenGaz est l'un des 3 lauréats du Challenge InnoTech 2023. BioRenGaz développe une technologie brevetée de méthanisation innovante, écologique et modulable permettant l'optimisation du modèle économique et environnemental de la valorisation des biodéchets. L'innovation consiste en l'incorporation d'un support de culture renouvelable qui améliore les performances de la méthanisation de façon simple et peu chère, avec un matériau respectueux de l'environnement. La technologie permet l'optimisation de nouvelles installations ou l'amélioration d'installations existantes. Le bioréacteur BioRenGaz est plus compact et 4 fois plus efficace que les digesteurs classiques. Le projet de BioRenGaz est accompagné par le Laboratoire des biotechnologies de l'environnement (LBE).



INRAE membre fondateur de 19 pôles universitaires d'innovation

L'institut s'est fortement impliqué dans l'appel à projets visant à structurer les pôles universitaires d'innovation (PUI). Actif dès la phase de préfiguration des PUI en 2022, INRAE est maintenant membre cofondateur de 19 PUI, dont 3 en phase probatoire. En cohérence avec sa stratégie INRAE 2030, l'institut renforce ainsi son rôle de facilitateur d'innovation dans les territoires, au plus près des communautés scientifiques, et au sein d'un réseau d'acteurs publics et privés avec un objectif commun : accélérer et maximiser le flux de projets

d'innovation. Les PUI viennent renforcer l'accompagnement personnalisé des scientifiques, en s'intégrant dans les écosystèmes d'innovation sur le terrain. Il s'agit de parfaire la détection et la conversion en innovations de nos travaux de recherche sur l'ensemble du tryptique agriculture-alimentation-environnement. INRAE participera pleinement à la gouvernance stratégique et opérationnelle des PUI, à travers la forte implication de ses présidents de centre et de ses équipes partenariat.



Sites pilotes

- 1 CAP-I-TERR / U. Clermont Avignon
- 2 G.I.M. / U. Montpellier
- 3 PUI-Alsace / U. Strasbourg

Sites validés

- 4 FITInnovE/ U. Grenoble Alpes
- 5 Campus InnoV / U. Rennes
- 6 POLARIS / U. Lorraine
- 7 L-VoRTEKS / U. Lille
- 8 IAUPS / U. Paris-Saclay
- 9 PUI @BORDEAUX / B. Bordeaux
- 10 Sud Aquitaine Innovation / U. Pau (UPPA)
- 11 PUI UT Innovation / U. Toulouse
- 12 PUI Provence / U. Aix-Marseille
- 13 Med'Innov / U. Côte d'Azur
- 14 PREDI-CT / COMUE Angers-Le Mans
- 15 PUI Nantes Université / U. Nantes
- 16 Loire Valley Innov' / U. Tours

Sites en période d'amorçage (2 ans)

- 17 IMPULSE / COMUE U. Lyon
- 18 SUPERJINOV / U. Bourgogne Franche Comté
- 19 InnoRem / U. Reims Champagne-Ardenne

Le Grand Défi Robotique agricole pour accélérer la transition agroécologique

Doté de 21 M€ dans le cadre du plan France 2030, le Grand Défi Robotique agricole doit permettre de consolider la filière robotique agricole pour accélérer la transition agroécologique, en apportant aux agriculteurs des solutions opérationnelles. Ses axes de travail portent sur la mise en place de nouvelles pratiques agroécologiques, la maturation de nouvelles technologies et l'appropriation de celles-ci par les agriculteurs et la société. Le pilotage du Grand Défi Robotique agricole est confié à RobAgri, association comptant plus de 80 partenaires dont INRAE est membre fondateur. À ce titre, l'institut sera impliqué tant dans le comité de pilotage que dans le comité d'orientation scientifique présidé par le directeur de l'unité TSCF du centre INRAE Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes.

Premiers projets pour le Grand Défi Ferments du Futur

Soutenu à hauteur de 48,3 M€ par France 2030, avec un cofinancement industriel au moins équivalent, le Grand Défi Ferments du Futur vise à accélérer l'innovation dans le domaine des aliments fermentés. 34 partenaires publics et privés sont déjà engagés dans le programme. Le 1^{er} appel à projets précompétitifs a été lancé en janvier 2023 ; 6 lauréats ont été désignés. Chaque projet durera 2 ans et sera doté d'un montant maximum de 250 000 €. Parmi les projets, BE-CYCLE, porté par INRAE et le CNRS, a pour objectif de produire, par fermentation, des composés cycliques d'intérêt alimentaire,

tels que composés d'arômes, vitamines et antimicrobiens. Il s'agit d'identifier les bactéries capables de produire ces composés cycliques par fermentation et de déterminer les conditions nécessaires pour cette opération (besoins nutritionnels des bactéries, matières premières à fermenter). BE-CYCLE pourra livrer aux industriels des souches caractérisées ainsi que leurs conditions de fermentation.

Test d'une machine autonome de binage.
Site de recherche et d'expérimentation de Montoldre (03).
©INRAE - C. Maître



De la recherche à la start-up, l'exemple d'Evolutiv Agronomy

Evolutiv Agronomy a été cofondée par 3 titulaires de doctorat INRAE, lauréats des concours d'innovation i-PhD et i-Lab 2023 du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Cette start-up se met au service d'une agriculture respectueuse de l'environnement et viable pour les agriculteurs. L'objectif de l'entreprise est de produire de nouvelles solutions de biocontrôle pour protéger les cultures contre les attaques de ravageurs. Evolutiv Agronomy développe 2 innovations principales : un nouvel agent de biocontrôle, un acarien prédateur capable d'attaquer les nématodes du sol qui ravagent les cultures de maraîchage ainsi qu'un outil informatique d'aide à la décision afin d'adapter les solutions à chaque exploitation.

Renforcement des synergies avec les instituts techniques et les réseaux d'agriculteurs

INRAE entretient des liens forts avec les instituts techniques agricoles et agro-industriels.

Le partenariat d'INRAE avec l'ACTA (instituts techniques agricoles) a été renouvelé le 20 décembre 2023. Les travaux communs d'INRAE et des 19 instituts techniques agricoles de l'ACTA ont pour objectif d'aboutir à des solutions concrètes pour transformer les systèmes agricoles et forestiers vers plus de durabilité.

Dans le même esprit, INRAE et l'ACTIA (instituts techniques de l'agroalimentaire) renforcent leurs synergies en mettant en œuvre un accord-cadre de coopération pour 5 ans. Les deux organismes s'engagent ainsi à traiter conjointement des questions transversales aux filières et aux disciplines : enjeux de sécurité sanitaire, de qualité nutritionnelle et gustative, de l'impact environnemental et de la performance des entreprises agroalimentaires.

INRAE collabore également avec les réseaux d'agriculteurs au travers du dispositif des fermes-pilotes d'expérimentation. Ainsi, dans le cadre du Plan national recherche et innovation (PNRI) « Betteraves » pour la sortie des néonicotinoïdes, co-piloté par INRAE et l'Institut technique de la betterave, ces fermes-pilotes d'expérimentation évaluent en conditions réelles des solutions au travers de différents leviers (plantes compagnes, bandes fleuries, biocontrôle, variétés tolérantes/résistantes) pour préparer leur déploiement par les agriculteurs. Ces expérimentations sont aussi l'occasion de tester voire déployer en conditions réelles des innovations de start-up issues

des travaux d'INRAE, telle AgriOdor. Cette start-up conçoit des parfums naturels de biocontrôle qui influencent le comportement des insectes nuisibles dans le but de protéger les cultures.

Création d'alliances de Carnot

Pour répondre aux besoins R&D non couverts dans la sphère agri-agro, les Carnot se sont engagés dans une démarche d'alliances inter-thématiques, tournées vers les petites entreprises et les start-up d'un même secteur économique. Concrètement, les alliances Carnot sont des consortiums de Carnot qui mutualisent et mettent en synergie leurs expertises et leurs ressources (plateformes technologiques, démonstrateurs...). Les 5 Carnot INRAE (Qualiment, 3BCAR, Plant2Pro, France Futur Élevage, Eau & Environnement) sont parties prenantes de 4 alliances :

- l'alliance Produits Biosourcés pour la Bioéconomie, animée par 3BCAR, regroupe 7 Carnot, dont Plant2Pro ;
- l'alliance AgriFoodTech, animée par Plant2Pro et France Futur Élevage, regroupe 10 Carnot ;
- l'alliance Santé-Alimentation, portée par le Carnot Qualiment, regroupe 6 Carnot ;
- l'alliance Maladies Infectieuses et Émergentes, regroupe 6 Carnot, dont France Futur Élevage.



FOCUS

L'alliance AgriFoodTech : l'union fait la force

Les Carnot Plant2Pro et France Futur Élevage animent l'alliance AgriFoodTech, qui regroupe 6 « Carnot métiers » dédiés aux filières de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de l'environnement et 4 « Carnot technologiques ». L'objectif de l'alliance AgriFoodTech est d'associer leurs compétences pour aider les filières agricoles et agroalimentaires à relever les défis des transitions agroécologiques en leur donnant accès aux résultats, aux innovations et aux outils permettant de réaliser ces transitions. Les premiers champs thématiques de travail sont ceux des technologies numériques (capteurs, outils de modélisation, intelligence artificielle, etc.), des agroéquipements (pour la conduite de cultures ou d'élevage, la gestion de la santé des plantes et des animaux, etc.) et de l'intégration des enjeux de l'amont à l'aval dans les chaînes alimentaires.



UMT

Les unités mixtes technologiques (UMT) mettent en œuvre des projets communs entre organismes de recherche et de développement.

Liste des UMT INRAE : www.gis-reliance-agronomique.fr/GIS-UMT-RMT/Les-UMT

En 2023, 2 UMT ont été renouvelées par le ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire pour 5 ans. Toutes deux ont été évaluées par le conseil d'orientation scientifique de l'ACTA (réseau des instituts techniques agricoles).

UMT DIGIPORC 2

L'UMT est centrée sur le digital et les applications fondées sur les données dans les domaines de la sélection et de la nutrition des porcs. Son travail vise à améliorer l'utilisation des ressources, la qualité des produits, la santé et le bien-être de l'animal tout en réduisant les impacts environnementaux de l'élevage.

Partenaires

l'Institut technique du porc (IFIP) et l'unité INRAE Pegase (Physiologie, environnement et génétique pour l'animal et les systèmes d'élevage)

UMT SC3D Systèmes caprins durables de demain

L'UMT conçoit des systèmes caprins laitiers durables via l'étude et la mise en place de pratiques et de conduites innovantes, dans un contexte de changement climatique.

Partenaires

l'Institut de l'élevage (Idele) et l'unité INRAE FERLUS (Fourrages environnement ruminants Lusignan)



Vie des collectifs



Une équipe d'agents de l'unité Info&Sols s'apprête à effectuer un prélèvement sur un site d'Ardon (45).
©INRAE - B.Nicolas



Une nouvelle dynamique de recrutement et de fidélisation



ENTRETIEN AVEC

Louis-Augustin Julien
Directeur général délégué Ressources

Quel a été le fait marquant de 2023 ?

L'année 2023 a été marquée par une hausse substantielle de notre activité scientifique, notamment grâce à la dynamique de nos contrats de recherche qui ont apporté 200 M€ de ressources à INRAE (en augmentation continue depuis 2020). En effet, la hausse des taux de succès des appels à projet de l'ANR et le plan gouvernemental France 2030, dans le cadre duquel nous copilotons 10 Programmes et équipements prioritaires de recherche et portons 3 Grands Défis, représentent des leviers majeurs pour accélérer le déploiement de notre stratégie INRAE 2030. Ils permettent notamment l'achat d'équipements et un grand nombre de recrutements supplémentaires de chercheurs sur contrats. Parallèlement, la loi de programmation de la recherche et notre contrat d'objectifs, de moyens et de performance nous permettent de poursuivre notre politique volontariste sur l'emploi financé sur dotation qui est en augmentation de 92 postes. Il s'agit d'une inflexion majeure par rapport à la tendance des 15 dernières années. Nous avons notamment pu augmenter de 20 % notre campagne de recrutement par concours en 2023.

Pour accompagner cette dynamique, renforcer notre attractivité est un enjeu majeur afin de recruter et de fidéliser les talents, tant nos ressources humaines sont notre principale richesse. C'est le sens des mesures que nous continuons à déployer pour affirmer nos valeurs d'employeur responsable et engagé au travers de notre identité employeur et de nombreuses actions de notre stratégie RSE : une politique



Renforcer notre attractivité est un enjeu majeur afin de recruter et de fidéliser les talents, tant nos ressources humaines sont notre principale richesse.



de formation active, des actions en faveur de l'égalité professionnelle, de la parité, de la diversité mais aussi de la laïcité et de l'inclusion. Cela passe aussi bien entendu par la poursuite de nos efforts en matière de politique salariale. En 2023, nous avons continué à revaloriser le régime indemnitaire des agents titulaires, chercheurs, comme ingénieurs et techniciens, mais également la rémunération des doctorants. Nous avons également augmenté de 12 % nos capacités de promotions internes. Enfin, nous avons adopté une nouvelle politique de rémunération des contractuels plus favorable qui sera déployée en 2024.

Grâce à l'action d'équipes « énergie » constituées à cet effet et de réunions de coordination avec les différents

réseaux métiers mobilisés, les résultats sont d'ores et déjà encourageants en matière de consommation globale de l'institut, preuve que les efforts paient et que la trajectoire est la bonne. Ces efforts contribuent à la trajectoire « INRAE bas-carbone », en cohérence avec les objectifs fixés par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche dans son Plan climat-biodiversité et transition écologique de diminuer les émissions de gaz à effet de serre.

L'élaboration de la trajectoire bas-carbone a démarré dès la fin d'année 2022 et se poursuivra tout au long de 2023 avec le concours de tous et toutes, car là aussi c'est un chantier qui doit être participatif.

Quelle est la priorité des équipes d'appui à la recherche pour l'avenir ?

Nous devons collectivement absorber cette hausse de l'activité contractuelle tout en améliorant à la fois le service rendu à nos collectifs de recherche et la résilience de l'institut face à la multiplication des risques. Concilier ces trois objectifs est une gageure car notre environnement réglementaire et contractuel se complexifie et les crises que nous devons affronter sont toujours plus nombreuses – la cyberattaque que nous avons endiguée en décembre 2023 l'illustre malheureusement. C'est une nécessité et la priorité de mon mandat. Je suis confiant dans notre capacité à apporter ensemble des solutions pratiques au quotidien pour continuer à garantir la pérennité de l'institut tout en simplifiant la vie des porteurs de projet scientifique. ●



Ressources humaines : attractivité et fidélisation en hausse

Les recrutements sur concours ainsi que les embauches de contractuels sont en hausse en 2023. Pour attirer et fidéliser ses agents, INRAE met en œuvre diverses actions en matière de rémunération, de développement des compétences et de mobilité internationale. L'intérêt général, le sens du collectif et la culture de la diversité sont les 3 piliers de la campagne de promotion de l'identité employeur déployée en 2023.

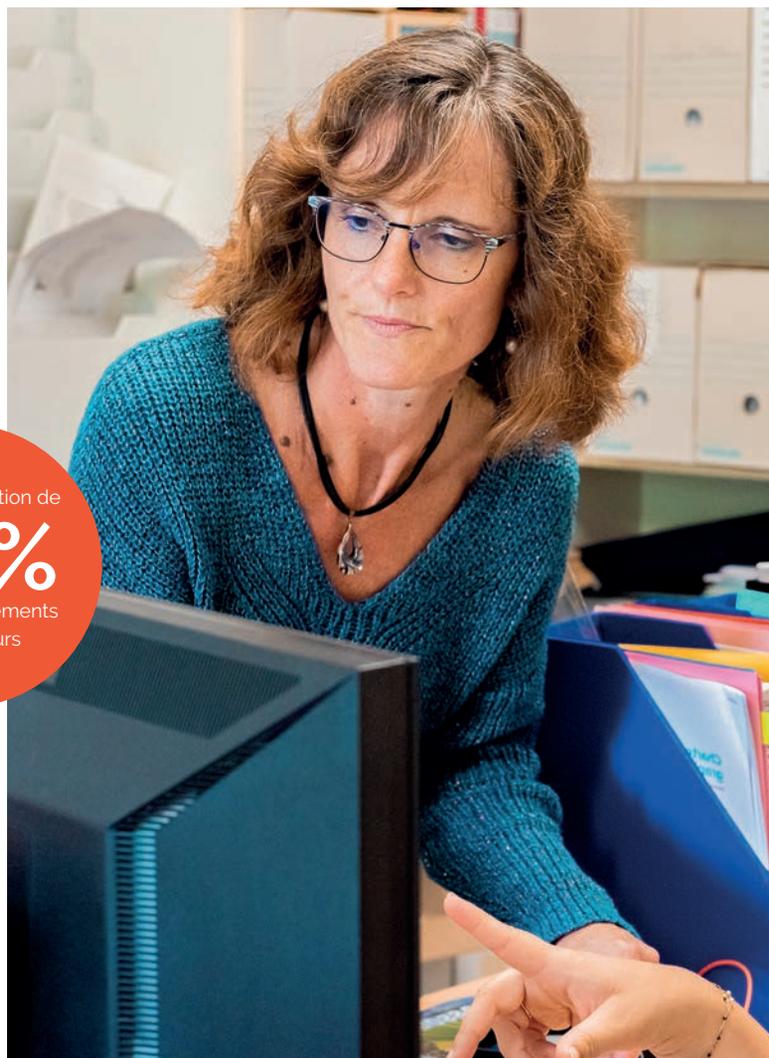
Appui à la recherche.
Versailles.
©INRAE - B. Nicolas

Un schéma d'emploi en hausse grâce à un budget qui augmente

INRAE a pu bénéficier en 2023 d'un schéma d'emploi sous plafond positif, incluant le recrutement de doctorants et de chaires de professeur junior supplémentaires mais également une augmentation de 20 % des recrutements par concours. Les efforts fournis et les mesures correctrices sur ces deux volets, titulaires et contractuels sous plafond, se traduisent par un schéma d'emploi réalisé en 2023 nettement positif (+ 92 ETP).

Les financements contractuels dont bénéficient les unités sur nos thématiques de recherche augmentent fortement grâce aux effets combinés de la loi de programmation de la recherche et du plan gouvernemental France 2030. Le volume des crédits reçus annuellement au titre des contrats de recherche est passé entre 2020 et 2023 d'environ 150 M€ à plus de 200 M€. Cette dynamique est appelée à se poursuivre grâce à l'amélioration des taux de succès sur les appels à projets de l'Agence nationale de la recherche (pour atteindre 30 % en 2027 contre environ 15 % en 2020) et aux nouveaux programmes (exemple : programme EXPLORA'E sur la recherche à risque France 2030). Au total, le budget réalisé 2023 d'INRAE est en hausse de 5 %, ce qui a permis de procéder à des recrutements supplémentaires.

Une augmentation de
20 %
de nos recrutements
par concours



De nombreuses réalisations pour attirer les talents et les fidéliser

L'institut poursuit ses actions pour améliorer son attractivité. Les salaires continuent de s'adapter aux niveaux de responsabilité avec le maintien de la revalorisation des primes socles pour les techniciens et ingénieurs ainsi qu'une revalorisation salariale pour les docteurs. La mise en œuvre de la réforme indemnitaire en faveur des chercheurs se poursuit et une nouvelle politique de recrutement et de rémunération des contractuels a été définie. Les capacités de promotion interne ont augmenté de 11,5 % par rapport à 2022.



FOCUS



Campagne Agissez dans le sens des aiguilles du monde

Pour promouvoir l'identité employeur, 3 ans après la fusion Inra-Irstea, la campagne « Agissez dans le sens des aiguilles du monde » s'est déployée en 2023 au travers de vidéos, posters, plaquettes et habillages pour les réseaux sociaux. Trois valeurs sont ainsi affirmées : l'intérêt général (nos métiers ont du sens, ils répondent à des enjeux sociétaux et humains sur tous les territoires, en France et dans le monde), le sens du collectif (nous travaillons en équipe et en autonomie avec la certitude de l'engagement de chacun et chacune) et la culture de la diversité (nous partageons une infinie curiosité scientifique et avons une ouverture naturelle sur le monde qui enrichit nos collectifs et nos connaissances).

Accompagner les carrières et développer les compétences

INRAE est fortement engagé dans l'accompagnement des parcours professionnels individuels et collectifs. La formation tout au long de la vie constitue un levier majeur pour le maintien et le développement des compétences des agents, qu'ils soient titulaires ou contractuels. Aussi, le plan de développement des compétences 2023-2025 vient répondre à la double ambition, d'une part, d'accompagner le déploiement de nos missions en lien avec l'écosystème de l'enseignement supérieur et de la recherche et l'environnement socioéconomique d'INRAE et, d'autre part, de contribuer au développement des parcours professionnels de tous les agents d'INRAE.

Une soixantaine de projets de mobilité internationale financés en 2023

Le service Mobilité internationale et interculturalité, mutualisé entre la direction des Relations internationales et la direction des Ressources humaines, a poursuivi le déploiement du dispositif incitatif à la mobilité internationale mis en place en 2022. Grâce à ce dispositif de soutien financier de plus de 260 000 €, une soixantaine de projets de mobilité internationale entrante et sortante ont été soutenus en 2023. Ces échanges contribuent au rayonnement d'INRAE, par l'attractivité et l'accueil de scientifiques étrangers de haut niveau, et par le rayonnement de la stratégie scientifique de l'établissement à l'international.



Une sobriété énergétique exemplaire

Le plan de sobriété énergétique a porté ses fruits : l'institut a réduit ses consommations énergétiques de 18 % par rapport à 2021. L'impact environnemental de nos recherches est mieux mesuré et les méthodes pour le réduire sont d'autant plus efficaces qu'elles sont participatives. Concernant l'émission de gaz à effet de serre, la direction Responsabilité sociétale et environnementale (RSE) a engagé une véritable démarche de décarbonation de toutes les activités d'INRAE.

FOCUS



Le centre Val de Loire a réduit de 40 % sa consommation de chauffage

Le centre INRAE Val de Loire, composé de 362 bâtiments, a réussi à réduire de 40 % sa consommation de chauffage entre le 1^{er} semestre 2021 et le 1^{er} semestre 2023 et de 18 % sa consommation électrique. Ce gain résulte d'importants efforts portant principalement sur le fonctionnement : respect des consignes de chauffage à 19 °C, fermeture périodique de sections de bâtiments ou de locaux, optimisation des installations de chauffage, d'eau chaude sanitaire et de ventilation, isolation de puits de lumière, de bouches d'aération, extinction de l'éclairage extérieur, déploiement d'un éclairage en led, arrêt et mise à la réforme des congélateurs les plus énergivores grâce à un tri systématique des échantillons biologiques.

Une baisse de la consommation d'énergie remarquable dans tous les centres

Alors que les prix de l'énergie sont en hausse d'environ 150 % par rapport au niveau de 2021, la politique de sobriété énergétique d'INRAE a atteint le premier objectif fixé par le gouvernement avec 1 an d'avance grâce au plan de sobriété énergétique élaboré à l'automne 2022. L'un de ses leviers consiste à améliorer la performance du parc immobilier et des équipements. Ainsi 162 projets de rénovation énergétique ont été engagés sur la période 2021-2023 pour un investissement total (Europe, État et institut) de près de 24,5 M€.

Par ailleurs, fin 2022, INRAE a finalisé une cartographie énergétique de son parc immobilier (2 200 bâtiments), permettant d'identifier les bâtiments les plus énergivores. Parallèlement, un outil de suivi des fluides supervise les consommations d'électricité et de gaz distribuées sur plus de 220 points de livraison. Il est désormais possible d'évaluer l'impact de nos opérations d'optimisation de l'énergie ou d'identifier d'éventuelles dérives de consommation. Les effets du plan de sobriété ont été particulièrement probants avec une réduction significative de nos consommations énergétiques en 2023 par rapport à 2021 de près de 18 %, dont -12 % sur l'électricité et -27 % sur le gaz et les réseaux de chaleur.

La démarche RSE de l'institut fait référence

En externe, INRAE a témoigné de sa démarche de responsabilité sociale et environnementale à différentes occasions. La présentation de la démarche RSE au colloque European Geosciences Union 2023 (Vienne, Autriche), l'animation par le PDG d'INRAE d'un atelier thématique dans le cadre de la formation à la transition écologique des directeurs d'administrations centrales de l'État ainsi que la présentation de la démarche RSE d'INRAE aux directeurs et directrices d'administration centrale du ministère de la Justice en sont des exemples marquants.



**RESPONSABILITÉ
SOCIALE ET
ENVIRONNEMENTALE**

Réduction de l'impact environnemental de nos recherches

L'accompagnement des unités et laboratoires dans la transition des pratiques d'expérimentation et de recherche a débuté il y a environ 10 ans. En 2023, la revue de direction de la démarche SME (système de management environnemental) fait état de 30 entités certifiées et de 20 autres unités engagées et accompagnées.

L'institut mobilise l'expertise scientifique des unités et laboratoires dans des projets en lien avec la stratégie RSE. En 2023, la direction RSE a lancé une réflexion sur les ressources en eau nécessaires aux activités d'INRAE. La première étape de ce plan Eau pour INRAE est d'élaborer un diagnostic complet des besoins en eau et une analyse de la vulnérabilité au manque d'eau des activités déployées au sein de l'institut. Un groupe de travail dédié aux activités agricoles des entités expérimentales a également été lancé en 2023. Les objectifs de ses travaux sont de quantifier les émissions de GES des activités agricoles au sein d'INRAE et d'évaluer leur potentiel de captation/stockage du carbone.

Par ailleurs, les équipes scientifiques, d'appui et des services techniques se saisissent de l'appel à projets interne pépinière de projets RSE pour proposer des initiatives innovantes et à fort impact. Le projet RedPlast, porté par les unités EABX et IATE des centres

Occitanie-Montpellier et Nouvelle Aquitaine-Bordeaux, a ainsi pour objectif de réduire l'empreinte plastique de la recherche en développant des pratiques écoresponsables après une phase de diagnostic, d'identification des alternatives et des freins. En 2023, 43 projets ont été déposés en réponse à la 3^e vague de l'appel à projet de la pépinière de projets RSE.

Une politique carbone extrêmement efficace

Le bilan des émissions de gaz à effet de serre (BEGES) de l'institut publié en 2023 est très encourageant puisque, à périmètre constant d'activité, les émissions ont été réduites de 9,5 % entre 2019 et 2022, alors même que les effectifs d'INRAE ont augmenté.

L'outil StopGES a été enrichi et permet à chaque unité INRAE de repérer ses activités émettrices de GES, de lister des pistes d'action adaptées en regard – l'impact des émissions pouvant être évalué à l'aide d'une calculatrice de simulation simplifiée – et enfin d'identifier des actions de réduction à mettre en œuvre, selon son propre calendrier. En 2023, 22 unités INRAE ont mobilisé StopGES avec l'appui des responsables RSE.



FOCUS

INRAE bas-carbone : consolidation d'une culture commune

Le BEGES constitue un point de départ pour construire une trajectoire de décarbonation de l'institut. INRAE a travaillé avec l'Ademe à une méthode de construction de trajectoire de décarbonation pour les établissements de l'ESR dont nous sommes copropriétaires. Au-delà de la méthode ACT pas à pas, INRAE a mis en place une démarche participative qui s'est concrétisée par un atelier national le 26 juin et des journées bas-carbone dans tous les centres.



La qualité de vie et les conditions de travail, une priorité

Le bien-être au travail figure parmi les atouts qu'INRAE cultive, en démontre l'importance accordée au « baromètre social en matière de prévention des risques psychosociaux et d'amélioration de la qualité de vie et des conditions de travail ». Quant à l'égalité professionnelle entre les femmes et les hommes, l'institut continue à affirmer sa volonté d'amélioration par un 2^e plan d'action.



Prévention des risques et bien-être au travail

Pour la 3^e fois en 2023, tous les agents ont été sollicités pour faire remonter les points forts et les points à améliorer via un « baromètre social en matière de prévention des risques psychosociaux et d'amélioration de la qualité de vie et des conditions de travail ». À l'issue de la période d'enquête, des restitutions seront réalisées dans chaque centre et au sein des instances représentatives des personnels. Elles permettront d'actualiser et amender, le cas échéant, le plan d'action Qualité de vie et conditions de travail (QVCT) 2022-2025 pour poursuivre une démarche de progrès.

En tant qu'employeur engagé, INRAE s'est doté d'un conseil médical, instance qui éclaire l'établissement et est consultée avant de prendre des décisions concernant la situation administrative des agents en cas de maladie ou d'accident de service. L'objectif est de gagner en efficacité dans le traitement des dossiers au bénéfice des agents et d'être au fait des questions de santé au travail en lien avec les activités spécifiques de l'institut.

Engagé dans une démarche de prévention et de sécurité des biens et des personnes, INRAE a également construit et lancé le programme de prévention des risques professionnels et d'amélioration des conditions de travail 2023-2025.

Bien vivre ensemble et dialogue social

Depuis 4 ans, INRAE s'est engagé dans une démarche volontariste en faveur de l'égalité professionnelle et de la lutte contre les discriminations. Cet engagement a été reconnu par l'obtention des 2 labels AFNOR « Diversité » et « Égalité professionnelle ». L'institut a poursuivi sa dynamique d'amélioration continue avec la publication, en mai 2023, de son 2^e plan d'action Égalité professionnelle entre les femmes et les hommes. Les axes prioritaires de ce plan sont la prévention des inégalités de rémunération et d'accès aux postes, l'articulation entre vie familiale et vie professionnelle, la lutte contre les discriminations, les harcèlements moral et sexuel.

La référente laïcité de l'institut conseille, sensibilise et veille à l'appropriation du principe de laïcité. Ce principe est régulièrement rappelé, notamment à l'occasion de la Journée nationale dédiée à la laïcité.

En 2023, un quiz de sensibilisation a été proposé à tous les agents. L'année 2023 a été particulièrement marquée par l'évolution des modalités du dialogue social. De nouvelles instances (CSA et F3SCT) ont été instituées au niveau national et dans les centres. L'installation de ces nouvelles instances est le fruit d'un dialogue conduit par la Direction générale et toutes les présidences de centre avec les représentants du personnel, harmonisé à l'échelle de l'établissement. INRAE a mis en place les outils nécessaires à l'appropriation des règles de fonctionnement de ces nouvelles instances pour accompagner les acteurs et garantir la qualité du dialogue social (guide, FAQ, formations...).

Une cyberattaque rapidement contenue

En décembre 2023, INRAE a été confronté à une cyberattaque de grande ampleur. Grâce à l'intense mobilisation des services informatiques, avec l'aide d'experts en cybersécurité, la propagation de cette attaque a pu être stoppée. L'institut a échappé au pire mais a dû fonctionner en mode dégradé pendant plusieurs jours, tout particulièrement à Dijon. Par mesure de précaution, l'accès aux serveurs de l'institut a été suspendu durant les fêtes de fin d'année pour prévenir le risque de déploiement d'un rançongiciel. Grâce à la mobilisation de tous et toutes, le plus probable est qu'aucune donnée INRAE n'a été exfiltrée ou endommagée. Cette cyberattaque a conforté les services SSI dans la nécessité de poursuivre le déploiement des formations à la cybersécurité de tous les agents. Ces formations en e-learning avaient débuté en novembre et portaient sur le risque d'hameçonnage des mots de passe et la navigation sur le web. Trois autres modules seront déployés en 2024.





Éthique de la recherche et intégrité scientifique

Les valeurs de déontologie, intégrité scientifique et éthique sont chères à l'institut. Les enjeux sociétaux et environnementaux dans les recherches INRAE sont désormais pleinement intégrés aux travaux conduits en matière d'éthique des projets scientifiques.

98

Le dispositif opérationnel d'éthique des projets de la recherche se déploie

Concernant l'éthique des projets de la recherche, le dispositif opérationnel bâti par INRAE fin 2022 s'est déployé en 2023. Il s'appuie sur les 2 volets suivants.

- **Un guide d'auto-évaluation** offre une analyse réflexive sur les enjeux éthiques dès la conception des projets scientifiques. Ce guide disponible en ligne permet au porteur du projet de mener une analyse critique de ses objectifs, des motivations des différents partenaires, des méthodes employées, des risques encourus et des conséquences à plus ou moins long terme du projet. Il est ainsi possible d'identifier un besoin d'accompagnement et/ou d'anticiper la soumission du projet au comité d'éthique des projets.

À télécharger sur <https://url.inrae.fr/3UaHEi6>

- **Le comité d'éthique des projets** d'INRAE se réunit 1 fois par mois. Ce comité est composé de 11 membres nommés par le PDG. Il a pour mission d'examiner sous l'angle éthique les projets qui lui sont soumis et de formuler des avis consultatifs. Il peut être saisi pour réfléchir à l'ensemble des questions éthiques des champs de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement.

En savoir plus : <https://ethique-projets.hub.inrae.fr/>

Parution d'un mémo Quæ sur l'intégrité scientifique



Françoise Simon-Plas, déléguée à la déontologie, à l'intégrité scientifique et à l'éthique des projets de recherche, ainsi que Christian Duquennois et Antoine Kremer, ont participé à la rédaction du livre *Une recherche responsable* avec leurs homologues du Cirad et de l'Ifremer. Publié en septembre 2023 aux éditions Quæ, ses 64 pages font le tour des principes essentiels de l'intégrité scientifique et des enjeux de leur respect. Il propose des pistes pour construire un écosystème qui lui soit favorable.

Éthique en commun publie son 15^e avis

Quels droits et devoirs pour les scientifiques et leurs institutions face à l'urgence environnementale ? C'est à cette question que le comité Éthique en commun INRAE-Cirad-Ifremer-IRD a répondu dans son avis n° 15 validé le 25 septembre 2023. Dans le vaste espace ouvert par cette question, le comité a structuré son propos selon 3 axes : la réduction de l'empreinte écologique de la recherche, le choix des thématiques de recherche et l'engagement public des chercheurs.



INRAE • CIRAD • IFREMER • IRD

Les Lauriers INRAE

Le 28 novembre 2023, 7 Lauriers ont été remis lors d'une cérémonie en présence de Marc Fesneau, ministre de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, et de Sylvie Retailleau, ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Le jury international a récompensé 6 parcours remarquables et 1 collectif pour l'excellence de leurs travaux et leur impact pour la société.



**Philippe
Langella**

Grand Prix

En collaborant avec des cliniciens et des entreprises, Philippe Langella explore l'utilisation des bactéries lactiques à des fins de santé humaine, ouvrant ainsi la voie à des applications innovantes. Il a démontré comment la recherche microbiologique peut avoir un impact tangible sur la santé humaine (maladie de Crohn, cancer...). Son approche collaborative illustre la façon dont la science peut être concrètement mise en œuvre.

*Directeur de recherche, UMR Micalis,
centre Île-de-France-Jouy-en-Josas-Antony*



Collectif Agroclim

Prix collectif Impact de la recherche

Créée il y a 54 ans, cette équipe consacre ses travaux à l'analyse des variables climatiques, observe l'impact du changement climatique sur les cultures, et aide à décrypter les tendances futures. L'expertise d'Agroclim est largement reconnue par les scientifiques, les professionnels et les collectivités territoriales. Son engagement au service de la diffusion des connaissances scientifiques l'amène à intervenir régulièrement auprès des élèves et des médias pour sensibiliser à l'urgence climatique.

Unité de service de 15 personnes, département AgroEcoSystem, centre Provence-Alpes-Côte d'Azur



Olivier Therond

Prix Innovation pour la recherche

Agronome passionné par la modélisation, il orchestre le développement de la plateforme MAELIA qui simule les dynamiques de production agricole et de transformation des biomasses, offrant un outil d'aide à la décision essentiel pour les acteurs locaux et régionaux.

Coordinateur du développement de la plateforme MAELIA, UMR LAE, centre Grand Est-Colmar



Martin Beaumont

Prix Espoir scientifique

Animé par la passion de comprendre les mystères du fonctionnement du microbiote, il explore les aspects physiologiques du système digestif des animaux d'élevage. La finalité est de renforcer leur barrière intestinale afin de réduire l'utilisation d'antibiotiques.

Chargé de recherche, UMR GenPhySE, centre Occitanie-Toulouse



Sylvain Raffaele

Prix Défi scientifique

Ses travaux novateurs explorent les interactions complexes entre les plantes et les micro-organismes pathogènes. Ses recherches se concentrent sur le décodage des mécanismes de l'immunité des plantes.

Directeur de recherche, UMR LIPME, centre Occitanie-Toulouse



Évelyne Barbin

Prix Appui à la recherche ex æquo

Elle est le point central de la gestion du département. Son engagement, sa rigueur et son professionnalisme assurent à chacun de pouvoir accomplir ses missions avec sérénité.

Assistante du département BAP, centre Île-de-France-Versailles-Saclay



Dominique Fournier

Prix Appui à la recherche ex æquo

Experte en bibliométrie, vulgarisatrice de l'utilisation des bases de données bibliographiques, elle se consacre à la valorisation des publications scientifiques INRAE dans une démarche de science ouverte.

Documentaliste, DipSO/SDAR/DRI, centre Occitanie-Montpellier



Nos scientifiques distingués

Prix de l'Académie d'agriculture de France

Quinze médailles de l'Académie d'agriculture de France remises aux chercheuses et chercheurs INRAE

Deux chercheuses d'INRAE ont été récompensées par une médaille d'or pour l'ensemble de leur carrière.

Isabelle Lamy, directrice de recherche à l'UMR ECOSYS s'est fortement impliquée dans le développement des recherches en écotoxicologie terrestre aux niveaux national et international.

Françoise Lescourret, directrice de recherche au département AgroEcoSystem, a su entraîner des collectifs de recherche et des acteurs agricoles pour la transition agroécologique des systèmes arboricoles.

Des médailles de vermeil ont mis en valeur les travaux de 7 scientifiques INRAE.

Patrick Bertuzzi, ancien directeur de l'unité de service Agroclim, a développé la métrologie des propriétés du sol pour l'étude des impacts des pratiques agricoles et s'est impliqué dans la gestion des ressources du département Environnement et agronomie.

Mireille Chabaud, ingénieure de recherche au LIPME, a mis au point de nouvelles technologies dont la qualité a contribué à l'avancement des connaissances sur les symbioses et parasitismes des plantes.

Pierre Cornu, directeur d'unité de la structure Territoires et membre du comité sur l'histoire d'INRAE, est distingué en tant que commissaire de l'exposition « La guerre des moutons », exemple de coopération des archives et de l'université pour retracer l'histoire de la Bergerie nationale de Rambouillet.

Nathalie Ollat, directrice d'unité de la structure EGFV et spécialiste de la physiologie de la vigne, s'est particulièrement impliquée dans l'analyse des impacts du changement climatique en viticulture.

Valérie Péan, directrice d'unité de la mission Agrobiosciences, a mis à disposition une abondante source d'informations et organisé de nombreux débats de société.

Daniel Plénet, chercheur à l'unité PSH, a mené des recherches en partenariat avec la R&D Agricole pour concevoir des systèmes techniques multiperformants, notamment utiles à la filière horticole.

Dominique Ripoche-Walter, ingénieure de l'unité Agroclim, a promu au niveau international le logiciel de modélisation des cultures STICS.

Six médailles d'argent Dufrenoy ont été décernées aux meilleurs travaux de thèse soutenus l'année précédente.

Clément Larue, pour sa thèse sur le châtaignier (UMR Biogeco).

Agathe Ballu, pour sa thèse sur les résistances aux fongicides (UMR BIOGER).

Pauline Campan, pour sa thèse sur le risque de contamination des eaux par des produits phytosanitaires dans les sols volcaniques antillais (UMR LISAH).

Hélène Cecilia, pour sa thèse sur la modélisation de la transmission du virus de la fièvre de la vallée du Rift (UMR BioEpAR).

Kossigan Dedey, pour sa thèse sur l'optimisation de la cuisson de produits panifiés (UR OPAALE).

Eva Lopez Fornieles, pour sa thèse sur le suivi de la vigne par images satellitaires (UR ITAP).



Isabelle Lamy



Patrick Bertuzzi



Mireille Chabaud



Pierre Cornu



Nathalie Ollat



Valérie Péan



Daniel Plénet



Françoise Lescourret



Dominique Ripoche-Walter



Clément Larue



Agathe Ballu



Kossigan Dede



Pauline Campan



Hélène Cecilia



Eva Lopez Fornieles



Une communication plus large

L'institut continue de déployer ses activités de communication auprès des partenaires institutionnels et des acteurs des filières ainsi que du grand public. Si l'événement majeur reste le Salon international de l'agriculture, la communication d'INRAE s'est particulièrement densifiée sur les réseaux sociaux en 2023.

INRAE co-organise la Fête internationale de la science

Le Cirad, INRAE, l'IRD et la représentation permanente de la France auprès des Nations unies à Rome ont organisé la 3^e édition de la « Fête internationale de la science : agriculture, alimentation environnement » le 22 novembre 2023. Le webinaire portait sur les sciences et l'agenda 2030 : enjeux scientifiques des objectifs de développement durable, importance des initiatives internationales de recherches et les prospectives post-2030. Le PDG, la directrice des Relations internationales et le directeur des Expertises scientifiques collectives, prospectives et études ont notamment présenté les initiatives 4 pour 1 000, PREZODE et la coalition Agroécologie ainsi que l'étude prospective « Une agriculture européenne sans pesticides chimiques à l'horizon 2050 ». INRAE organisera l'édition 2024 de la Fête internationale de la science.



La revue *Ressources* distinguée par le Prix TOP/COM 2023 d'argent

La revue *Ressources* a reçu, le 12 avril 2023, le TOP/COM d'argent de la catégorie journal externe aux Grand prix Corporate business 2023. Le grand prix TOP/COM réunit la profession autour de tous les métiers de la communication et de la publicité avec 30 catégories de prix. Revue de vulgarisation, *Ressources* a été créée en 2021 et paraît 2 fois par an. Chaque numéro comprend 3 dossiers développés à partir de nos recherches, avec des chiffres clés, des infographies, une synthèse de nos travaux pour renforcer les connaissances, montrer les pistes de solutions en réponse aux questions de notre société. La revue *Ressources* est vendue par les éditions Quæ et les libraires. Ses dossiers sont accessibles en ligne sur inrae.fr/ressources.

Notre communication prend de l'ampleur sur les réseaux sociaux

En 2023, la communication sur les réseaux sociaux s'est fortement déployée. Sur chaque réseau, le nombre d'abonnés, les interactions et le taux d'engagement ont significativement augmenté. Les messages d'INRAE touchent ainsi de nouvelles cibles.

Sur **LinkedIn**, en 2023, l'institut a doublé son nombre d'abonnés (désormais plus de 138 000) à la faveur d'une reprise des ex-abonnés Inra. Le taux d'engagement moyen est 5 fois plus élevé (près de 12 %) que celui globalement constaté au sein du secteur public.

Sur **Instagram**, le compte INRAE a progressé de plus de 12 % et rassemble désormais plus de 12 000 abonnés. Quelque 700 publications ont été postées, dont 500 stories. Quant aux 29 000 abonnés **Facebook (+5 %)**, ils ont pu lire 240 contenus (+ 98 % d'interactions).

Sur **X (ex-Twitter)**, dans un contexte tendu par le changement de modèle de la plateforme, INRAE a gagné 7 % d'abonnés pour atteindre la barre symbolique de 50 000 abonnés.



138 000
abonnés



12 000
abonnés



29 000
abonnés



50 000
abonnés

Une audience médiatique en forte hausse

La proposition de nombreux contenus et de moments de rencontre réguliers à destination des médias (communiqués, dossiers de presse et « Décryptages », Foires aux questions, points presse et visites terrain) a porté ses fruits : INRAE a été cité plus de 23 000 fois en 2023, tous supports confondus, soit une hausse de 8 % en volume par rapport à 2022. Concernant l'impact, les audiences ont augmenté de 33 % sur les médias en ligne et sites internet grand public, de 27 % sur la télévision nationale et de 14 % en presse magazine. Cela équivaut à ce que la totalité de la population française âgée de plus de 15 ans ait été en contact en moyenne 10 fois dans l'année avec une information émanant d'INRAE. Parmi les sujets qui ont bénéficié d'une importante couverture médiatique, citons les pesticides et leurs alternatives, les problématiques autour de la gestion de l'eau ou encore l'alimentation des enfants.

Le site inrae.fr mieux référencé

Le référencement du site inrae.fr a été optimisé. Pour les thématiques One Health, agroécologie, microbiote intestinal, alimentation et santé, bioéconomie, science ouverte et artificialisation des sols, le site web INRAE figure désormais dans les 10 premiers résultats des recherches de Google.

Le goût de la science INRAE au Salon de l'agriculture

Le stand INRAE du Salon de l'agriculture était construit autour de la thématique « une alimentation saine et durable pour tous ». Pendant 9 jours, du 25 février au 3 mars 2023, pas moins de 257 agents de 19 unités étaient présents pour partager leurs connaissances et leur enthousiasme au grand public. De nombreuses découvertes attendaient les quelque 600 000 visiteurs. L'espace cuisine et les journées thématiques portaient sur les fromages, l'alimentation favorable au microbiote et au cerveau, les légumineuses, les aliments fermentés, les pommes et les agrumes. Un colloque a présenté les enjeux de la souveraineté alimentaire durable et équitable. Neuf accords avec différents partenaires de l'institut ont été signés. De nombreuses rencontres professionnelles se sont succédé tout au long de la semaine : agriculture et énergie, agroécologie et numérique, agriculture biologique, innovation alimentaire, éducation à l'alimentation, comportements alimentaires, adaptation au changement climatique, bien-être animal...

106

Les ADN 2023 pour accueillir et fédérer les nouveaux autour des valeurs communes d'INRAE

L'institut a organisé l'accueil des nouveaux arrivants (ADN) en novembre 2023 en associant un programme national et local. Près de 1 000 agents étaient invités dans ce cadre à participer à des tables rondes avec la direction générale, un escape game et une conférence. Des animations étaient également organisées dans plusieurs centres INRAE, avec visites de laboratoires, présentation du centre et des services déconcentrés d'appui à la recherche, des questions RH, des organisations syndicales et de l'Association pour le développement des activités sociales (ADAS).



Salon de l'agriculture 2023, parc des expositions de la porte de Versailles.
©INRAE - B. Nicolas / C. Maître





AG

organisation et chiffres-clés



Instances

Conseil d'administration

Composition au 31 décembre 2023

Président

Philippe MAUGUIN, président-directeur général d'INRAE

Représentants de l'État

- Benoit BONAÏMÉ, directeur général de l'enseignement et de la recherche, ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire (MASA)
- Cyril KAO, chef du service de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, direction générale de l'enseignement et de la recherche, MASA (suppléant)
- Cyril MOULIN, adjoint au chef du service de la stratégie de la recherche et de l'innovation (DGRI/SSRI), ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR)
- Anne PUECH, cheffe du secteur environnement, agronomie, écologie, sciences du système Terre et de l'univers (DGRI SSRI A1), MESR (suppléante)
- Amélie COANTIC, adjointe au commissaire général au développement durable, commissariat général au développement durable, ministères Écologie Énergie Territoires
- Thierry COURTINE, chef du service de la recherche et de l'innovation, ministère de la Transition énergétique (MTE/CGDD/SRI) (suppléant)
- Agathe ROLLAND, cheffe du bureau de la recherche et de l'enseignement supérieur (3MIREs), direction du budget, ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique

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

- Élisabeth 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, groupe Avril
- Anne-Claire VIAL, présidente de l'Acta-les instituts techniques agricoles
- Antoine HUBERT, directeur de l'innovation et porte-parole de la société YNSECT

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

- Dominique CHARGÉ, président de la Coopération agricole
- Annabel FOURRY, 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

Anne DE LA FOYE, CFDT
Élisabeth TABONE, CFDT
Pascale MAILLARD, CGT
Éric LATRILLE, CGT
Baptiste HAUTDIDIER,
SUD Recherche

Suppléants

Patrick LEMAIRE, CFDT
Jean-Marc BONNEFOND, CFDT
Michel BERTRAND, CGT
Laurence ARTIGE, CGT
Fabrice GUIZIOU,
SUD Recherche

Conseil scientifique

Composition au 31 décembre 2023

Présidence

- Philippe GILLET, professeur à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (président)
- Sylvie BAUDINO-CAISSARD, directrice du laboratoire Biotechnologie végétale à l'université de Saint-Étienne (vice-présidente)

Membres INRAE

- Philippe MAUGUIN, président-directeur général
- Carole CARANTA, directrice générale déléguée science et innovation

Membres de droit

- Ministère chargé de l'Agriculture : Lauric CÉCILLON (titulaire), chef du bureau de la recherche et de l'innovation (BRI), sous-direction de la recherche, de l'innovation et des coopérations internationales, service de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, direction générale de l'enseignement et de la recherche (DGER) / Sofia MLALA (suppléante), chargée de mission au BRI
- Ministère chargé de l'Environnement : Marc MORONI (titulaire), sous-directeur de la recherche, service de la recherche et de l'innovation (SRI) du commissariat général au développement durable (CGDD) / Céline COUDERC-OBERT (suppléante)
- Ministère chargé de la Recherche, de l'Enseignement supérieur et de l'Innovation : Anne PUECH (titulaire), cheffe du secteur environnement, agronomie, écologie, sciences du système Terre et de l'univers, service de la stratégie de la recherche et de l'innovation (SSRI) de la direction générale de la recherche et de l'innovation (DGRI)

Membres nommés

En qualité de personnalités désignées en raison de leurs compétences scientifiques

- Patrick CARON, vice-président délégué aux relations internationales de l'université de Montpellier
- Jérôme CHAVE, directeur adjoint de l'UMR Évolution et diversité biologique, CNRS/UPS de Toulouse
- Thierry LEFRANÇOIS, directeur du département Systèmes biologiques-BIOS du Cirad

Au titre de leur appartenance au monde économique, à des instituts, associations ou centres techniques et de développement, ainsi que des industries des secteurs liés à l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

- Antoine BAULE, président d'Odyssee consult
- 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
- Xavier LITRICO, directeur général de Gaïa centre R&D de LVMH dédié aux enjeux de luxe durable

Au titre des personnalités scientifiques étrangères, dont certaines exercent leur activité dans un pays de l'Union européenne autre que la France

- Teresa FERREIRA, professeur au département des ressources naturelles de l'université de Lisbonne, Portugal
- Élisabeth GRAF-PANNATIER, directrice régionale de Reusstal, fondation de protection de la nature, Suisse
- 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 : Écologie et biodiversité, Écosystèmes 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 : Économie et sciences sociales, action, transitions et territoires

Marie THIOUET-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 : Corentin BARBU

CFTC : Bruno PONTOIRE

CGT : Jean-Louis DURAND

SUD : Cyril DUTECH

Les Commissions scientifiques spécialisées (CSS) et leurs présidents

CSS N°1 - Agronomie, Élevage, Forêt

Éric 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

Étienne BIRMELE

CSS N°7 - Microbiologie, Écosystèmes 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

Étienne 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 Éthique en commun INRAE - Cirad - Ifremer - IRD

Composition du Comité d'éthique

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

Bernadette BENSUADE-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'École des mines de Paris (Centre de sociologie de l'innovation) et docteure en socioéconomie de l'innovation.

Bernard BRET, spécialiste de l'Amérique latine et plus particulièrement du Brésil. Ancien professeur à l'université Lyon III.

Catherine BOYEN, directrice de recherche au CNRS, directrice de la Station biologique de Roscoff-Centre de recherche et d'enseignement en biologie et écologie marines, Sorbonne université-CNRS, docteure en biologie végétale.

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 Sciences-Po Paris, ingénieur agronome, docteur en sciences de l'évolution et écologie.

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.

Paula MARTINHO DA SILVA, avocate spécialisée en propriété intellectuelle et sciences de la vie. Membre du Comité international de bioéthique (UNESCO), membre du Comité d'éthique de la Fondation Champalimaud et du centre hospitalier universitaire de Lisbonne Centre.

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.

Pere PUIGDOMENECH, professeur de recherche émérite 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.

Ricardo SERRÃO SANTOS, professeur à l'université des Açores. Membre permanent de l'Académie portugaise des sciences et membre émérite de l'Académie portugaise de la marine. Ancien pro-recteur à l'université des Açores et président de l'Institut interuniversitaire de recherche marine au Portugal. Ancien député au Parlement européen et ministre de la Mer. Docteur en biologie animale et écologie.

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 l'African Climate Policy Centre (ACPC). Jusqu'en 2020, conseiller principal pour le développement durable au South Centre. Membre de l'Académie africaine des sciences.

Laurent THÉVENOT, directeur d'études à l'EHESS (chaire Sociologie pragmatique de la politique et de la morale), membre du centre Georg Simmel, et membre de l'Académie d'agriculture de France. Ingénieur de l'École polytechnique et de l'ENSAE.

Secrétariat commun

INRAE : Christine CHARLOT, secrétaire générale, avec l'appui de Claire LURIN

Cirad : Marie DE LATTRE-GASQUET

Ifremer : Marianne ALUNNO-BRUSCIA

IRD : Ghislaine THIRION



Effectifs ressources humaines et budget

8 016

agents titulaires
(ETPT*)

51 %
4 117 femmes

49 %
3 898 hommes

2 018 chercheurs

3 178 ingénieurs

2 820 techniciens

2 581

contractuels
(ETPT*)

*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).
[données année 2023]

Subvention pour charge
de service public

868,8 M€

Ressources propres

269,5 M€

Ressources propres contractuelles
200,3 M€

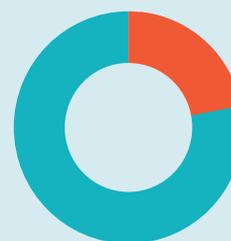
ANR	34,3
PIA	26,0
F2030	14,6
Autres établissements publics	19,6
Collectivités territoriales	24,2
Europe	33,1
Ministères et services de l'État	9,5
Organ. de rech. et d'enseignement sup.	7,1
Partenaires socioéconomiques	31,9

Ressources propres non contractuelles
69,2 M€

Subventions affectées	7,2
Dons et legs	0,7
Redevance pour brevets, licences	4,7
Prestations de services	16,4
Ventes de produits	20,0
Autres subventions	9,0
Autres produits de gestion courante	9,8
Produits financiers et exceptionnels	1,4

Ressources 2023

1 138,3 M€



76,32 %

Subvention pour charge
de service public

23,68 %

Ressources propres



Partenariat et innovation

Partenariats socioéconomiques

Nouveaux contrats de partenariats avec des partenaires socioéconomiques 384

Nombre de dispositifs de partenariats avec des partenaires socioéconomiques

- 26 unités mixtes technologiques (UMT)
- 5 Carnot
- 8 Labcom
- 14 laboratoires partenariaux associés (LPA)
- 3 démonstrateurs pré-industriels
- 35 start up créées entre 2017 et 2023
- 60 doctorants CIFRE

Propriété intellectuelle

Déclarations d'invention et de résultats valorisables 140

Nouveaux brevets déposés 34

Nouveaux certificats d'obtention végétale (COV) 5

Prématuration

Financement 683,8 k€

Consortium AgriO

Entreprises labélisées 12

Valorisation

Nouvelles licences et accords de valorisation de brevets, logiciels, bases de données, savoir-faire secret, marques payantes 32

Nouvelles licences sur COV 46

Recettes

Contrats de recherche avec les partenaires socioéconomiques 31,9 M€

Licences sur les certificats d'obtention végétale (COV) 2,7 M€

Licences sur brevets et savoir-faire et logiciels 2 M€



Filiales



Avec un fonds de plus de 1 500 titres et environ 40 nouveautés par an, les éditions Quæ visent depuis leur création en 2006 à favoriser les échanges entre scientifiques, la transmission des savoirs et savoir-faire, l'aide à la décision et au débat public, sur des thèmes aussi variés que l'agriculture et l'environnement, la biodiversité et le changement climatique, l'océan et les ressources marines, l'alimentation et la santé. Les éditions Quæ s'inscrivent dans une perspective de coexistence durable de deux modalités complémentaires d'édition : le numérique et le papier. Quæ propose des ouvrages en accès ouvert au format pdf, ePub et audio. Les ouvrages sont disponibles sur quae.com et en librairie, sur des plateformes internationales, ainsi que sur quae-open.com et doabooks.com. La maison d'édition élargit actuellement sa diffusion à une communauté internationale francophone et anglophone.



*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 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, située 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, illustrée par sa conversion à l'agriculture biologique en 2019. Les premiers millésimes 100 % bio étaient le Château Couhins blanc 2022, grand cru classé, et la Dame de Couhins blanc 2022. Au printemps 2024 sortiront du chai les premiers rouges bio (château Couhins et Dame de Couhins). Le domaine continue par ailleurs son ambitieux développement avec l'objectif de déployer sur site, à l'échelle large d'une exploitation, les résultats des travaux d'INRAE en matière d'agro-écologie.

En quelques chiffres :

- 33 ha de vignes
- Production annuelle : 160 000 bouteilles
- CA : 1,6 M€
- Effectifs : 15 ETP



Fondée en 1983, Agri Obtentions, filiale d'INRAE, est un semencier français multi-espèces 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 de légumineuses, céréales et plantes de service. Agri Obtentions propose aussi une gamme de variétés adaptées aux associations et aux mélanges d'interculture et est impliqué dans l'innovation en potagères.

En quelques chiffres :

- 16,319 M€ de chiffre d'affaires (CA) réalisé en France et en Europe
- 30,5 % du CA investi en recherche et développement
- 1 141 licences
- 11 groupes d'espèces et 425 variétés diffusées



Organigramme

(Au 31 décembre 2023)



COLLÈGE DE DIRECTION

PRÉSIDENTE - DIRECTION GÉNÉRALE



DIRECTEURS SCIENTIFIQUES



DIRECTIONS D'APPUI À LA RECHERCHE

Armelle CARNET <i>Responsabilité sociétale et environnementale</i>	Guy RICHARD <i>Expertises scientifiques collectives, prospectives et études</i>	Marion BARDY <i>Appui aux politiques publiques</i>
Valérie ARCHAMBAULT <i>Partenariat et transfert pour l'innovation</i>	Odile HOLOGNE <i>Science ouverte</i>	Frédéric GAYMARD <i>Évaluation</i>
Jean-Baptiste HERVOUET <i>Financement et Achats</i>	Guillaume PINGET <i>Patrimoine et Immobilier</i>	Françoise ROUDAUT <i>Systèmes d'information</i>
Pierre-Yves SAINT <i>Appui au pilotage (DIAGONAL)</i>	Cécile JANET <i>Affaires juridiques</i>	Marie-Claude PAULIEN <i>Coordination des services déconcentrés de l'appui à la recherche</i>

Karine GUERITAT
*Administratrice
du siège*

Philippe MARTIN
Agent comptable principal

DÉLÉGATIONS

Françoise SIMON-PLAS <i>Déontologie, Intégrité scientifique, Éthique des projets</i>	Catherine BEAUMONT <i>Parité et lutte contre les discriminations</i>
Nathalie GANDON <i>Informatique et Liberté</i>	Stéphane AYMERICH <i>Infrastructures de recherche</i>
Jean-Baptiste MERILHOU-GOUDARD <i>Sciences avec et pour la société</i>	David CAFFIER <i>Sécurité biologique</i>

MISSIONS

Nicolas BÉCARD <i>Sécurité défense</i>
Thomas LALLART <i>Sécurité des systèmes d'information</i>
Hadi QUESNEVILLE <i>Administrateur des données scientifiques</i>



Les 18 centres

(Au 31 décembre 2023)

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 : Julien Fosse
- 10 Île-de-France-Jouy-en-Josas-Antony
Présidente : Nathalie Touze
- 11 Île-de-France-Versailles-Saclay
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 : Frédéric Carlin
- 18 Val de Loire
Président : Marc Guérin
- 19 **Centre-siège Paris-Antony**
Administratrice : Karine Gueritat



Les 14 départements de recherche

(Au 31 décembre 2023)

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

121

Structures


205
unités
de recherche


42
unités
expérimentales


23
unités
de service

INRAE

