



Centres
Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes
Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes

INRAE



Focus INRAE en Auvergne-Rhône-Alpes

Édito



Agriculture, alimentation et environnement : INRAE nouvel acteur majeur de la recherche et de l'innovation en région Auvergne-Rhône-Alpes

INRAE, l'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement, est né le 1^{er} janvier 2020 de la fusion de l'Inra et d'Irstea. INRAE devient, par sa taille et l'étendue de ses domaines de recherche, le premier organisme de recherche spécialisé au monde dans ces domaines.

Atténuation du changement climatique et adaptation de ses effets, sécurité alimentaire et nutritionnelle, transition des agricultures, préservation des ressources naturelles, restauration de la biodiversité, anticipation et gestion des risques... Autant d'attentes nouvelles vis-à-vis de la recherche, dans le cadre du changement global et de défis que le nouvel institut sera plus à même d'appréhender, de par sa taille et la diversité de ses compétences.

Aboutissement d'un processus de fusion engagé en février 2018, la création de ce nouvel EPST – Etablissement Public à Caractère Scientifique et Technologique – est le résultat d'une forte collaboration avec les différentes communautés de travail des 2 instituts parents, nourrie au préalable d'une réflexion autour des synergies et du potentiel de recherche global.

Le nouvel institut a, en région Auvergne-Rhône-Alpes, l'une de ses plus fortes représentations, avec près de 1400 agents au total. Il est organisé en 2 centres de recherche, le Centre Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes et le Centre Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes. De manière à assurer une cohérence régionale, les 2 centres régionaux disposent d'un schéma



scientifique conjoint, qui constitue la déclinaison de l'offre de recherche de l'institut INRAE en Région Auvergne-Rhône-Alpes. Les recherches s'inscrivent dans un continuum allant des ressources biologiques (animales, végétales, microbiennes) au territoire et à l'environnement, en passant par les produits et l'Homme. L'offre est organisée en 6 thématiques prioritaires dont nous vous proposons quelques faits marquants dans ce document.

L'année 2019 a permis de poursuivre les réflexions, de mieux se connaître, de consolider les organisations, les stratégies et de préparer les collectifs. Grâce à l'engagement des agents de l'Inra et d'Irstea, ce projet a pu voir le jour à l'issue d'un travail soutenu, illustré par un panorama dans les pages suivantes et par une sélection de faits marquants, les cartes d'identité des centres, la présentation de quelques dispositifs expérimentaux emblématiques...un aperçu de ce qu'est INRAE en région Auvergne-Rhône-Alpes, un acteur clé du territoire.

Bonne lecture !

Sommaire



Édito	03
Panorama - processus de fusion	04
Carte d'identité des 2 centres	06
Les infrastructures expérimentales des 2 centres	08
Expertise et appui aux politiques publiques	10
Quelques travaux emblématiques	12
6 thématiques de recherche en Auvergne-Rhône-Alpes	14
Faits marquants scientifiques	16
> L'agroécologie des systèmes d'élevage herbager	20
> La biologie des plantes	20
> L'écologie et les écotechnologies associées à l'eau	24
> Les territoires et les sociaux écosystèmes	26
> Les risques naturels sanitaires et environnementaux	30
> La nutrition humaine	34
Définir l'ADN d'INRAE	38
Liste des unités des 2 centres	39

Panorama

Processus de fusion



2017

30 novembre

Philippe Mauguin et Marc Michel remettent leur rapport « **Projet de coopération scientifique INRA / IRSTEA et structuration de la recherche environnementale** » aux Ministres de tutelles.



Marc Michel et Philippe Mauguin



2018

Février

Marc Michel et Philippe Mauguin, lettre de mission des Ministres à l'appui, lancent **la réflexion en interne** et adressent par la même occasion un premier message à tous les agents des deux Instituts.

25 avril

En région Auvergne-Rhône-Alpes, un groupe de travail étudie la faisabilité de création d'un centre « Lyon-Grenoble » du futur institut.

10 septembre

L'ensemble des directeurs d'unités INRA et Irstea d'Auvergne-Rhône-Alpes proposent de constituer **une offre scientifique commune en région, organisée en 6 axes.**

17 octobre

2 centres en région Auvergne-Rhône-Alpes

Parmi les premières propositions présentant l'organisation et la démarche du projet de fusion remises aux ministres de tutelle, deux centres sont suggérés en région Auvergne-Rhône-Alpes : l'un à l'Est (territoire rhônalpin), l'autre à l'Ouest (territoire auvergnat).

7 décembre

Jean-Baptiste Coulon, président du Centre INRA Auvergne-Rhône-Alpes, a pour mission de conduire la mise en place de la fusion en région, et notamment de préparer **la future organisation en 2 centres** de recherche qui seront baptisés en cours de processus : **Centre Clermont-Auvergne Rhône-Alpes et Centre Lyon-Grenoble-Auvergne-Rhône-Alpes.**



Débats en interne

Panorama Processus de fusion



2019

29 avril

Nomination des futurs présidents en région Auvergne-Rhône-Alpes.

Les futurs présidents des deux centres régionaux sont nommés : Pascal Boistard pour le futur Centre Lyon-Grenoble-Auvergne-Rhône-Alpes et Emmanuel Hugo pour le futur Centre Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes.

18 mai

Le futur Institut, intitulé Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement, adoptera le sigle INRAE.

20 mai et 18 juin

Deux journées de cohésion sont organisées à Theix et à Thonon-les-Bains pour les agents des deux futurs centres d'Auvergne-Rhône-Alpes.

6 septembre

Co-construction du projet stratégique d'établissement.

Quatre conventions des directrices et directeurs d'unités ont permis de lancer les réflexions autour du futur projet stratégique d'INRAE. L'une d'entre-elles s'est déroulée à Lyon-Villeurbanne. Elle a accueilli l'encadrement scientifique des régions Sud-Est de nos 2 instituts, ainsi que les Présidents de centre, les directeurs des services d'appui de l'Inra et les directeurs régionaux d'Irstea, soit environ 100 personnes.



Convention DU

18 septembre

Emmanuel Hugo est nommé délégué régional d'INRAE pour la région Auvergne-Rhône-Alpes. Le Président du Centre Lyon-Grenoble-Auvergne-Rhône-Alpes (Pascal Boistard) sera délégué régional adjoint.

2, 3, 4 octobre

1^{ère} illustration de la continuité des recherches Inra-Irstea au Sommet de l'élevage 2019.

Les équipes clermontoises des deux Instituts se sont réunies au Sommet de l'élevage, sur un stand co-construit sur le thème « L'élevage de précision : la ferme connectée » autour de quatre perspectives : « la prairie comme objet de mesure » ; « l'élevage de précision dans les prairies » ; « les mesures de précision à l'étable autour de l'alimentation et du comportement animal » ; « le point de vue de l'éleveur ».



Sommet de l'élevage

12 octobre

Les deux décrets constitutifs du nouvel institut (INRAE) sont publiés au journal officiel

28 novembre

La nouvelle organisation d'INRAE et sa déclinaison en Auvergne-Rhône-Alpes en 2 centres a été dévoilée à l'ensemble des partenaires régionaux par Philippe Mauguin, Jean-Baptiste Coulon, Emmanuel Hugo et Pascal Boistard, à l'occasion d'une après-midi sur le Centre Irstea de Lyon-Villeurbanne.



2020

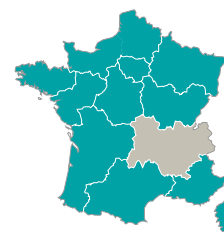
9 janvier

Le lancement officiel de l'Institut a eu lieu en présence de Frédérique Vidal, Ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et Didier Guillaume, Ministre de l'Agriculture et de l'Alimentation qui ont dévoilé la plaque logotypée du Centre-siège à Paris, aux côtés de Philippe Mauguin, Président Directeur Général d'INRAE et Marc Michel, ancien Président d'Irstea.



Lancement d'INRAE

Carte d'identité des 2 centres



Les Centres INRAE Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes et Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes font partie des 18 centres de recherche d'INRAE.

En région Auvergne-Rhône-Alpes, INRAE est présent via ses 2 centres de recherche « Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes » et « Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes ». Deux centres aux recherches multidisciplinaires, mais à forte identité et pour partie complémentaires. Les 2 centres contribuent ainsi à un schéma scientifique unique et partagé en région, décliné en 6 axes thématiques pluridisciplinaires.

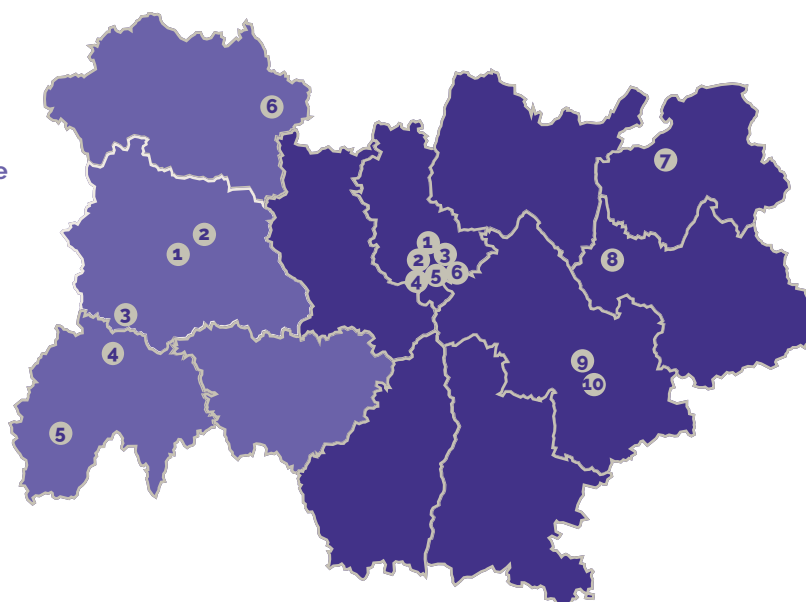
Notre territoire est riche géographiquement (plaines, montagnes, lacs...), avec des activités et des enjeux économiques, humains ou environnementaux variés, des zones humaines à forte densité (métropoles territoriales importantes, moyennes, petites) et de vastes espaces agri-environnementaux. Cette diversité permet de décliner des recherches multidisciplinaires et intégrées dans différents domaines porteurs et/ou à fort enjeu. Elles s'insèrent dans un continuum allant des ressources biologiques (animales, végétales, microbiennes) au territoires, en passant par les produits et l'Homme.



Carte des implantations

> Territoire auvergnat

1. Theix
2. Clermont-Ferrand / Aubière
Campus des Cézeaux
Clermont - CHU
Clermont-Crouel
3. Laqueuille
4. Marcenat
5. Aurillac
6. Montoldre



> Territoire rhônalpin

1. La Doua
2. Ecully
3. Bron
4. Marcy-l'Etoile
5. Gerland
6. Lyon-Sud
7. Thonon-les-Bains
8. Chambéry
9. Saint-Martin-d'Hères
10. Grenoble



Chiffres clés 2019



1 430 agents titulaires et contractuels



800 articles publiés dans des revues à comité de lecture, parus dans plus de 400 revues (chiffres web of science)



132 352 m² de patrimoine immobilier



632 contrats en gestion



110 M€ budget



Présidences de Centre



> Emmanuel Hugo
Président du Centre Clermont-Auvergne-Rhône Alpes
Délégué régional



> Pascal Boistard
Président du Centre Lyon-Grenoble
Auvergne-Rhône Alpes
Délégué régional adjoint

Carte d'identité des 2 centres



Une recherche internationale

Les équipes scientifiques des centres INRAE en Auvergne-Rhône-Alpes sont investies dans de nombreux réseaux de recherche internationaux, dans les domaines de la génétique végétale, de l'élevage ou encore de la nutrition humaine et de l'environnement.



Une recherche ouverte sur la société et le développement durable

Nos recherches, porteuses d'innovations et d'ouverture sur la société, s'inscrivent dans une dimension d'appui et d'expertise aux politiques publiques et dans un esprit engagé pour le développement durable.



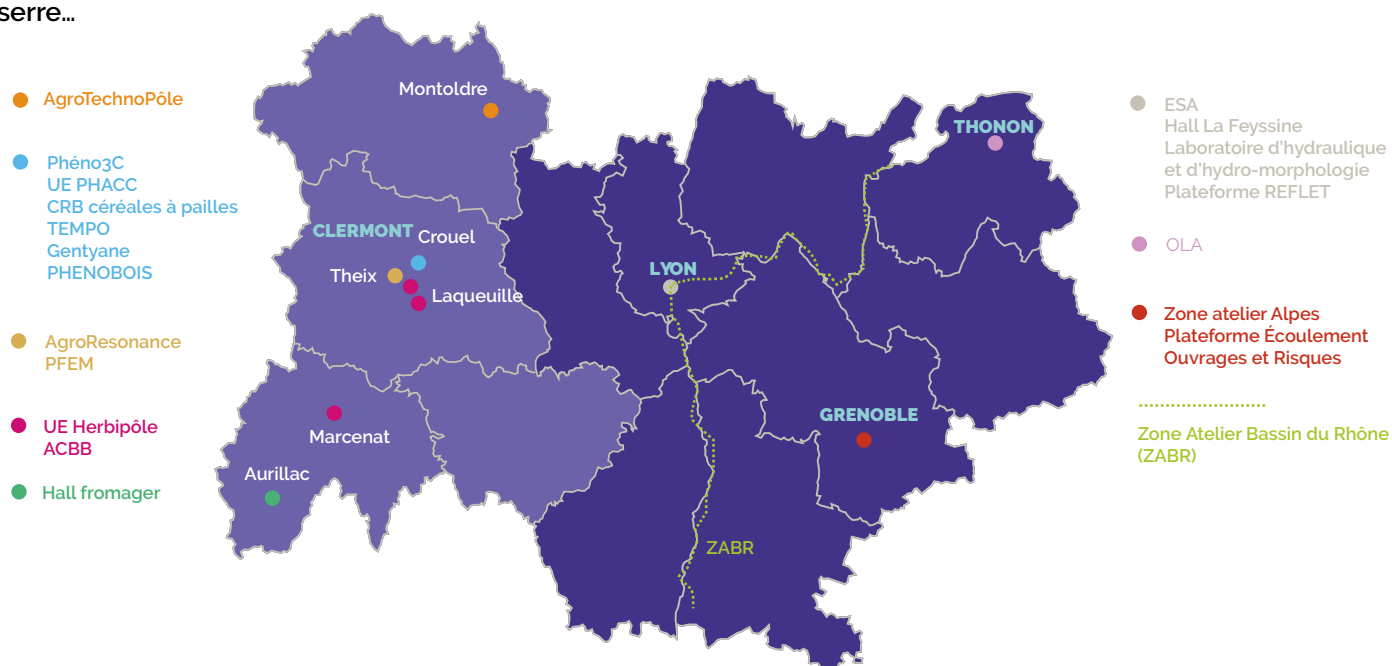
2 centres 1 offre scientifique commune



Les infrastructures expérimentales des 2 centres



Les unités de recherche peuvent s'appuyer sur une vingtaine d'infrastructures collectives structurantes (dispositifs expérimentaux et analytiques, observatoires partagés, zones ateliers, plateformes ...), labellisées à l'échelle nationale ou internationale, et largement ouvertes aux partenaires, via des prestations ou des partenariats spécifiques. Les 2 centres proposent des expertises de pointe et originales, notamment dans les secteurs de la génétique, du métabolisme, de l'eau et de l'environnement, de l'imagerie *in vivo*, du phénotypage, de la gestion des risques naturels, de l'économie expérimentale, de l'élevage, de la mesure des gaz à effet de serre...



➤ Les infrastructures du centre Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes :

- Unité Expérimentale PHACC
- Phéno3C (phénotypage des céréales au champ sous contraintes climatiques)
- Centre de ressources biologiques céréales à pailles (CRB)
- Gentyane (génotypage et séquençage)
- Observatoire TEMPO (verger expérimental)
- PHENOBOIS (Phénotypage des propriétés physico-chimiques du bois et hydrauliques des arbres)
- Observatoire ACBB (agro-écosystèmes, cycle bio-géochimique et biodiversité)
- Unité Expérimentale Herbipôle
- IVIA AgroResonance (imagerie *in vivo*)
- PFEM (plateforme d'exploration du métabolisme)
- Hall fromager d'Aurillac
- Plateforme épidémiosurveillance en santé animale (ESA)
- AgroTechnoPôle

➤ Les infrastructures du Centre Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes :

- OLA (observatoire des lacs alpins)
- Zone atelier Alpes
- Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR)
- Hall la Feyssine (épuration des eaux)
- Laboratoire d'hydraulique et d'hydro-morphologie (HHLab)
- Plateforme Écoulement Ouvrages et Risques (étude des avalanches, éboulements, etc.)
- Plateforme REFLET (systèmes végétalisés pour traitement des eaux usées)

Les infrastructures expérimentales des 2 centres



Zoom sur 5 dispositifs

> UE Herbipôle

L'Herbipôle, infrastructure expérimentale installée sur 3 sites dans le Puy de Dôme et le Cantal, est une plateforme dédiée à l'élevage des herbivores en zone de montagne, proposant des dispositifs expérimentaux adaptés aux nouvelles questions de recherche, notamment sur la durabilité des systèmes d'élevage, à différentes échelles d'études (de l'animal au système) et de temps.



> Phéno3C

La plateforme de phénotypage haut-débit Phéno3C a pour objectif l'étude des effets du changement climatique, en conditions semi-contrôlées proches des conditions agronomiques (plein champ). Par un système d'abris mobiles, la plateforme permet le contrôle de la disponibilité en eau du sol pour appliquer des sécheresses et le contrôle de la concentration en CO₂ atmosphérique pour mimer les conditions futures.



> Plateforme Epidémiosurveillance en santé animale (ESA)

Cette plateforme est une structure multipartenaire mise en place sous l'égide de l'Etat pour promouvoir et accompagner la surveillance des pathologies en élevage ou des pathogènes pouvant passer à l'homme (zoonoses).



> Laboratoire d'hydraulique et d'hydro-morphologie (HHLab)

Cette plateforme expérimentale de 350 m² comprend trois modèles physiques (modèles réduits de rivières et de rues en ville). Elle est dédiée à l'étude des processus associés aux écoulements en rivière et en milieu fortement anthropisé.



> Hall la Feyssine (épuration des eaux)

Cette plateforme située à proximité de la station d'épuration de la Feyssine (Lyon) permet d'approfondir la connaissance des phénomènes complexes liés à l'épuration des eaux usées urbaines. Elle constitue un outil contribuant à apporter, à l'ensemble des acteurs publics et privés concernés, les éléments nécessaires à l'amélioration de la conception et de la gestion technique des filières de traitement des eaux résiduaires, dans une optique de préservation et d'utilisation durable des ressources.



Expertise et appui aux politiques publiques



Une activité d'expertise et de prospective reconnue

Les compétences des équipes des 2 centres sont mobilisées pour de nombreuses opérations d'expertise ou de prospective, soit dans le cadre d'agences nationales ou européennes, soit dans le cadre d'actions spécifiques.

Plusieurs opérations d'envergure, pilotées par l'institut, ou auxquelles il a participé en partenariat, peuvent être mentionnées :

- > « **Filières viande du Massif central : horizon 2050** » prospective commanditée par le Commissariat Général à l'Egalité des Territoires (CGET) devenu Agence nationale de la cohésion des territoires ;
- > « **Rôles, impacts et services issus de l'élevage en Europe** » expertise scientifique collective à la demande des ministères en charge de l'Agriculture et de l'Environnement et de l'Ademe ;
- > **Etude sur l'étiquetage nutritionnel réalisée avec la CLCV** (Association consommation, logement et cadre de vie) ;
- > « **La conscience animale** » expertise scientifique collective commanditée par l'Autorité Européenne de Sécurité Alimentaire (EFSA) ;
- > « **L'eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité** » menée à la demande du ministère de la Transition écologique et solidaire et de celui de l'Agriculture et de l'Alimentation, avec le soutien financier de l'Agence française pour la biodiversité ;
- > « **Les océans et la cryosphère dans un monde dont le climat change** » rapport spécial de l'IPCC (Intergovernmental panel on climate change) ;
- > « **La qualité des aliments d'origine animale selon les conditions de production et de transformation** » expertise scientifique collective demandée par le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et par FranceAgriMer ;
- > L'expertise sur **la sarcopénie** à l'initiative du groupe de travail européen EWGSOP ;
- > « **Diagnostic de la dénutrition de l'enfant et de l'adulte** » recommandation de bonnes pratiques demandée pour la HAS ;
- > « **Actualisation des repères du PNNS : révision des repères de consommations alimentaires** » expertise collective ANSES ;
- > **Expertise pour le projet de construction d'un barrage** pour retenir d'éventuelles coulées afin de protéger certains quartiers exposés à Squamish au Canada (piège à laves torrentielles) ;
- > Participation au projet de **recueil d'expertises internationales** (DAPP INRAE) ;
- > **Projet ASIRPA (Analyse des Impacts de la Recherche Publique Agronomique)** ou une approche d'analyse des impacts socio-économiques de la recherche à l'échelle d'une institution de recherche ;
- > Organiser la réponse aux besoins liés aux questions **d'assainissement pour les petites et moyennes collectivités (EPNAC)** ;
- > « **Impact cumulé des retenues d'eau sur le milieu aquatique** », expertise scientifique collective à la demande du ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM), avec l'appui de l'AFB.



Expertise et appui aux politiques publiques



Zoom sur 3 expertises



1. Eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité

L'eutrophisation est un dérèglement du fonctionnement normal des écosystèmes aquatiques, tant marins côtiers que terrestres, qui advient quand ils sont trop enrichis par l'activité humaine en nutriments azotés et phosphorés. Ses manifestations les plus connues sont les efflorescences de cyanobactéries toxiques dans les lacs et, en mer côtière, les « marées vertes » (proliférations de macroalgues vertes). Les fortes biomasses générées s'accumulent dans les sites confinés et leur décomposition initiale par des bactéries aérobies induit un appauvrissement voire un épuisement de l'oxygène dissous dans l'eau, puis l'émission de gaz toxiques lors de la phase de décomposition anaérobie.

2. Qualité des aliments d'origine animale selon les conditions de production et de transformation

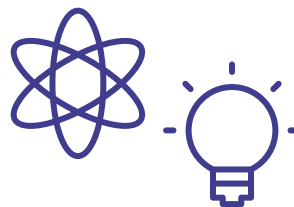
Le collectif d'experts missionné s'est intéressé aux principaux produits consommés et produits en Europe, qu'ils soient standards ou sous signe de qualité : viandes bovines, ovines, porcines et de volailles, laits (de vache, de brebis et de chèvre), œufs, chair de poissons, ainsi que les aliments issus de leur transformation : viandes et poissons transformés, produits laitiers, ovoproduits, ingrédients et plats composites contenant des aliments d'origine animale. Le collectif d'experts a ainsi identifié 7 propriétés constitutives de la qualité des aliments et le rôle déterminant de plusieurs facteurs influant sur la qualité des produits et ce, aux différentes étapes de l'élaboration du produit, de la production à la transformation jusqu'à la consommation.



3. Evolution des océans et de la cryosphère dans un monde dont le climat change

Ce rapport de référence fait le point sur les connaissances relatives aux changements subis par les océans et par l'ensemble des surfaces des mers ou terres émergées où l'eau est présente à l'état solide (la cryosphère). Il présente les scénarios d'évolution probables et, en examinant les milieux des 4 coins de la planète, il aborde les enjeux de ces changements, tant sur le plan environnemental que sociétal ou économique. Il livre également les solutions envisagées par les experts pour atténuer leurs effets.

Quelques travaux emblématiques



> Un centre international de référence pour la mobilité des personnes, des biens et des machines

Les compétences pluridisciplinaires et complémentaires de huit laboratoires régionaux, dont l'unité TSCF d'INRAE ont donné naissance au Laboratoire d'Excellence IMobS3, Innovative Mobility : Smart and Sustainable Solutions. Ce Labex a pour ambition de développer des briques technologiques efficaces et respectueuses de l'environnement pour une mobilité innovante des personnes, des biens et des machines. [page 17](#)



> INRAtion®V5 : un outil de terrain pour une nouvelle approche du rationnement des ruminants

Le système d'alimentation proposé par INRAE pour rationner les ruminants est régulièrement mis à jour depuis 40 ans. Il est très utilisé en France et dans plusieurs pays européens, africains et d'Amérique du Sud, grâce en particulier à son logiciel support, INRAtion®. [page 18](#)



> Protéger les prairies permanentes : une priorité pour la biodiversité et l'agroécologie

Les résultats des chercheurs appellent à sanctuariser les prairies permanentes afin de freiner le déclin de la biodiversité. Considérées comme une véritable richesse patrimoniale, ces prairies pourraient préserver le potentiel agroécologique au sein des paysages agricoles. [page 19](#)



> Séquençage des génomes d'espèces d'intérêt agronomique : 2 succès mondiaux avec le blé et la rose

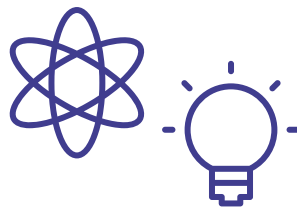
Les séquences de référence du blé ont été publiées récemment, ainsi que le décryptage du génome d'une autre espèce d'intérêt agronomique, le rosier, par 2 consortium de recherche internationaux auxquels participaient nos chercheurs. Une étape essentielle pour mieux comprendre la biologie de ces espèces et l'origine de leur diversité, et accélérer le travail de sélection et d'amélioration. [page 23](#)



> Effet de la fonte des glaciers sur les trois principaux écosystèmes influencés par des glaciers: les fjords (milieux marins), l'eau douce (rivières et lacs glaciaires) et les marges pro-glaciaires (milieux terrestres).

L'étude menée par nos chercheurs montre que 6 à 11 % des populations étudiées dans ces zones seraient menacées par le retrait des glaciers. Il s'agit, pour la plupart, d'espèces spécialistes, adaptées aux conditions extrêmes des glaciers, mais peu compétitives et vulnérables à la modification de leur environnement. [page 25](#)

Quelques travaux emblématiques



> Territoire et alimentation : un exemple réussi de partenariat acteurs-chercheurs pour un projet alimentaire territorial

Un projet de recherche est à l'origine de la mise en place *in fine* d'un Projet Alimentaire Territorial (PAT) sur son périmètre géographique, visant à offrir aux populations une alimentation saine, de qualité, accessible à tous, issue de circuits de proximité et contribuant au développement d'une agriculture rémunératrice pour l'agriculteur et respectueuse de l'environnement.

[page 28](#)



> La recherche se mobilise face au risque « tiques »

Les tiques représentent des vecteurs majeurs d'agents pathogènes pour les populations humaines et animales en Europe. Elles sont une cause importante d'inquiétude de la population et de risques sanitaires, amplement relayés par les médias. L'article présenté fait le point sur les recherches sur ce sujet en région. [page 31](#)



> Comprendre le ressaut des avalanches

Une équipe d'INRAE radiographie le phénomène avec des techniques innovantes, dans le but d'améliorer le dimensionnement des digues paravalanches. [page 32](#)



> 30 ans de recherches sur la sarcopénie et la dépendance de la personne âgée...

L'un des éléments responsables de la dépendance est la réduction de la mobilité induite par la sarcopénie ou fonte musculaire. Celle-ci est au centre des travaux de recherche de laboratoires d'INRAE, notamment de l'UNH à Clermont-Ferrand et de l'UMR CarMeN à Lyon, mais aussi des 2 Centres de recherche en nutrition humaine d'Auvergne et de Rhône-Alpes. [page 35](#)



> Un système d'étiquetage nutritionnel adopté en France

Suite aux résultats des études menées par les chercheurs du laboratoire d'économie de Grenoble, le système d'étiquetage nutritionnel NutriScore a été choisi comme étiquetage officiel en France. [page 37](#)



6 thématiques de recherche en Auvergne-Rhône-Alpes



1. Agroécologie des systèmes d'élevage herbagers, qualité des produits et santé animale

Les activités d'élevage sont l'objet d'interrogations croissantes du fait d'enjeux environnementaux, éco-nomiques et sociaux.

La compréhension du fonctionnement des systèmes d'élevage et de leurs composantes est indispensable pour raisonner leurs capacités d'adaptation et de résilience et caractériser les qualités des produits et des services qui en sont issus. C'est particulièrement le cas des systèmes herbagers. Les enjeux finalisés de cet axe sont : i) l'adaptation des ressources (animales et végétales) au contexte économique, social et environnemental de l'élevage ; ii) le développement d'innovations techniques facilitatrices ; iii) l'objectivation des liens entre systèmes d'élevage herbagers et qualité des produits qui en sont issus ; iv) la conception et l'évaluation multicritère de systèmes d'élevage multifonctionnels, innovants et durables à base d'herbe, ainsi que de filières territorialisées.



2. Biologie intégrative des plantes modèles et cultivées et adaptation à leur environnement

Les travaux de cet axe de recherche s'inscrivent dans le cadre du développement d'une agriculture plus durable.

En association avec des solutions agronomiques, l'amélioration des plantes peut proposer des solutions en sélectionnant des variétés adaptées à de nouvelles contraintes (rendements, changement des habitudes alimentaires, changement climatique...). Ceci nécessite des connaissances fondamentales approfondies, qui, intégrées jusqu'à l'échelle du système de culture, et associées à des innovations technologiques et méthodologiques (nouvelles pratiques agronomiques, agriculture de précision), contribueront à concevoir des systèmes de culture innovants. Les principales thématiques de recherche concernent : i) l'organisation et le fonctionnement des génomes végétaux, ii) le développement et l'architecture des différents organes des plantes, iii) les interactions entre les plantes cultivées et leur environnement biotique, iv) les adaptations des plantes cultivées aux stress abiotiques, v) les nouveaux débouchés des produits végétaux, vi) la robotique et les technologies pour l'agriculture de demain ; vii) l'écologie, les interactions et la dynamique des communautés, l'agroécologie, viii) l'analyse économique des stratégies et des politiques d'innovation dans les biotechnologies ; ix) l'écologie, les interactions et la dynamique des communautés, l'agroécologie.



3. Eau, bassins versants, écologie aquatique et écotecnologies associées

Les systèmes aquatiques sont soumis à des contraintes multiples et évolutives, dans un contexte de changement global.

La gestion pérenne de ces systèmes nécessite une connaissance poussée de leur fonctionnement écologique et de leurs relations avec leur environnement. Cela implique, entre autres, l'étude de l'écologie et du fonctionnement des écosystèmes en lien avec leurs bassins versants, des réseaux trophiques et de la biologie des organismes aquatiques, des risques et effets liés à ces contraintes physiques, chimiques et

biologiques, ainsi qu'une interaction étroite entre chercheurs, gestionnaires de l'eau et citoyens.

Les unités impliquées développent des travaux de recherche sur les fleuves, les rivières, les lacs, ainsi que sur les interfaces sol-eau-atmosphère qui modifient les flux de matières et d'énergie entrants et sortants, et sur les écotecnologies de valorisation et traitement des effluents urbains.

Les principales thématiques de recherche concernent : i) la connaissance des forçages environnementaux qui s'exercent sur les milieux aquatiques, ii) la connaissance de la biodiversité aquatique, iii) la connaissance des effets et des liens de causalité entre forçages environnementaux et réponse des organismes et des écosystèmes, iv) la caractérisation de l'évolution sur le long terme, v) les écotecnologies de valorisation et traitement des effluents urbains.



6 thématiques de recherche en Auvergne-Rhône-Alpes



4. Territoires et socio-écosystèmes : qualifications, trajectoires et accompagnement au changement

Ces recherches découlent de la prise de conscience de l'urgence des problèmes environnementaux, de l'impossibilité de dissocier leurs dimensions écologiques, économiques et sociales mais aussi, plus globalement, des enjeux de transition et d'adaptation aux changements des écosystèmes et des sociétés dans les territoires.

Cette complexité croissante a conduit à l'émergence de la notion de socio-écosystèmes et à prendre en compte les enjeux de maintien, de préservation et de restauration des écosystèmes, dans un contexte de changement global. Les finalités de cet axe sont i) de comprendre les transformations en cours dans les socioécosystèmes en étudiant leurs trajectoires et les interactions entre dynamiques écologiques et socio-économiques, avec une approche multi-échelles, ii) d'identifier des leviers et concevoir des méthodes d'adaptation aux changements globaux dans les territoires afin d'accompagner leurs acteurs et d'orienter les politiques publiques.



5. Risques naturels, sanitaires et environnementaux

Le changement global, dans toutes ses composantes (climat, urbanisation, pollution...) conduit à de nouvelles situations à risque pour les sociétés ainsi que pour les ressources en eau et les écosystèmes. Il y a en parallèle une forte demande sociétale de réduction des risques amplifiée par la médiatisation des catastrophes et des crises.

Les recherches visent ainsi à prévenir et réduire ces risques. Les enjeux concernés sont les hommes, le bâti, les infrastructures critiques, les activités agricoles, les populations microbiennes, animales et végétales au sein des écosystèmes, et plus largement la vulnérabilité sociale, économique et environnementale des territoires. Le périmètre couvert concerne les risques naturels, sanitaires et environnementaux.



6. Nutrition humaine, complexité alimentaire et santé

Ces dernières décennies, nous assistons dans les pays développés à l'allongement significatif de la durée de vie. Cependant, le vieillissement des populations s'accompagne d'une augmentation de pathologies plus ou moins invalidantes qui altèrent la qualité de vie et ont un coût sociétal de plus en plus important.

Dans ce contexte, comprendre les relations entre alimentation et santé est un axe majeur de recherche des équipes INRAE. L'objectif est de pouvoir proposer des stratégies nutritionnelles permettant de prévenir ou de minimiser les maladies métaboliques et/ou liées à l'âge, tout en prenant en compte le défi de l'alimentation durable. Les principales thématiques de recherche concernent : i) la qualité de l'aliment et l'optimisation nutritionnelle, ii) la compréhension des mécanismes de régulation métabolique par la nutrition, iii) les relations entre le microbiote intestinal, l'alimentation et la santé de l'hôte, iv) l'effet des politiques publiques pour des comportements alimentaires durables.





Faits marquants

> 01

L'agroécologie des systèmes d'élevage herbagers





Le système fourrager est une des clés de la spécificité des laits de montagne

La spécificité des laits de montagne est principalement attribuable à la nature de l'herbe présente dans les prairies permanentes (et des fourrages qui en sont issus), dont la composition et l'utilisation sont différentes de celles de la plaine. Pour maintenir cette spécificité, source de valeur ajoutée pour les éleveurs, il faut préserver la part importante du pâturage dans l'alimentation des troupeaux et la composition botanique spécifique des prairies de montagne. L'utilisation du label « produit de montagne » permet au consommateur de différencier les produits et est susceptible d'apporter une plus-value aux éleveurs constituant ainsi l'une des solutions permettant d'améliorer la viabilité de leurs exploitations.

De nombreuses études ont permis de montrer que la composition du lait et du fromage de montagne est différente de celles des zones de plaine : lait plus riche en acides gras oméga 3 et plus pauvre en acides gras saturés et fromages aux profils sensoriels plus complexes par exemple. La promesse faite aux consommateurs, prêts à payer plus cher les produits de montagne, repose en partie sur ces différences.



Contact : bruno.martin@inrae.fr, UMRH



Des robots dans les champs



Comment concevoir un robot multitâches et adaptable, capable de travailler dans les champs ? Des équipes de recherche ont imaginé et construit deux robots jumeaux associés, et dotés d'une bibliothèque de comportements nécessaires.

Un tel projet de robot supposait des avancées en termes de mécanique, mais aussi d'algorithmique et de contrôle-commande. Il fallait ainsi, d'une part concevoir un véhicule capable de modifier à la demande sa hauteur, sa garde au sol, son centre de gravité, etc., et d'autre part le doter d'une gamme de comportements suffisante pour répondre à toutes ses missions. Les chercheurs ont défini et implémenté une dizaine de comportements de base (suivi d'une trajectoire, détection d'obstacles...). Grâce à des modèles algorithmiques innovants, ils ont créé des lois de com-

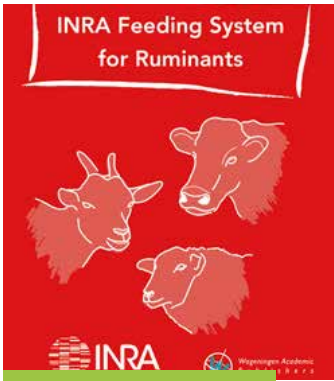
mande auto-adaptatives, aptes à diriger le robot de 0 à 40 km/h.

Il est vite apparu, cependant, qu'une plateforme unique reconfigurable serait mécaniquement complexe, et donc difficilement industrialisable. Les scientifiques ont alors conçu un système de 2 robots, ce qui supposait de les doter d'un comportement supplémentaire : la capacité d'association. Pour cela, ils ont développé un ensemble de balises et de capteurs radio permettant à chaque robot de « savoir » exactement où est son partenaire. Dotées d'algorithmes ad hoc, les 2 plateformes sont capables de progresser de front, par exemple chacune d'un côté d'un rang de vigne à traiter, ou l'une derrière l'autre.

Contact : roland.lenain@inrae.fr, UR TSCF



INRAtion®V5 : un outil de terrain pour une nouvelle approche du rationnement des ruminants



Le système d'alimentation proposé par INRAE pour rationner les ruminants est régulièrement mis à jour depuis 40 ans. Il est très utilisé en France et dans plusieurs pays européens, africains et d'Amérique du Sud, grâce en particulier à son logiciel support, INRAtion®. Le système a été profondément révisé dans cet objectif, condui-

sant à la publication du nouveau 'livre rouge' (INRA 2018).

Le nouveau système intégré d'alimentation des ruminants conçu par l'INRA en 2018 a permis d'envisager des fonctionnalités nouvelles pour leur rationnement, en termes de champ d'application (rations et types d'animaux très divers), de diversité des réponses animales prises en compte (d'intérêt économique, environnemental, nutritionnel, de santé animale).

Ces innovations ont été intégrées dans le logiciel INRAtion®V5 développé en partenariat avec des entreprises de Conseil en élevage (association SIEL).

Cet outil permet d'optimiser des rations pour des objectifs de production pouvant différer de la trajectoire de production potentielle des animaux, d'intégrer la recherche de compromis entre différentes réponses,

et d'évaluer les rations calculées sur l'ensemble des réponses animales prédites.

Une première version du logiciel est disponible depuis fin 2019 avec les modules de rationnement des vaches laitières, des bovins en croissance et à l'engrais, et de prévision de la valeur des aliments. Les modules de rationnement des vaches allaitantes et des petits ruminants ont été intégrés en 2020.

La construction du rationneur INRAtion®V5 a fait l'objet d'un partenariat étroit avec l'Association SIEL, qui regroupe 24 entreprises de conseil en élevage (ECEL), soit plus de 50% du cheptel laitier en France. Ce partenariat a permis d'aboutir à un outil en copropriété dont les moteurs de calculs sont totalement validés par INRAE, et dont les interfaces et l'ergonomie correspondent aux attentes de l'utilisateur de terrain pour définir ses objectifs sur le cycle de production, alimenter ses animaux par lots ou individuellement, et gérer ses stocks d'aliments.

Le logiciel est disponible sous licence (<https://www.inration-ruminal.fr/>), et mis à disposition des établissements d'enseignement et de recherche académique.

Contact : pierre.noziere@inrae.fr , UMRH



Quantification des émissions de méthane par l'élevage



La réduction de l'impact des ruminants sur le réchauffement climatique passe, entre autres, par une réduction des émissions de méthane entérique. Une quantification précise de ces émissions est nécessaire à différentes échelles, allant de l'animal au troupeau et du territoire national au continent ; Dans le même temps, des recherches sont menées sur certains aspects de la physiologie des ruminants en lien avec la variabilité de ces émissions entre animaux. Une exploration par méta-analyse des bases de données expérimentales, issues de différents projets internationaux sur les émissions de gaz à effet de serre (GES) des systèmes d'élevage de ruminants, a conduit à une nouvelle proposition de la modélisation de ces émissions. Celle-ci contribue à améliorer les inventaires de GES tant au niveau international, qu'au niveau national, avec le développement d'une nouvelle méthode d'inventaire. De plus, ces travaux

ont montré qu'il est nécessaire de développer des équations particulières pour une même espèce animale, non seulement par pays, mais aussi selon les systèmes d'élevage.

Contact : maguy.eugene@inrae.fr, UMRH



Emergence du Laboratoire d'Innovations Territoriales - Elevage à l'Herbe de Massif (EHM)

Les prairies représentent la très grande majorité de la surface agricole utile (SAU) dans les zones de moyennes montagnes. Elles font partie intégrante de l'identité du territoire et sont porteuses d'une image positive pour le consommateur. Les systèmes d'élevages herbagers et les filières socio-économiques qu'ils alimentent contribuent à la production de services multiples et supportent des usages partagés sur ces territoires. La reconnaissance de leurs atouts devient indispensable pour assurer leur pérennité, et celles des filières inhérentes, dans un contexte changeant et concurrentiel (aléas climatique, fluctuation des marchés, internationalisation des échanges). Le nouveau Laboratoire d'innovation territoriale (LIT) « élevage à l'herbe de Massif » est le produit de réflexions entre les acteurs de l'amont et de l'aval des filières dans le cadre de l'animation du CLUSTER « Herbe ». Le LIT-EHM est conçu comme un outil de médiation et d'accompagnement méthodologique d'innovations portées par des collectifs à l'échelle territoriale. Il s'appuie sur des démarches participatives de recherche-développement, afin d'opérer comme un levier du développement durable des territoires valorisant la ressource « herbe » dans les massifs.

Il s'agit notamment de :

- mieux comprendre le regard de la société sur l'élevage et montrer sa contribution au maintien des territoires
- accompagner la transition agro-écologique et l'adaptation aux changements (climatiques, alimentaires...)
- renforcer la résilience et l'adaptation des systèmes

face aux aléas

- démarquer les produits issus de l'herbe et proposer de nouveaux circuits de valorisation

Le LIT contribue à une mise en réseau des acteurs du développement et du territoire, de la recherche, des institutions et des entreprises. Son rôle de médiation et de capitalisation donnera une visibilité large des résultats à l'échelle des Massifs.

Contact : celine.ottogali@inrae.fr, UMR UREP



Protéger les prairies permanentes : une priorité pour la biodiversité et l'agroécologie



Une étude menée par des chercheurs de l'institut INRAE et du CNRS dans le Sud-Ouest de la France montre que la disparition passée des prairies permanentes au profit des cultures annuelles a des effets rémanents observables sur plus de 20 ans sur la biodiversité d'aujourd'hui. Leurs résultats appellent à sanctuariser les prairies permanentes afin de freiner le déclin de la biodiversité. Considérées comme une véritable richesse patrimoniale, ces prairies pourraient préserver le potentiel agroécologique au sein des paysages agricoles. Dans une autre étude, les chercheurs avaient montré également le rôle essentiel des espèces rares et l'importance de les préserver afin de protéger l'intégrité du fonctionnement des écosystèmes et leur multifonctionnalité.

Contact : nicolas.gross@inrae.fr, UMR UREP



Faits marquants

➤ 02

La biologie des plantes





➤ Les plantes sentent leur propre forme



Tous les organismes vivants changent de forme, notamment pendant leur développement. La proprioception est la perception de soi, ou la perception de la déformation de son propre corps. Ce concept a été initialement défini pour la locomotion chez les animaux : des capteurs de l'étirement sont présents dans les muscles et informent le système nerveux central pour réguler en retour le mouvement des membres. Bien qu'elles n'aient pas de système nerveux central, le concept de proprioception a été étendu aux plantes. En effet, les plantes peuvent aussi ressentir leur propre élancement et flexion, notamment par la perception des changements d'intensité et de direction des forces mécaniques au sein des tissus, notamment des tiges. Les chercheurs ont montré que la tubuline kinase NEK6, agit comme un régulateur négatif de la proprioception chez les plantes, grâce à une modulation de la réponse cellulaire aux forces. Dans les jeunes tiges de plante, les tissus internes en croissance tirent sur l'épiderme. Les cellules de l'épiderme résistent à ces contraintes mécaniques : les microtubules (des filaments protéiques sous la membrane cellulaire) guident le dépôt de microfibrilles de cellulose dans la paroi cellulaire, dans la direction des contraintes mécaniques. Les cellules de l'épiderme se renforcent alors dans la direction des contraintes.

Les plantes mutantes pour NEK6 (qui n'expriment pas ce facteur) deviennent « hyperproprioceptives » : elles perçoivent trop leur propre forme et leur propre croissance. Cela conduit à un mode de croissance en « stop & go », un peu comme un jeune conducteur qui accélérerait et freinerait trop vite, étant trop sensible à la vitesse de sa voiture. Les mutants NEK6 présentent également d'autres défauts tels qu'un excès de courbure en réponse à la gravité : elles plient trop leur tige, formant même parfois un cercle complet.

Sur le plan du mécanisme biologique associé, et en collaboration avec l'équipe d'Hiroyasu Motose (Université d'Okayama, Japon), les chercheurs ont constaté que NEK6 dépolymérise préférentiellement les microtubules alignés avec les contraintes mécaniques. Ce facteur rend les cellules moins capables de réorienter leurs microtubules et leur cellulose le long des contraintes. Il y a ainsi des retards dans la réponse globale, mais ces retards permettent à la plante de moyenner les réponses sur de plus longues durées, au lieu de répondre au quart de tour. Le patron de croissance de la plante est ainsi « lissé », ce qui conduit à avoir des tiges qui poussent droit et de façon plutôt continue. En d'autres termes, les retards aident la plante à ne pas être trop sensible aux changements de sa propre forme et à canaliser son élancement : la proprioception doit être « modérée ».

L'étude a ainsi dévoilé un nouvel acteur de la voie de la mécano-transduction végétale, sous la forme d'un régulateur négatif de la réponse des microtubules aux contraintes mécanique. Cette étude constitue une avancée clé dans notre compréhension de la façon dont les plantes surveillent leur propre forme.

Contact : olivier.hamant@ens-lyon.fr, UMR RDP

➤ Les insectes tolèrent leurs partenaires bactériens en clivant leurs molécules immunogènes

Les bactéries symbiotiques sont essentielles à la santé et la survie de tous les organismes vivants. Cependant, elles représentent un challenge immunitaire permanent pour leur hôte. En effet, les molécules immunogènes qu'elles sécrètent peuvent activer une réaction immunitaire de l'hôte. Une équipe lyonnaise s'intéresse aux mécanismes moléculaires qui contrôlent la prolifération des bactéries symbiotiques et qui maintiennent l'homéostasie immunitaire de l'organisme hôte. Les chercheurs ont découvert que les insectes qui évoluent avec des bactéries bénéfiques intracellulaires ont développé une stratégie leur permettant de rester en « harmonie immunitaire » avec leurs partenaires bactériens. Comment ? Les insectes dégradent les molécules bactériennes qui ciblent les récepteurs de l'immunité innée, et empêchent ainsi une activation immunitaire permanente.



Contact : abdelaziz.heddi@insa-lyon.fr, UMR BF2I



➤ L'origine des blés modernes révélée



Décryptage de la diversité

Ces dernières années, nos chercheurs ont coordonnés deux projets internationaux ayant permis la caractérisation au niveau le plus fin de la diversité génétique mondiale du blé. Ainsi, la partie exprimée du génome d'un panel de près de 500 variétés de 68 pays, couvrant l'aire géographique de pro-

duction de blé au niveau mondial, a été séquencée. Le génotypage par puce de plus de 4 500 accessions de blé a également permis de retracer l'origine des blés modernes, en apportant un éclairage nouveau sur la structuration de la diversité génétique mondiale et son évolution, depuis le Néolithique jusqu'à nos jours. L'analyse de cette diversité est précieuse pour implémenter les prochains programmes de sélection, et exploiter de façon la plus appropriée les ressources génétiques afin de répondre au mieux aux nombreux défis auxquels est confrontée l'agriculture.

L'histoire évolutive du blé

La comparaison des séquences de 41 032 gènes des variétés de blés modernes avec ceux de leurs ancêtres sauvages a permis de retracer l'histoire évolutive du blé. Celle-ci est composée d'une succession de processus d'hybridations et de flux de gènes entre les ancêtres à différents niveaux de ploïdie qui, sur plusieurs millions d'années, ont façonné les blés modernes. Ces hybridations successives sont considérées comme un moteur de l'adaptation du blé en brassant de manière récurrente la diversité pouvant ainsi conduire à l'apparition de nouvelles lignées mieux adaptées à leur environnement. Un tel brassage pourrait être à l'origine de la capacité du blé à avoir été cultivé sur l'ensemble des continents avec des conditions environnementales et pédoclimatiques variées.

L'analyse de la diversité sur un panel de 4 506 accessions de blé constitué de populations de pays, de cultivars anciens et de variétés modernes, a permis, quant-à-elle, d'étudier l'évolution de la diversité depuis l'apparition du blé tendre. Elle met ainsi en évidence une structuration de la diversité originelle en huit sous-populations issues de la migration à partir du Croissant Fertile, vers l'Europe et l'Asie. Elle montre également que la diversité génétique mondiale s'est structurée à partir de cette diversité originelle, au gré de l'histoire des populations humaines (migration, colonisation, commerce...).

Contact : jerome.salse@inrae.fr, UMR GDEC

➤ Comment les plantes perçoivent la verticalité même quand elles sont agitées par le vent ?

Nous partageons avec la plupart des plantes la station debout, verticale. Nous contrôlons la verticalité de notre posture grâce à une perception de la gravité au sein de notre oreille interne, où un ensemble de petits « cailloux » pris dans un gel reposent sur des cils mécanosensibles. Les plantes elles aussi possèdent un système très précis de perception de leur orientation par rapport à la verticale, mais il est miniaturisé. Il s'agit d'un tas de petits grains d'amidon appelés statolithes au sein de cellules spécialisées, les statocytes, et qui sont distribuées tout au long des tiges des plantes. Un « sablier » pour mesurer précisément des angles ? Comment est-ce possible ? Les chercheurs ont montré que ces grains sont agités activement en permanence dans les cellules végétales, ce qui confère au système granulaire des propriétés proches de celles d'un liquide, si l'inclinaison est suffisamment durable, d'où sa précision.

Toutefois, une différence a attiré l'attention des scientifiques : si nous sommes secoués nous perdons le sens de la verticalité. De même un niveau à bulle ne peut plus être efficace. Or, les plantes sont très souvent agitées par le vent, sans pour autant perdre le sens de la verticale. Comment font-elles pour ne pas - comme

nous - avoir « la tête qui tourne » ? Des chercheurs ont réalisé un « manège à plantes » en disposant une chambre de culture de plantes sur une centrifugeuse à deux axes de rotation, similaire à celles

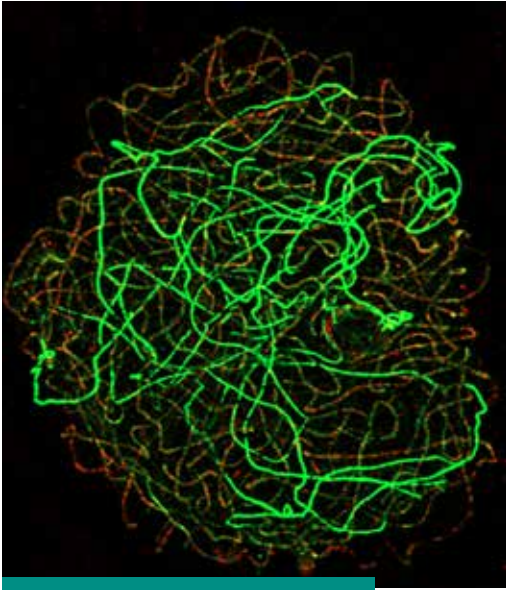
utilisées pour entraîner les astronautes, et suivi de manière précise les mouvements de redressement des plantes. Ils ont pu montrer qu'à la différence de notre oreille interne, les plantes sont capables de percevoir leur inclinaison par rapport à la gravité apparente, résultant de la combinaison entre gravité terrestre et accélération centrifuge, sans être affectées par l'intensité des forces gravitationnelles ou inertielles qu'elles subissent. C'est qu'à cette vitesse les tas de grains au sein du cytoplasme qui est visqueux ne peuvent pas bouger beaucoup. Les plantes peuvent ainsi osciller fortement dans le vent sans confondre ce balancement avec une perte durable de verticalité.



Contact : bruno.moulia@inrae.fr, UMR PIAF



Séquençage des génomes d'espèces d'intérêt agronomique : 2 succès mondiaux



Le génome du blé enfin décodé !

Fruit du travail de plus de 200 scientifiques issus de 73 instituts de recherche de 20 pays, la séquence de référence a été annoncée par le Consortium international de séquençage du génome du blé (IWGSC). Cette ressource fournit de précieux outils pour répondre aux défis de l'agriculture, puisqu'elle permettra notamment d'identifier plus rapidement les gènes contrôlant des caractères d'intérêt agronomique. Ce travail est un véritable exploit scientifique en raison de la taille et de la complexité de ce génome, 5 fois plus gros que le génome humain. L'idée, née dans les années 2000, semblait un peu folle à l'époque. Et dès le départ, les chercheurs clermontois ont été pionniers et leaders dans cette entreprise... planétaire. C'est également une étape majeure au plan fondamental, pour comprendre le fonctionnement et l'évolution de ce génome complexe. L'analyse de la séquence a conduit, entre autres, à la localisation pré-

cise de plus de 107 000 gènes, parmi lesquels des gènes potentiellement impliqués dans la qualité du grain, la résistance aux maladies ou la tolérance à la sécheresse. Elle a également permis de développer plus de quatre millions de marqueurs moléculaires dont certains sont déjà utilisés dans des programmes de sélection.



Contact : etienne.paux@inrae.fr, UMR GDEC

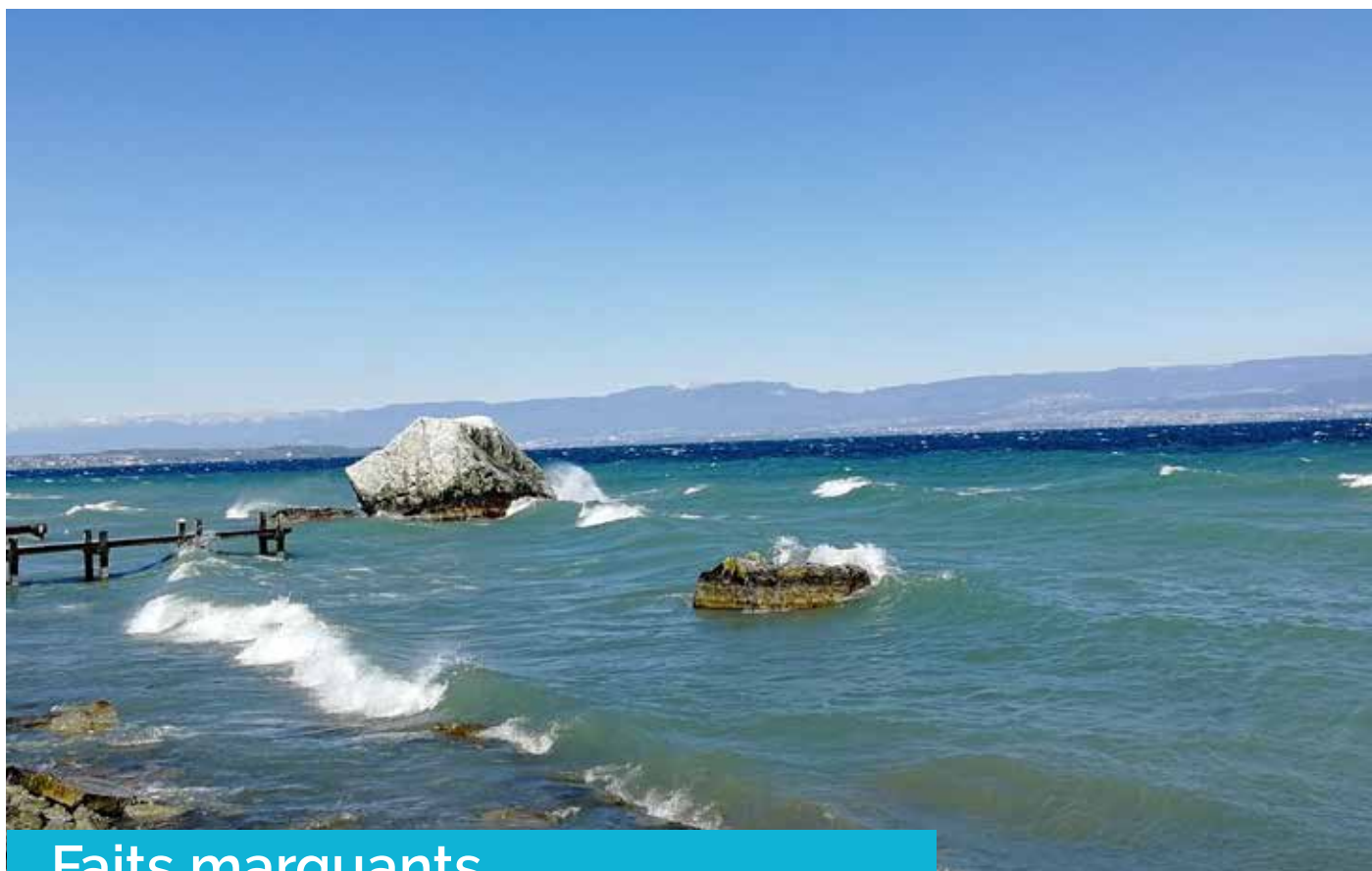


Le génome de la rose décrypté !

De l'origine des rosiers modernes aux caractéristiques de la fleur célébrée depuis l'Antiquité par de nombreux artistes, appréciée pour son parfum et la beauté de sa fleur, la rose est aujourd'hui la fleur coupée la plus achetée en France tandis que le rosier est une plante ornementale incontournable de nos jardins et de nos balcons, fruits de nombreux croisements et hybridations. Grâce à un consortium international impliquant INRAE, le génome du rosier a été décrypté, une étape essentielle pour comprendre sa biologie et l'origine de sa diversité. Ces travaux ont permis de retracer les contributions respectives des rosiers européens et chinois au génome du rosier moderne et d'identifier l'ensemble des gènes impliqués dans les voies de biosynthèse

du parfum et de la couleur. La comparaison du génome de référence (36377 gènes) du genre *Rosa* avec ceux d'autres espèces de la famille des Rosacées (fraisier, framboisier, pommier, poirier, pêcher, prunier...) a par ailleurs montré que le rosier, le fraisier et le framboisier sont évolutivement très proches. L'histoire de la rose au sein de la famille des Rosacées a pu être reconstituée. Les résultats obtenus constituent ainsi une base solide pour démêler les mécanismes moléculaires et génétiques qui régissent les caractères du rosier et leur diversité, et ils contribueront à accélérer le travail de sélection et l'amélioration de la reine des fleurs.

Contact : mohammed.bendahmane@ens-lyon.fr, UMR RDP



Faits marquants

➤ 03

L'écologie & les écotechnologies associées à l'eau





Le changement climatique modifie la biodiversité autour des glaciers



Avec leur basse température et leur faible disponibilité en nutriments, les environnements proches des glaciers ont longtemps été considérés comme hostiles. Si les écosystèmes qui se développent à proximité des glaciers présentent une faible diversité, ils sont constitués d'espèces uniques adaptées à ces milieux extrêmes et sont particulièrement sensibles au changement climatique.

Jusqu'à présent, ces écosystèmes n'ont été étudiés qu'à l'échelle locale et leur évolution reste mal connue. Pour comprendre cette évolution à l'échelle globale, des chercheurs ont mené une méta-analyse sur les résultats de 234 publications. En compilant plus de 2100 observations, les auteurs ont comparé, pour la première fois, l'effet de la fonte des glaciers sur les trois principaux écosystèmes influencés par des glaciers: les fjords (milieux marins), l'eau douce (rivières et lacs glaciaires) et les marges pro-glaciaires (milieux terrestres).

L'étude montre que 6 à 11 % des populations étudiées seraient menacées par le retrait des glaciers, principalement des invertébrés et des organismes unicellulaires, en particulier dans les fjords. Par exemple, le foraminifère *Cassidulina reniforme* dans les fjords, l'arthropode *Diamesa davisii* en eau douce ou le coléoptère *Nebria nivalis*. Il s'agit, pour la plupart, d'espèces spécialistes qui sont totalement adaptées aux conditions extrêmes des glaciers, mais peu compétitives et vulnérables à la modification de leur environnement et à la colonisation de leur milieu par d'autres espèces. A l'inverse, l'étude a permis de constater qu'il y a des espèces généralistes, qui vont proliférer et venir coloniser ces nouveaux milieux, dont les conditions seront rendues plus favorables à leur développement par le retrait des glaciers. On peut citer parmi elles certaines espèces d'annélides, ou d'arthropodes pour les milieux aquatiques, et de plantes vasculaires, mousses ou champignons dans les marges pro-glaciaires. A l'échelle locale, proche des glaciers, l'analyse suggère que la biodiversité va probablement augmenter avec leur disparition, les milieux étant plus favorables au développement de nombreuses espèces qui se situaient plus en aval. Cependant, à l'échelle globale, la disparition des espèces spécialistes des milieux glaciaires risque d'entraîner une homogénéisation des communautés et donc un appauvrissement de la biodiversité à l'échelle régionale.

Contact : sophie.cauvy-fraunie@inrae.fr, UR RiverLy



Alerte sur l'état des grands lacs du monde !

En réponse à l'alerte "Scientist warning to Humanity" lancée par William Ripple* en 2017, les scientifiques de l'UMR Carrel et un collectif international tirent de nouveau la sonnette d'alarme.

En effet, dans une étude qu'ils ont récemment menée, les scientifiques présentent une évaluation des menaces qui pèsent sur les grands lacs, avec un recul de plusieurs décennies, et en lien avec les activités anthropiques. En outre, l'analyse des archives sédimentaires lacustres suggèrent que les lacs se sont écartés de leur trajectoire naturelle depuis quelques dizaines d'années, en écho à la « grande accélération de l'anthropocène » identifiée plus généralement vers les années 1950 (Crutzen, 2002).

Les chercheurs tirent aussi les leçons pratiques de la gestion antérieure, car de nombreux grands lacs sont des écosystèmes où des efforts conséquents ont été consentis pour maintenir les services essentiels comme l'eau potable : les efforts de restauration ont souvent porté leurs fruits, même si la restauration complète est difficile à atteindre et si les situations

restaurées restent fragiles. Les situations, fonctionnements, et historiques des lacs étant très variables, chaque lac nécessite par ailleurs des

stratégies adaptées à sa situation particulière. L'étude à la base de cette alerte fait également suite au symposium « Big Lakes, Small World », qui s'est tenu à Evian en septembre 2018 et qui a réuni les scientifiques travaillant sur les grands lacs du monde, des écosystèmes majeurs.

*Ripple est l'auteur principal de l'avertissement des scientifiques internationaux à l'Humanité, visant à alerter sur les impacts du réchauffement climatique et des activités humaines sur les habitats critiques de la terre.



Contact : Jean-Philippe.Jenny@inrae.fr, UMR CARTEL



Faits marquants

> 04

Les territoires & les socio-écosystèmes





Modéliser l'évolution des systèmes socio-écologiques pour les gérer durablement



Les actions humaines et les systèmes écologiques évoluent continuellement via des dynamiques de rétroaction complexes et interdépendantes ; cela rend la pleine compréhension des interactions entre le système social et le système écologique d'autant plus difficile que chaque système est souvent étudié de manière séparée. De plus, les processus non linéaires qui caractérisent à la fois les dynamiques sociales et écologiques réduisent la capacité des chercheurs et des décideurs à identifier les stratégies de gestion qui maintiennent ou rétablissent la durabilité des systèmes socio-écologiques (SSE).

Identifier les voies ou trajectoires de transition par lesquelles un système socio-écologique passe d'un état à un autre présente un défi majeur pour la gestion de ce système. Un point important concerne la dynamique des « points de basculement » : leur étude permet de mieux appréhender l'évolution des socio-écosystèmes vers des transitions durables. Les recherches actuelles analysent principalement comment le franchissement des points de basculement peut provoquer l'effondrement des systèmes (exemple des quotas de pêche empêchant le dépassement d'un certain seuil).

Via un modèle expérimental d'un système composé d'agents en interaction exploitant des ressources d'un écosystème, des chercheurs INRAE ont analysé les voies de transition et les résultats potentiels auxquels ceux-ci peuvent conduire. Ils ont montré que la présence de certains points de basculement du SSE peut

donner lieu à des voies de transition socio-écologiques contre-intuitives. Par exemple, la perception d'un état écologique alarmant peut apporter des avantages écologiques à court terme, mais peut-être moins efficace et moins pertinent sur le long terme.

Le but de l'étude était aussi de mieux comprendre comment une diversité de comportements socio-économiques peut conduire à des changements soudains des systèmes socio-écologiques et d'analyser les voies de transition impliquées. Ainsi, les chercheurs ont montré via le modèle que les points de basculement « sociaux » peuvent être des moteurs essentiels pour les différentes transitions écologiques, au-delà des processus écologiques eux-mêmes. Ce travail souligne aussi l'importance de comprendre les interactions non linéaires pour définir des voies de transition pertinentes et durables pour tout socio-écosystème.

Contact : jean-denis.mathias@inrae.fr , UR LISC



Territoire et alimentation : un exemple réussi de partenariat acteurs-chercheurs pour un projet alimentaire territorial

Des chercheurs du Centre Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes en partenariat avec les acteurs des territoires du Grand Clermont et du Parc Naturel Régional (PNR) Livradois Forez, ont étudié les processus de territorialisation de l'alimentation, les dynamiques d'évolution des territoires ruraux et métropolitains, et notamment la question d'une gouvernance alimentaire locale adaptée aux territoires et à leurs enjeux dans le cadre du projet PSDR* régional INVENTER*.

Une partie de ce projet a consisté à interroger les processus de gouvernance dans les démarches relevant de la territorialisation de l'alimentation : qui sont les acteurs en présence ? Quelles ressources mobilisent-ils ? Comment se coordonnent-ils ? Pour répondre à ces questions, les chercheurs se sont intéressés à une diversité d'initiatives en Auvergne : des actions collectives de type « filière territorialisée », visant la valorisation d'une production locale en s'appuyant sur les ressources spécifiques du territoire, ainsi que des démarches initiées par des acteurs de la société civile et/ou des acteurs publics, s'inscrivant dans un objectif de proximité entre producteurs et consommateurs. Ces analyses ont permis de spécifier la contribution de différents types d'acteurs (comme par exemple la Grande Distribution) à la territorialisation de l'alimentation et, ce faisant, au développement territorial. De plus, des facteurs communs d'émergence et de développement de ces initiatives sont apparus : l'adéquation du projet avec les enjeux du territoire, la capacité des acteurs parties-prenantes à allier les ressources du territoire avec les outils réglementaires et financiers ainsi que les réseaux disponibles à l'échelle nationale et européenne, ou encore la mise en place d'outils ou de modalités de coordination favorables à l'engagement d'acteurs dans la durée.

Le projet PSDR aura par exemple été à l'origine de la mise en place d'un Projet Alimentaire Territorial (PAT) sur les territoires des deux partenaires principaux : PNR et PGC (Pays du Grand Clermont). Ce projet vise à offrir aux populations une alimentation saine, de qualité, accessible à tous, issue de circuits de proximité et contribuant au développement d'une agriculture rémunératrice pour l'agriculteur et respectueuse de l'environnement. Tous les types de produits alimentaires issus du territoire étaient concernés (maraîchage, élevage, céréales...). Les chercheurs ont contribué à la fois à l'élaboration du PAT (entre 2017 et 2018) et à sa mise en œuvre (depuis 2018). Forts des échanges avec les chercheurs (du fait de leurs analyses du processus et de leur implication concrète), les maîtres d'ouvrage (PGC et PNR) ont modifié leur approche du PAT, en abordant l'alimentation de manière globale, en s'appuyant sur d'autres acteurs complémentaires de ceux initialement identifiés pour le montage du projet,

et finalement en élargissant la gouvernance du projet. Aujourd'hui le programme d'action est en cours, avec l'appui de la recherche, et un comité scientifique est mis en place pour que les apprentissages croisés produits précédemment puissent se poursuivre. Finalement, la recherche-action mise en œuvre dans le cadre du PSDR INVENTER a assuré plusieurs transitions : passage d'une multitude d'initiatives alimentaires présentes sur le territoire à une gouvernance inclusive de l'alimentation à l'échelle d'un large territoire, à la fois urbain et rural ; passage de l'identification d'enjeux relatifs à l'alimentation (enjeux foncier, de développement de réseaux de connaissances sur les pratiques agricoles, restauration collective, etc.) à des actions concrètes ; passage des interactions Chercheurs-Acteurs à l'accompagnement des processus de production de connaissances et de connaissances pour l'action, et enfin modalités d'apprentissage collectif. Le cadre du projet PSDR a favorisé la valorisation de ces résultats en connaissances actionnables par les acteurs, en particulier dans le cadre de plaquettes didactiques, disponibles sur le site PSDR. D'autres porteurs de projets peuvent s'en inspirer pour initier sur leur territoire la transition alimentaire.

Contact : sylvie.lardon@inrae.fr, UMR Territoires

*Projet PSDR INVENTER : Inventons nos territoires de demain. Nouveaux modèles de développement des territoires ruraux et périurbains – 2016-2020 (<https://www6.inrae.fr/psdr-inventer/>)





> Impact économique de la recherche agricole française

L'évaluation de l'impact des investissements publics en recherche appliquée présente un grand intérêt dans un contexte où l'impact de ces investissements doit être justifié par rapport à d'autres usages des fonds publics. Les chercheurs ont évalué l'impact économique de la recherche agricole française entre 1959 et 2012. Cette recherche se situe dans la lignée de nombreux travaux réalisés notamment en Amérique du Nord et visant à expliquer l'évolution de la productivité agricole par les investissements en recherche, en tenant compte des délais entre ces investissements et leur impact économique.



L'analyse montre que l'effet des stocks de connaissances sur la productivité sont très positifs et significatifs. Cet effet permet de calculer un taux de rendement interne des investissements en recherche de 22 % sur l'ensemble de la période, valeur qui est proche des estimations récentes faites pour d'autres pays (ex : Etats-Unis, Australie). L'analyse met également en évidence une baisse significative et durable de l'impact de la recherche agricole dans les années 70, révélant un changement de régime avec un passage d'innovations majeures dans les décennies d'après-guerre vers des innovations plus marginales.

Un prolongement de ce travail serait d'évaluer l'impact de la recherche sur différents indicateurs représentatifs de l'évolution des missions de la recherche publique agricole, ce qui reviendrait à étudier les effets sur l'alimentation et l'environnement, en complément des effets sur la productivité.

Contact : stephane.lemarie@inrae.fr, UMR GAEL

> Les capteurs connectés en agriculture, vus de l'agriculteur



L'agriculture est un secteur traditionnellement ouvert aux nouvelles technologies. Toutefois, l'outil technologique reste une aide à la prise de décision de l'agriculture et non un but. Si ces technologies permettent dans certains cas de réduire les durées de travail, c'est surtout la souplesse des horaires de travail qui est améliorée. Bien que ces technologies apportent beaucoup d'information, qu'il faut pouvoir utiliser et comprendre, elles peuvent également être une source de stress du fait des alertes, donnant l'impression d'être toujours lié à la ferme, et des pannes. Des éleveurs mettent en place des pratiques relationnelles pour conserver une proximité avec les animaux (amener les génisses au robot de traite, caresser les truies, etc.). Les données consultées sur l'ordinateur complètent l'observation directe des animaux par les éleveurs mais ne la remplacent pas. Les technologies

permettent de rendre le métier plus attractif et plus moderne, mais les formations sont indispensables pour bien maîtriser leur utilisation sur la ferme.

Contact : nathalie.hostiou@inrae.fr, UMR Territoires



Faits marquants

➤ 05

Les risques naturels, sanitaires & environnementaux





➤ La recherche se mobilise face au risque « tiques »



tillonnés mensuellement depuis 2014 (projet CLIMATICK). L'analyse de ces données en relation avec la météorologie permettra de comprendre l'évolution avec le changement climatique (plus actives en hiver et à plus haute altitude). Par ailleurs, les chercheurs suivent la progression vers le nord d'une nouvelle espèce de tiques (*Hyalomma marginatum*) d'origine africaine, vecteur d'un virus hémorragique pas encore observé sur le territoire.

- Plusieurs chercheurs étudient également la distribution et la diversité génétique d'agents pathogènes dans ces tiques, ainsi que les hôtes qu'elles utilisent, pour mieux caractériser le risque infectieux associé. Cette thématique « Tiques » est propice au développement de projets de science participative. Pour aborder l'exposition humaine aux piqûres de tiques et le risque tique, les chercheurs de l'UMR EPIA sont impliqués dans le projet CITIQUE pour mieux

Les tiques représentent des vecteurs majeurs d'agents pathogènes pour les populations humaines et animales en Europe. Elles sont une cause importante d'inquiétude de la population et de risques sanitaires, amplement relayés par les médias. Les objectifs des recherches de l'UMR EPIA (Epidémiologie des maladies animales et zoonotiques) sont d'améliorer la surveillance et la prévention des maladies à tiques, dans un contexte de changements environnementaux et d'évolution de la fréquentation de la nature. Le risque de transmission de maladies à tiques est la résultante du danger et de l'exposition au danger. Les projets de recherche abordent ces deux niveaux : le danger, par l'étude de la présence de tiques infectées et leur prévalence au sein de la population de tiques ; l'exposition à ce danger, par l'étude de la présence de l'homme dans des zones où la tique est également présente.

Les équipes auvergnates travaillent en particulier sur *Ixodes ricinus*, principale espèce de tiques qui pique les humains en France et responsable entre autres de la transmission de la maladie de Lyme. Les chercheurs tentent de caractériser la distribution spatiale et temporelle et la fréquence de leur infection par différents agents pathogènes.

- L'étude de la variation spatiale des abondances de tiques permettra d'établir une carte de « favorabilité » de l'espèce au niveau national (projet CARTOTIQ). D'un point de vue plus local, nous identifions les caractéristiques des parcs urbains de la métropole lyonnaise (projet ERATIQ) et des paysages agricoles les plus favorables aux populations de tiques (projet OSCAR, coordonné par l'UMR BIOEPAR à Nantes).

- La variation temporelle d'activité des tiques est étudiée à partir d'un dispositif de 8 sites en France échan-

comprendre les maladies à tiques (signalement de piqûres sur smartphone, Appli. « Signalement tique ») et les milieux favorables aux tiques. Ce projet a par exemple montré l'importance des jardins comme lieux de piqûre. Il s'agit maintenant de caractériser le type de jardins incriminés. Un réseau de randonneurs et d'associations de randonneurs (projet FREQRANDO), qui sont une population à risque d'être piquée, est en cours de constitution, pour connaître la fréquentation des chemins de randonnée. Ces informations pourront être combinées à celle du projet CARTOTIQ.

En ce qui concerne la prévention de la maladie de Lyme, le projet DAPPEM (coordonné par le CHU de Clermont-Ferrand/LMGE*) vise à la mise au point d'une application mobile, destinée à analyser automatiquement les photos de taches rouges afin d'identifier s'il s'agit d'érythèmes migrants (signe précoce et caractéristique de la maladie de Lyme). Cette application permettrait d'alerter rapidement les utilisateurs afin d'entamer un parcours de santé adéquat.

Les chercheurs s'appuient à la fois sur des dispositifs d'observation (récolte de tiques dans l'environnement par exemple), d'identification automatisée des genres de tiques, de science participative, et peuvent avoir recours à des techniques de modélisation, d'Intelligence Artificielle, ou encore de microbiologie, voire d'études cliniques. Tous ces projets sont menés en partenariats avec d'autres unités de recherche, des partenaires privés ou des collectivités locales.

Site web de l'UMR EPIA :
<http://epia.clermont.inrae.fr/www/tiques-maladies/>

* Laboratoire Microorganismes : Génome Environnement UMR UCA/CNRS



Tuberculose bovine en France : une situation sanitaire à suivre de près



La tuberculose bovine est une maladie bactérienne qui affecte principalement les bovins et peut se transmettre à l'homme. La France a obtenu le statut européen « indemne » de cette maladie depuis 2001. Cependant, ce statut pourrait être remis en cause car le nombre de foyers identifiés en France est en augmentation et se rapproche du seuil réglementaire. Dans ce contexte, la surveillance et la gestion des foyers sont primordiales.

Les membres de l'UMR EPIA au sein de la Plateforme régionale d'épidémiosurveillance en santé animale (ESA) ont contribué à différents travaux sur la surveillance de la maladie (<https://www.plateforme-esa.fr/page/thematique-tuberculose>). En particulier, en 2019, ils ont participé à la publication d'un bilan de la surveil-

lance de la tuberculose bovine entre 2015 et 2017 en France métropolitaine.

Pendant cette période, le système de surveillance a permis d'identifier 286 nouveaux foyers de tuberculose bovine en élevage. Le taux d'incidence (nouveaux foyers) annuel national était quant à lui stable autour de 0,05 % des troupeaux bovins. Le taux de prévalence (foyer en cours) annuel a augmenté faiblement, pour atteindre 0,1 % en 2017. La situation sanitaire n'est pas homogène sur le territoire métropolitain puisque quatre zones concentrent la majorité des foyers : le Sud-Ouest (206 foyers), la Corse (29 foyers), la Côte-d'Or (27 foyers) et la Normandie (12 foyers). Ces zones sont caractérisées par des contextes et des situations épidémiologiques variés.

Si cette infection reste rare en France, la situation actuelle ne tend pas vers l'objectif du maintien du statut « indemne » et de l'éradication souhaités. L'ensemble des parties prenantes déploient des efforts importants pour gérer la situation sanitaire, tant en matière de surveillance que de lutte. Le collectif de l'UMR EPIA participant à la Plateforme ESA a donc un rôle d'appui important à jouer pour accompagner les efforts de surveillance à la suite de cet état des lieux.

Contact : camille.delavenne@inrae.fr, UMR EPIA



Comprendre le ressaut des avalanches

Une équipe d'INRAE radiographie le phénomène des avalanches, dans le but d'améliorer le dimensionnement des digues paravalanches. Lorsqu'une avalanche suffisamment rapide rencontre un obstacle, par exemple une digue de protection, il se forme une vague qui peut remonter la pente. Le dimensionnement des paravalanches doit prendre en compte ce ressaut pour éviter les débordements. Or, si le phénomène est bien connu et décrit pour l'eau, il n'en va pas de même avec la neige. « C'est un matériau plus compliqué que l'eau. D'une part elle est compressible, en particulier à l'impact, d'autre part les frottements entre les grains dissipent une partie de l'énergie du flux. Les ressauts de neige n'ont donc pas les mêmes propriétés », explique l'un des chercheurs.

En utilisant la radiographie X dynamique, une technologie innovante, les chercheurs ont pu mesurer la densité de l'écoulement dans toute son étendue et montrer comment elle évolue dans le temps au contact d'un obstacle. Ainsi, à l'aide de l'analyse du comportement d'un flux de billes de verre rencontrant un obstacle, l'impact de la compressibilité de la neige sur la géométrie du ressaut, et par conséquent sur la hauteur des ouvrages nécessaires pour arrêter les écoulements, a été mis en évidence.

Outre la mise à jour du guide de référence européen pour le dimensionnement des paravalanches, des actions de transfert ont été programmées pour intégrer ces données dans la conception des digues.



Contact : thierry.faug@inrae.fr, UR ETNA



Changement climatique et altération du régime des crues

Les inondations dues aux crues des rivières causent des dégâts considérables : au niveau mondial, l'estimation de leur coût annuel dépasse les 100 milliards de dollars, un chiffre qui continue d'augmenter. Mais dans quelle mesure le changement climatique affecte-t-il l'intensité des crues ?

Une étude internationale publiée dans *Nature*, montre des évolutions significatives des débits de crue sur la base de 3738 stations hydrométriques réparties en Europe sur une période de 50 ans (1960-2010). INRAE y a contribué en apportant son expertise sur les stations hydrométriques et sur l'impact du changement climatique sur les régimes des cours d'eau. Aucune évolution commune affectant le régime des crues ne se dégage des observations : l'Europe présente des tendances à la fois à l'augmentation ou à la diminution de l'intensité des crues. L'absence de consensus sur les changements – constatée également sur une étude de la saisonnalité des crues publiée dans *Science* (Blöschl et al., 2017) – est la conséquence d'évolutions climatiques régionales différenciées, d'interactions complexes (parfois de compensation) entre des processus physiques à l'origine des crues, etc.

L'étude montre des évolutions contrastées : sur les cinq décennies analysées, les tendances vont d'une diminution du pic des crues jusqu'à -23% à une augmentation jusqu'à +11% sur l'ensemble du continent européen. En France, le Nord (jusqu'au bassin versant de la Loire) est en partie concerné par la tendance à l'augmentation des crues constatée sur la partie Nord-Ouest de l'Europe.

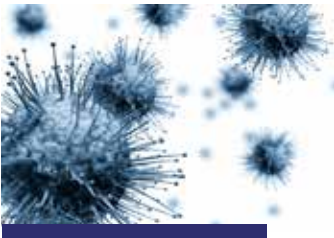


Une étude complémentaire impliquant également INRAE (Tramblay et al., 2019) a été menée sur les fleuves côtiers méditerranéens, identifiant une tendance à la diminution des crues fréquentes sur ce secteur malgré une augmentation constatée des précipitations extrêmes.

Contact : eric.sauquet@inrae.fr, UR RiverLy



Des recherches sur les risques sanitaires émergents



A l'heure où la COVID-19 occupe la scène internationale et impacte profondément notre quotidien, se pose déjà la question de la prochaine émergence.

La pandémie actuelle

illustre clairement les liens entre santé des animaux, santé de l'environnement et santé humaine et souligne la nécessité d'avoir une approche intégrative et multidisciplinaires (le concept One Health, une seule santé) pour répondre aux défis sanitaires de demain. En effet, selon les chiffres de l'OIE (Organisation Internationale de la Santé Animale), 60% des maladies infectieuses humaines ont une origine animale, et 70% d'entre elles sont transmises par la faune sauvage. Ces risques s'accroissent avec la mondialisation, le changement climatique ainsi que les modifications de comportements humains qui offrent de nombreuses opportunités aux pathogènes de coloniser des territoires inhabituels et d'évoluer sous de nouvelles formes.

Parmi les différentes familles de virus, un groupe exceptionnellement diversifié de plus de 500 virus transmis à l'homme et à d'autres vertébrés par de multiples arthropodes vecteurs (moustiques, tiques, etc...) est sous haute surveillance. Nombre d'entre eux sont d'importants pathogènes émergents et réémergents qui représentent une menace mondiale pour la productivité agricole et/ou la santé publique, comme l'ont

récemment illustré les pandémies de Schmallenberg, de chikungunya et de Zika et les problèmes durables créés par les virus de la dengue (DENV) et du virus West Nile (WNV). Un récent cas autochtone de Dengue dans le département de l'Hérault cet été, souligne la capacité des moustiques en place à véhiculer ces virus. Deux autres arbovirus zoonotiques (passent de l'animal à l'homme) attirent beaucoup d'attention actuellement et sont classés par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) dans le Top 10 des pathogènes émergents susceptibles de causer de graves épidémies à l'avenir : le virus de la fièvre hémorragique du Congo (CCFH) et le virus de la fièvre de la vallée du Rift (RVFV). Outre la mise en place de réseaux de surveillance, il est nécessaire de développer en amont des travaux interdisciplinaires associant biologie, écologie, épidémiologie, modélisation, économie et sciences sociales, qui permettront une meilleure compréhension globale des maladies émergentes et donneront des outils pour mieux y faire face. Dans ce cadre, les travaux des chercheurs de l'UMR IVPC ont permis ces dernières années plusieurs avancées intéressantes sur certains virus ou maladies émergentes qui soulignent la capacité des virus à manipuler leur hôte.

Contact : fabienne.archer@univ-lyon1.fr, UMR IVPC



Faits marquants

> 06

La nutrition humaine





> 30 ans de recherches sur la sarcopénie et la dépendance de la personne âgée...



La prise en charge de la dépendance liée au vieillissement sera l'un des enjeux importants de la recherche en nutrition humaine au cours des prochaines décennies, étant donnée l'augmentation actuelle de la proportion de personnes âgées.

L'un des éléments responsables de la dépendance est la réduction de la mobilité induite par la sarcopénie ou fonte musculaire. Celle-ci est au centre des travaux de recherche de laboratoires d'INRAE, notamment de l'UMR UNH à Clermont-Ferrand depuis le début des années 90 et de l'UMR CarMeN à Lyon, mais aussi des 2 Centres de recherche en nutrition humaine d'Auvergne et de Rhône-Alpes. Ainsi ces différentes équipes de recherche ont mis en évidence une origine multifactorielle de la sarcopénie, incluant la sédentarité, la malnutrition, la dénutrition, les pertes de capacité de récupération musculaire et une diminution de l'absorption des protéines alimentaires au cours du vieillissement.

Les différentes avancées scientifiques issues de ses recherches

sont les suivantes :

- La nécessité d'augmenter l'apport en protéines alimentaires des personnes âgées (de 0.83 à 1.1 g/kg de poids /jour). Cette recommandation a été prise en considération par l'HAS (Haute Autorité de Santé) et intégrée au Programme National Nutrition Santé (PNNS).
- La mise en évidence de l'intérêt des protéines alimentaires à vitesse de digestion rapide et riches en un acide aminé essentiel : la leucine.
- L'intérêt de privilégier un apport important de protéines sur le repas de midi (80% de ses apports journaliers). Cette stratégie nutritionnelle a d'ailleurs été retenue par le Programme National pour l'Alimentation dès 2010.
- Les matrices alimentaires dans lesquelles les protéines sont consommées et leurs modifications par la chaleur ou les procédés de préparation (cuisson, gélification...) ont un impact sur leur assimilation/absorption ou efficacité tout court chez la personne âgée. Ceci est aussi intimement lié au rôle important de la santé bucco-orale et des capacités masticatoires des seniors.
- L'inflammation de faible intensité

ainsi que l'exposition chronique à des régimes gras et sucrés jouent un rôle déterminant sur le développement de la perte de muscle avec l'âge. Le rôle protecteur des oméga 3 et des bioactifs végétaux a été aussi étudié.

- L'effet d'une hormone fabriquée par l'intestin (appelée facteur de croissance des fibroblastes 19 -FGF19) a été mis en évidence. Elle est capable d'accroître la masse musculaire et de protéger de la sarcopénie chez la souris. L'observation d'une augmentation de la taille des cellules musculaires humaines en culture en présence de FGF19 suggère un potentiel de transfert à l'homme de cette découverte.

Toutes ces recherches ont permis de mieux comprendre les mécanismes responsables de la sarcopénie et de proposer des stratégies nutritionnelles adaptées, avec des propositions de produits optimisés en termes de matrices alimentaires mais également en termes de composition de différents nutriments. Pour aller plus loin, les chercheurs d'INRAE travaillent aujourd'hui sur l'optimisation de stratégies pour les seniors, qu'ils soient à la maison en santé, à la maison dépendants, en institution médicalisée ou à l'hôpital.

Parmi les pistes prometteuses, nous étudions maintenant la place des protéines végétales dans les menus, la chrononutrition - ou comment ingérer les différents nutriments dans la journée pour maintenir au mieux ses muscles, les stratégies pro ou pré-biotiques, la place du maintien de l'activité physique ou encore les moyens de prédiction de la sarcopénie pour une meilleure prise en charge.

Unités UNH et UMR CarMeN



Le potentiel des peptides bioactifs antioxydants issus d'os bovin

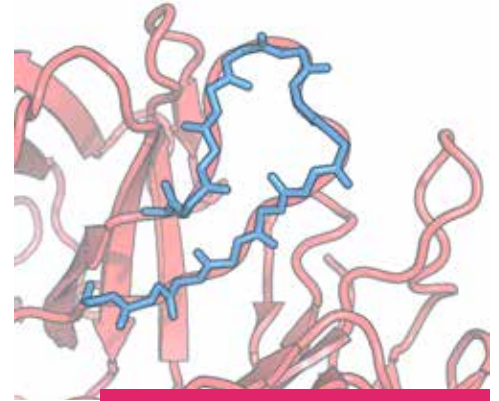
Les sous-produits issus de l'abattage d'animaux sont la source la plus abondante, et probablement la seule, de protéines fibreuses structurales et de protéines spécifiques à la matrice extracellulaire. Leur récupération via des procédés innovants pourrait répondre à une demande en nombreux produits biosourcés et biologiquement actifs, ayant des propriétés uniques et non transposables par synthèse chimique. En Europe, les sous-produits animaux sont très peu valorisés, et encore moins en France, malgré les importants gisements présents dans le pays. Parmi les produits biosourcés et bioactifs, les substances à activité antioxydante d'origine naturelle sont très demandées aujourd'hui, que ce soit dans le domaine alimentaire, cosmétique ou pharmaceutique.

Des peptides bioactifs issus d'os bovin pourraient répondre à ces besoins, et pourraient être utilisés, en particulier, pour accroître la qualité des produits carnés transformés et des produits laitiers. Ces peptides sont des fragments spécifiques (2 à 30 acides aminés) de la chaîne protéique, libérés via l'hydrolyse chimique ou enzymatique. L'os bovin issu de l'abattage d'animaux destinés à la consommation humaine, est l'un des résidus agro-alimentaires les plus abon-

dants. Il peut représenter une importante matière première pour la récupération de nombreuses substances d'intérêt. En effet, sa matière organique (30 %) est constituée de collagène (90 %) et de protéoglycanes (10 %) spécifiques au tissu osseux, et pourrait représenter une source importante de peptides bioactifs en vertu de l'important rôle biologique de ces classes de protéines.

Ces molécules, souvent inactives au sein de la protéine, peuvent moduler de nombreux mécanismes biochimiques et physiologiques une fois libérées et elles ont un fort potentiel pour remplacer des produits d'origine synthétique. Les peptides issus de l'hydrolyse des protéines de l'os bovin (collagène principalement) montrent notamment une activité antioxydante significative sur des systèmes modèles *in vitro* mais également sur des matrices alimentaires telles que la viande et le beurre. Elles pourraient remplacer de nombreux antioxydants de synthèse ou naturels, qui souvent ont un effet négatif sur le goût (plus astringent), sur la texture (perte d'eau plus importante), et qui ne sont pas résistants à la chaleur à cause de leur structure chimique.

L'utilisation des peptides bioactifs de collagène bovin pour des



aliments d'origine également bovine (viande et beurre) peut aussi représenter un avantage important en terme de « compatibilité biologique ».

Par ailleurs, il existe une réelle opportunité de pouvoir construire de nouvelles synergies industrielles, où les résidus de la filière viande représenteront des ressources pour d'autres filières, comme l'agro-alimentaire, la cosmétique et la pharmaceutique.

Contact : vincenza.ferraro@inrae.fr,
UR QuaPA



Ecosystèmes bactériens des produits laitiers

Arriver à une détermination jusqu'au rang de l'espèce est désormais possible grâce à une nouvelle base de données (10 000 occurrences), réalisée à partir de l'analyse de séquences d'ARN16S de bactéries spécifiques des fromages, laits et environnements laitiers (trayons, ferments...). Le grain est beaucoup plus fin que celui qui était proposé par d'autres bases jusqu'à présent. Cette base de données a été élaborée dans le cadre d'un partenariat international avec Agroscope (Liebefeld, Suisse). L'annotation précise des espèces permet d'obtenir une résolution phylogénétique intéressante pour des études écologiques en aval ou pour le diagnostic concernant les communautés microbiennes des aliments et plus particulièrement celles des fromages. On peut s'intéresser par exemple à l'évolution des espèces les unes par rapport aux autres, ou déterminer la présence ou l'absence de certaines communautés ou espèces dans un environnement donné.



Contact : christophe.chassard@inrae.fr, UMRF



➤ Prédire la qualité technologique du jambon



Le jambon cuit est un produit phare de la charcuterie française. La maîtrise de la qualité du jambon cuit est donc un enjeu majeur pour la filière professionnelle, et le principal problème rencontré lors de sa fabrication est le « défaut de déstructuration » qui peut atteindre jusqu'à 50% de la production. La déstructuration du produit n'est détectée qu'après désossage et engendre de lourdes pertes économiques notamment au moment du tranchage automatique des produits. Si les mécanismes d'apparition et de développement du défaut sont de mieux en mieux décrits, sa détection en amont de la transformation, voire dès l'élevage, restait un défi pour la filière.

Récemment, les chercheurs ont développé une mé-

thode de prédiction d'apparition du défaut de qualité de la déstructuration du jambon, basée sur une combinaison d'empreintes spectrales du plasma et de chimiométrie, grâce à des outils de haute technologie disponibles sur le Centre Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes. Sur des prélèvements sanguins de porcs, les empreintes spectrales par spectrométrie de masse et par spectroscopie infrarouge (ATR-FTIR) ont été acquises sur les plasmas et analysées.

Les capacités prédictives des deux méthodes spectrales se sont révélées complémentaires. En effet, la spectrométrie de masse MALDI-TOF a permis de discriminer les jambons sans défaut. La spectroscopie ATR-FTIR a permis de discriminer les jambons avec défaut de déstructuration. La combinaison des deux empreintes spectrales a été mise en œuvre en sélectionnant les 30 pics les plus discriminants dans les deux approches, et les résultats ont montré une prédiction correcte de 100% des données.

L'approche d'empreintes spectrales à partir de prélèvements *in vivo* de plasma s'est donc montrée pertinente dans l'étude et la prédiction du défaut de déstructuration du jambon cuit. La mise en œuvre de cette approche en conditions industrielles permettrait de réaliser un test prédictif de la qualité du jambon cuit sans dépréciation de carcasse, puisqu'il repose sur un prélèvement sanguin, qui pourrait être réalisé au niveau de l'élevage.

Contact : laetitia.theron@inrae.fr, UR QuaPA

➤ Un système d'étiquetage nutritionnel adopté en France

La loi de santé 2016 mandatait de mener des tests scientifiques sur l'impact de différents systèmes d'étiquetage alimentaire pour permettre de choisir le label nutritionnel officiel en France. Deux expérimentations ont été menées en parallèle par nos chercheurs : l'une a permis d'observer l'impact *in vitro*, en situation contrôlée de laboratoire, l'autre a permis de voir l'impact *in vivo*, au niveau d'achats réalisés en supermarchés.

Financée par le ministère de la santé, l'étude de laboratoire a vu la participation de 691 consommateurs, et a permis d'évaluer l'impact sur la qualité nutritionnelle et le coût économique de l'imposition sur les produits de 5 différents systèmes d'étiquetage nutritionnel (l'australien Health Star Rating, le NutriScore, les Traffic Lights anglais, les Reference Intake en pourcentage des recommandations quotidiennes, le système SENS). Le protocole d'économie expérimentale permet d'observer pour chaque participant l'écart entre un caddie élaboré sans système d'étiquetage et un caddie élaboré avec l'un des trois systèmes et d'en déduire l'efficacité relative des systèmes. Tous les systèmes améliorent la qualité nutritionnelle, mais le NutriScore est le système le plus performant. Suite aux résultats des études, le NutriScore a été choisi comme étiquetage officiel en France. Une étude complémentaire, menée en coopération avec des chercheurs de l'INSERM, a pu montrer que l'utilisation de ce système d'étiquetage réduisait de manière significative la mortalité sur le plan des maladies non transmissibles liées à l'alimentation.



Contact : paolo.crosetto@inrae.fr, UMR GAEL

Définir l'ADN d'INRAE



Des débats participatifs en interne pour construire INRAE 2030

La construction du plan stratégique INRAE 2030 a fait l'objet d'une consultation interne, qui a démarré en décembre avec le lancement d'une plateforme participative en ligne permettant à l'ensemble des agents de s'exprimer par écrit autour d'items de référence. La consultation s'est poursuivie par des ateliers-débats organisés dans les centres en région, avec pour objectifs de définir l'ADN du nouvel institut mais aussi de mettre en lumière ce qui fédère les agents INRAE. En s'appuyant sur leurs connaissances métiers, sur leurs expertises scientifiques et sur leurs visions du monde à venir, les agents INRAE ont participé à l'identification de grands enjeux et défis dans les domaines de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement sur lesquels INRAE devra travailler. Les débats portaient sur les enjeux sociétaux (chaîne alimentaire, gestion des ressources, territoires et acteurs) ou encore sur les pratiques et le fonctionnement de la recherche, comme la science ouverte, le développement durable, l'innovation, l'expertise et l'appui aux politiques publiques...



Un exercice de prospective partagé et porteur

Nos 2 centres en région ont contribué à ce travail via les propositions ayant émergé de ces débats. Le plan stratégique national, enrichi par des consultations de partenaires nationaux et internationaux, sera finalisé fin 2020.



Extraits des débats locaux

« Ce qui fait notre force c'est notre diversité plurielle (scientifique, thématique, métiers, compétences, hommes et femmes), c'est ce qui nous permet de répondre à des enjeux variés, aux grandes problématiques liées à l'avenir de notre planète, voire à la place de l'homme sur terre. INRAE permet de faire des choses qu'on ne peut pas faire ailleurs. »

« Nous sommes dans un Institut qui s'engage pour le bien-être de l'Homme en tant qu'individu tout autant que pour la société. »

« Travailler dans un Institut dédié aux sciences de la vie dans toutes ses dimensions, c'est une fierté. »

« La création d'INRAE a donné une nouvelle dimension et des ambitions plus fortes pour répondre aux évolutions sociétales et à l'urgence écologique et climatique. »

« Il y a un réel enjeu d'intégrer la société dans le processus de recherche, de rendre le public acteur, ou d'associer davantage les agriculteurs dans les expériences. La science participative est une piste. »

« Une priorité de notre nouvel institut est d'aider à accompagner les changements de paradigmes nécessaires en agriculture et alimentation pour qu'ils soient plus respectueux de l'environnement et ce dans un contexte de changement climatique. Le « E » d'INRAE doit prendre toute sa dimension. »

« La diversité à INRAE est un atout pour communiquer. Ce que nous faisons est riche, intéressant et vrai. Même dans des débats un peu contradictoires nous pouvons proposer différentes réponses aux questions. Toutes les thématiques peuvent être expliquées, quand on est calme et transparent. »



Liste des unités des 2 centres



UAR 1218 - Département ACT

INRAE

[Christophe Soulard](#)

63122 Saint Genès Champanelle

Tél. 04 73 62 41 97 - act@inrae.fr

UAR1189 - Département ALIMH

INRAE

[Lionel BRETILLON](#)

63122 Saint Genès Champanelle

Tél. 04 73 62 48 36 - alimh@inrae.fr

USC 1407 - AMPERE

ECL - Insa Lyon - UCBL - INRAE associé

[Bruno Allard](#)

Ecole Centrale de Lyon

36 avenue Guy de Collongue

69134 Ecully cedex

Tél. 04 72 43 82 38 - bruno.allard@insa-lyon.fr

UMR 0203 - Biologie fonctionnelle, insectes et interactions (BF2I)

INRAE - Insa Lyon

[Abdelaziz Heddi](#)

Insa Bâtiment Louis Pasteur - 11 avenue Jean Capelle

69621 Villeurbanne cedex

Tél. 04 72 43 83 56 - bf2i@insa-lyon.fr

UMR 1397 - Cardiovasculaire, métabolisme, diabétologie et nutrition (CARMEN)

INRAE - INSERM - Insa Lyon - UCBL

[Hubert Vidal](#)

Faculté de Médecine Lyon-Sud

165 chemin du Grand Revoyet - BP 12

69921 Oullins cedex

Tél. 04 26 23 59 17 - hubert.vidal@univ-lyon1.fr

USC 1438 - Caractérisation et suivi des phénomènes d'évolution de résistance aux pesticides (CASPER)

ANSES - INRAE associé

[Benoit Barrès](#)

31 avenue Tony Garnier

69364 Lyon cedex 07

Tél. 04 27 18 04 83 - benoit.barres@anses.fr

UMR 0042 - Centre alpin de recherche sur les réseaux trophiques des écosystèmes limniques (CARTEL)

INRAE - USMB

[Isabelle Domaizon](#)

75 bis avenue de Corzent - CS50511

74203 Thonon-les-Bains

Tél. 04 50 26 78 00 - du-cartel-ara@inrae.fr

UMS 1440 - Centre pour la communication scientifique directe (CCSD)

CNRS - Inria - UDL - INRAE

[Christine Bertaud](#)

28 rue Louis Guérin

69100 Villeurbanne

Tél. 04 72 69 52 75 - christine.beraud@ccsd.cnrs.fr

USC 1361 - Cellule souche et cerveau (CSC)

INSERM - UCBL - INRAE associé

[Colette Dehay](#)

18 avenue Doyen Lépine

69675 Bron cedex

Tél. 04 72 91 34 75 - colette.dehay@inserm.fr

UMR 0346 - Epidémiologie des maladies animales et zoonotiques (EPIA)

INRAE - VetAgro Sup

[Xavier Bailly](#)

63122 Saint Genès Champanelle

Tél. 04 73 62 41 48 - epia.direction@inrae.fr

UMR 1215 - Economie appliquée de Grenoble (GAEL)

INRAE - UGA - CNRS - Grenoble INP

[Stéphane Robin](#)

CS 40700

38058 Grenoble cedex 9

Tél. 04 76 82 54 39 - stephane.robin@univ-grenoble-alpes.fr

UR1457 - Erosion Torrentielle, Neige et Avalanches (ETNA)

INRAE

[Florence Naaim](#)

2 rue de la papeterie - BP 76

38402 St-Martin-d'Hères Cedex

Tél. 04 76 76 27 09 - florence.naaim@inrae.fr

UMR 0545 - Fromages (UMRF)

INRAE - UCA - VetAgro Sup

[Christophe Chassard](#)

20 rue Côte de Reyne

15000 Aurillac

Tél. 04 71 45 64 10 - christophe.chassard@inrae.fr

UMR 1095 - Génétique, diversité et écophysiologie des céréales (GDEC)

INRAE - UCA

[Thierry Langin](#)

5 chemin de Beaulieu

63000 Clermont-Ferrand

Tél. 04 73 76 15 34 - gdec-direction-ara@inrae.fr

UE 1414 - Herbipôle

INRAE

[Pascal D'Hour](#)

Les Razats 63820 Laqueuille

Tél. 04 73 22 09 22 - herbipole_dir@inrae.fr

USC 1370 - Institut de génomique fonctionnelle de Lyon (IGFL)

ENS - CNRS - UCBL - INRAE associé

[Florence Ruggiero](#)

32-34 avenue Tony Garnier

69007 Lyon cedex 07

Tél. 04 26 73 13 58 - florence.ruggiero@ens-lyon.fr

Liste des unités des 2 centres



UMR 0754 - Infections virales et pathologie comparée (IVPC)

INRAE - UCBL - EPHE

[Fabienne Archer](#)

Université Claude-Bernard Lyon 1

50 avenue Tony Garnier

69366 Lyon cedex 07

Tél. 04 37 28 76 04 - fabienne.archer@univ-lyon1.fr

USC 1369 - Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés (LEHNA)

CNRS - UCBL - INRAE associé

[Christophe Douady](#)

Université Claude-Bernard Lyon 1

Bât. Darwin - 43 bd du 11 novembre 1918

69622 Villeurbanne cedex

Tél. 04 72 43 29 53 - christophe.douady@univ-lyon1.fr

UMR 1418 - Ecologie microbienne (LEM)

UCBL - CNRS - VetAgro Sup - INRAE

[Yvan Moënné-Loccoz](#)

Université Claude-Bernard Lyon 1

43 bd du 11 novembre 1918

69622 Villeurbanne cedex

Tél. 04 72 43 13 77 - contact@ecologiemicrobiennelyon.fr

UR1464 - Laboratoire EcoSystèmes et Sociétés En Montagne (LESSEM)

INRAE

[Thomas Spiegelberger](#)

2 rue de la papeterie - BP 76 38402

St-Martin-d'Hères Cedex

Tél. 04 76 76 28 19 - thomas.spiegelberger@inrae.fr

UR1465 - Laboratoire d'Ingénierie pour les Systèmes Complexes (LISC)

INRAE

[Franck Jabot](#)

9, avenue Blaise Pascal - CS 20085

63178 Aubière

Tél. 04 73 44 07 33 - franck.jabot@inrae.fr

USC 2018 - Microbes, intestin, inflammation et susceptibilité de l'hôte (M2ISH)

UCA - CHU Clermont-Ferrand - INRAE associé

[Nicolas Barnich](#)

Faculté de Médecine et Pharmacie

28 place Dunant - BP 38 63000

Clermont-Ferrand

Tél. 04 73 17 79 97 - jeannette.ouertani@uca.fr

UMR 0454 - Microbiologie, environnement digestif et santé (MEDIS)

INRAE - UCA

[Pierre Peyret](#)

63122 Saint Genès Champanelle

Tél. 04 73 62 42 41 - stephanie.dutilloy@inrae.fr

USC 1450 - Pathogénèse et vaccination lentivirales (PAVAL)

UGA - INRAE associé

[Yahia Chebloune](#)

Batiment Nanobio2

570 rue de la chimie, B53 38041

Grenoble cedex 9

Tél. 04 56 52 08 66 - yahia.chebloune@inrae.fr

UE 1375 - Phénotypage au champ des céréales (PHACC)

INRAE

[Laurent Falchetto](#)

5 chemin de Beaulieu

63000 Clermont-Ferrand

Tél. 04 43 75 15 35 - phacc-gestion@inrae.fr

UMR 0547 - Physique et physiologie intégratives de l'arbre en environnement fluctuant (PIAF)

INRAE - UCA

[Bruno Moulia](#)

5 chemin de Beaulieu

63000 Clermont-Ferrand

Tél. 04 43 76 14 00 - sylvie.vayssie@inrae.fr

UMR 1417 - Laboratoire de physiologie cellulaire végétale (PVC)

CEA - CNRS - UGA - INRAE

[Eric Maréchal](#)

CEA Grenoble

17 rue des Martyrs

38054 Grenoble cedex 09

Tél. 04 38 78 96 66 - eric.marechal@cea.fr

UR 0370 - Qualité des produits animaux (QUAPA)

INRAE

[Véronique Santé-Lhoutellier](#)

63122 Saint Genès Champanelle

Tél. 04 73 62 47 08 - veronique.sante-lhoutellier@inrae.fr

UMR 0879 - Reproduction et développement des plantes (RDP)

INRAE - ENS - CNRS - UCBL

[Téva Vernoux](#)

ENS

46 allée d'Italie

69364 Lyon cedex 07

Tél. 04 72 72 86 13 - gestion.rdp@ens-lyon.fr

UR1468 - UR Réduire, réutiliser, valoriser les ressources des eaux résiduaires (REVERSAAL)

INRAE

[Jean-Marc Choubert](#)

5 Rue de la Doua, CS 20244

69625 Villeurbanne Cedex

Tél. 04 72 20 89 04 - jean-marc.choubert@inrae.fr

Liste des unités des 2 centres



UR1469 - UR RiverLy

INRAE

Nicolas Lamouroux

5, rue de la Doua, CS 20244

69625 Villeurbanne Cedex

Tél : 04 72 20 87 84 - nicolas.lamouroux@inrae.fr

USC 1233 - Rongeurs sauvages, risques sanitaires et gestion des populations (RS2GP)

VetAgro Sup - INRAE associé

Etienne Benoit

VetAgro Sup Marcy

1 avenue Bourgelat BP 83

69280 Marcy-L'Etoile

Tél. 04 78 87 27 27 - etienne.benoit@vetagro-sup.fr

UAR 0364 - Services Déconcentrés d'Appui à la Recherche (SDAR)

INRAE

Rémy Beaufrère

63122 Saint Genès Champanelle

Tél. 04 73 62 41 19 - remy.beaufrere@inrae.fr

UAR 1472 - Services Déconcentrés d'Appui à la Recherche (SDAR)

INRAE

Bruno Cotte

5, rue de la Doua, CS 20244

69625 Villeurbanne Cedex

Tél. 04 72 20 10 52 - bruno.cotte@inrae.fr

UR SIIR ARA

INRAE

Nicolas Guilhot

63 St Genes

UR1471 - Technologies et systèmes d'information pour les agrosystèmes (TSCF)

INRAE

Jean-Pierre Chanet

9, avenue Blaise Pascal - CS 20085

63178 Aubière

Tél. 04 73 44 06 78 - jean-pierre.chanet@inrae.fr

UMR 1273 - Territoires

INRAE - AgroParisTech - VetAgro Sup - UCA

Hélène Mainet

9 avenue Blaise-Pascal - CS 20085

63178 Aubière

Tél. 04 73 44 06 58 - contact.umrterritoires@inrae.fr

UMR 1019 - Nutrition humaine (UNH)

INRAE - UCA

André Mazur

63122 Saint Genès Champanelle

Tél. 04 73 62 42 38 - unh-ara@inrae.fr

UMR 0874 - Ecosystème prairial (UREP)

INRAE - VetAgro Sup

Catherine Picon-Cochard

5 chemin de Beaulieu

63000 Clermont-Ferrand

Tél. 04 43 76 16 00 - urep@inrae.fr

UMR 1213 - Herbivores (UMRH)

INRAE - VetAgro Sup

Isabelle Cassar-Malek

63122 Saint Genès Champanelle

Tél. 04 73 62 40 25 - umrh-dir@inrae.fr



Jean-Baptiste Coulon, Philippe Mauguin, Pascal Boistard et Emmanuel Hugo

> Directeurs de la publication :

Emmanuel Hugo, Président du Centre Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes
Pascal Boistard, Président du Centre Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes

> Pilotage éditorial et relecture :

Services communication

> Conception, rédaction, réalisation :

Services communication

> Crédits photo : INRAE, Adobe Stock, Shutterstock

> Impression : SIC

Remerciements à l'ensemble des personnes des unités de recherche ayant collaboré à la réalisation de ce document

Les résultats scientifiques présentés relatent des résultats des recherches menées dans les unités des centres, en partenariat avec les établissements d'enseignement supérieur et de recherche ou d'organismes de recherche nationaux en co-tutelle.



Centre Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes

Site de Theix
63122 Saint-Genès-Champanelle
Tél. : +33 1 (0)4 73 62 40 00

Centre Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes

5 rue de la Doua - CS 20244
69625 Villeurbanne Cedex
Tél. : +33 1 (0)4 72 20 87 87

Rejoignez-nous sur :



www.inrae.fr

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



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE