



Rapport annuel

Les faits marquants scientifiques 2013



Chiffres clés 2013



8 356 agents titulaires
dont **50.6%** de femmes



872,1 M€ de dépenses
et **873,6 M€** de recettes

90

faits marquants scientifiques

3 981

publications scientifiques

(source WoS)



1 843
chercheurs titulaires



199 unités de recherche
& **48** unités expérimentales



2 446 stagiaires accueillis
& **497** doctorants rémunérés



13 départements scientifiques
& **8** métaprogrammes



17
centres de recherche



293 brevets en stock
dont **39** nouveaux



12 nouvelles variétés
végétales



24 nouveaux logiciels
& bases de données déposés

Les métaprogrammes Inra

ACCAF

Adaptation de l'agriculture et de la forêt
au changement climatique

DID'IT

Déterminants et impacts de la diète, interactions et transitions

ECOSERV

Pratiques et services des écosystèmes anthropisés

GISA

Gestion intégrée de la santé des animaux

GLOFOODS

Etude des transitions pour la sécurité alimentaire mondiale
(avec le Cirad)

MEM

Méta-omiques des écosystèmes microbiens

SELGEN

Sélection génomique

SMACH

Gestion durable de la santé des cultures



Directeur de la publication : François Houllier
Coordination éditoriale : Françoise Vedele, Jean-François Launay et Eric Connehaye
Relecture : Frédérique Chabrol
Iconographie : Photothèque Inra
Conception graphique et réalisation : Studio Création Inra
Coordination de la traduction : Christine Young
Imprimerie : BIPRIINT - 360, route de Flins - 78410 BOUAFLE

Inra 147, rue de l'Université - 75338 PARIS | Tél. : +33(0)1 42 75 90 00 | Fax : +33(0)1 47 05 99 66
Inra.fr





Sommaire



Métaprogramme



Publication d'exception
(*Current Biology, Nature et dérivés,
Plos Genetics, Plos Biology, PNAS,
Science*)

ÉDITO

06

Introduction par Olivier Le Gall

FAITS MARQUANTS SCIENTIFIQUES

08

Sécurité alimentaire mondiale & changements globaux

014

Intégration des performances économiques, sociales & environnementales de l'agriculture & de la forêt

022

Atténuation de l'effet de serre & adaptation de l'agriculture & de la forêt au changement climatique

028

Valorisation de la biomasse pour la chimie & l'énergie

034

Pour des systèmes alimentaires sains & durables

042

Des approches prédictives en biologie

048

Agroécologie

ÉCLAIRAGE SUR...

054

La biodiversité

056

Le décryptage des génomes

060

English version



Édito
par Olivier Le Gall
DIRECTEUR GÉNÉRAL DÉLÉGUÉ
AUX AFFAIRES SCIENTIFIQUES



© C.Maitre / Inra2013

Les défis de quatre transitions

07

L'Inra contribue, par la connaissance, à l'élaboration des politiques publiques et à l'innovation pour la production de biens et de richesses dans le domaine de l'alimentation, de l'agriculture et de l'environnement. C'est un secteur dans lequel notre société doit relever les défis de quatre transitions nationales ou globales, au cœur et en appui desquelles se place donc notre recherche.

La transition agroécologique. Dépasser l'ambition productiviste pour concilier les performances économiques, sociales et environnementales de l'agriculture n'est aujourd'hui plus une option mais une nécessité. Il ne saurait être question de ramener notre agriculture en arrière : bien au contraire, la transition agroécologique d'une agriculture moderne comme la nôtre ne peut se concevoir qu'intensive en connaissances.

La transition climatique. La transition agroécologique doit se fixer comme objectifs non seulement d'atténuer la contribution, aujourd'hui significative de l'agriculture au changement climatique, mais aussi d'adapter la production agricole et forestière à des conditions climatiques dont la seule chose certaine est qu'elles seront de plus en plus incertaines. A ce titre, il est naturel que l'Inra participe activement aux travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec).

La transition des usages. De tout temps, l'agriculture a produit des matériaux et de l'énergie, ne serait-ce que les fourrages des animaux de trait. La tension qui s'intensifie sur la production alimentaire, liée à la démographie globale et au changement des modes de vie, nécessite une vision sur la diversification raisonnée de ces usages, sur leur articulation et sur leur optimisation.

La transition alimentaire. Plus que jamais, la sécurité alimentaire est aujourd'hui une question mondiale et complexe. Développer des systèmes alimentaires sains et durables nécessite donc un regard global sur les filières « du champ à l'assiette », et même au-delà, pour traiter la question des gaspillages et des connaissances sur les relations entre alimentation, nutrition, prévention et santé.

La diversité des disciplines présentes à l'Inra permet à notre recherche de relever ces défis croisés et de contribuer à l'émergence de nouveaux champs disciplinaires. D'abord, les approches prédictives en biologie, que permettent les avancées, fulgurantes ces dernières années, des technologies d'acquisition et de traitement des données (séquençage, calcul intensif...), laissent espérer arriver, dans un délai raisonnable, à une compréhension plus aboutie des processus biologiques. Ensuite l'agroécologie, dont l'Inra contribue à définir le cadre de connaissances, à la croisée des sciences agronomiques, écologiques et sociales, sur lequel reposera principalement la transition de notre agriculture.

Après un tiers de la période couverte par le document d'orientation 2010-2020 de l'Inra, les priorités qui y avaient été dégagées commencent à s'émailler des résultats de nos équipes, à tel point que les extraire en quelques pages relève de la gageure : 2013 est à ce jour l'année record de l'Inra pour le nombre de ses publications scientifiques internationales. Laissez ce second cahier vous emmener au cœur d'une sélection diversifiée de nos résultats récents en appui à ces différentes transitions. « Pour la bonne bouche », nous avons également préparé pour vous, deux chapitres dédiés à deux thématiques centrales au regard des finalités de nos recherches : la biodiversité et le décryptage des génomes.

Sécurité alimentaire mondiale & changements globaux

Favoriser l'équilibre quantitatif et qualitatif entre les besoins alimentaires et les disponibilités dans un contexte de développement durable. Réduire les pertes et gaspillages de biomasse et de nourriture. Réfléchir à la durabilité des systèmes alimentaires et assurer leur capacité d'adaptation aux changements globaux.

L'Inra investit dans des recherches pour assurer les transitions vers des systèmes alimentaires sains et durables, tout au long de la chaîne consommation-transformation-production, en outre robustes face aux changements globaux : changement climatique, volatilité des prix des produits agricoles et alimentaires...

Alimentation humaine

Difficultés alimentaires des enfants : la prématurité est-elle un facteur aggravant ?



Les enfants prématurés développent souvent des difficultés alimentaires au cours de la petite enfance, ce qui peut altérer de façon importante leur croissance et leur développement psychomoteur

Migraire A. et al. (2013) *Am J Clin Nutr*, DOI: 10.3945/ajcn.112.051151

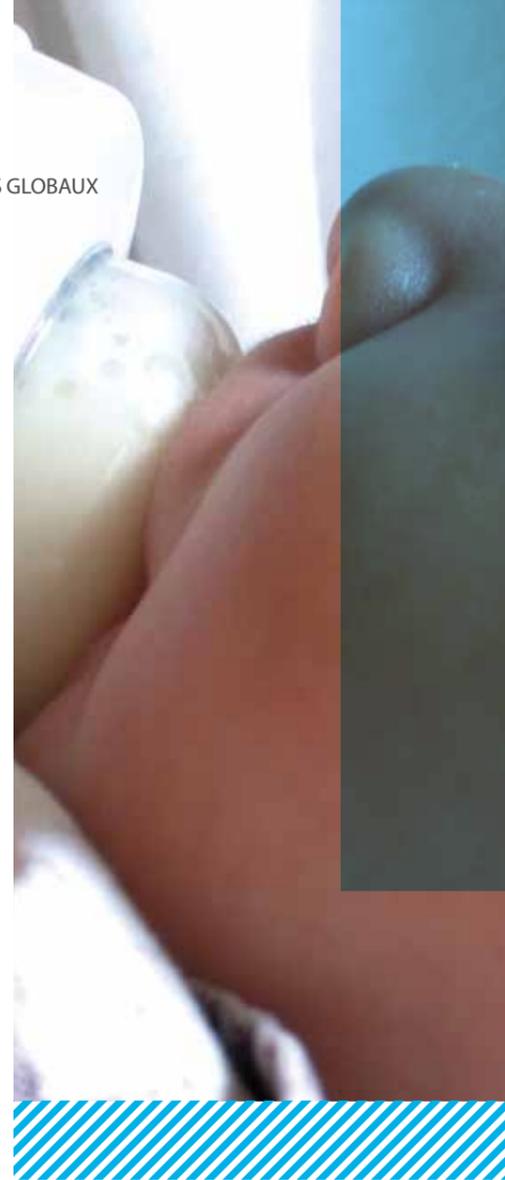
Le comportement alimentaire est un caractère complexe dont le déterminisme est multifactoriel, faisant intervenir un déterminisme génétique, des facteurs physiologiques, mais aussi des influences environnementales et sociales. Les enfants prématurés ont un risque plus élevé de présenter des difficultés alimentaires dans les mois qui suivent leur naissance mais également à plus long terme, ce qui peut altérer de façon importante leur croissance et leur développement psychomoteur. Pour identifier les facteurs maternels et néonataux qui pourraient expliquer ce phénomène, le comportement alimentaire de 234 enfants prématurés (cohorte Polynuca, Nantes) est comparé à celui de 245 enfants nés à terme (cohorte Opaline, Dijon), à l'âge

2

Deux ans, c'est l'âge des enfants des deux cohortes d'observation, à Nantes et à Dijon



de 2 ans. Les résultats montrent que les enfants prématurés ont effectivement moins d'appétit et moins de plaisir à manger. Leur alimentation est moins variée et ils consomment moins de fruits. Cependant, de façon étonnante, les enfants les plus prématurés ne sont pas forcément ceux qui présentent les plus grandes difficultés mais ceux qui ont subi une croissance foetale insuffisante. Les filles semblent plus touchées que les garçons et un faible niveau d'éducation maternelle serait un facteur aggravant. Une étude de polymorphisme génétique est en cours sur les enfants de la cohorte Polynuca afin d'identifier une éventuelle prédisposition génétique au développement de difficultés alimentaires. D'autre part, il est envisagé de suivre ces enfants sur le long terme afin d'évaluer les conséquences de ces difficultés alimentaires précoces sur leurs habitudes alimentaires, la croissance, le métabolisme et la santé.



© C.Richardson / sxc.hu



Valérie AMARGER
Inra Angers-Nantes



© Inra2013

Généticienne UMR 1280
Physiologie des adaptations
nutritionnelles (Phan)
CHU Hôtel-Dieu de Nantes

Sciences sociales, agriculture & alimentation, espace & environnement

Études des politiques optimales pour la stabilisation des prix agricoles



© G.Seybert / Fotolia



Gouel C. (2013), *European Economic Review*, DOI: 10.1016/j.eurocorev.2012.10.003

La flambée des prix agricoles de 2007/08 suivie de leur instabilité relance le débat sur les politiques de stabilisation des prix alimentaires dans les pays pauvres. Pourtant, jusqu'à ces événements, les préconisations des organisations internationales étaient plutôt d'intervenir principalement via des aides directes aux populations les plus pauvres. La crise alimentaire remet en question ce point de vue, dans la mesure où certains des pays les plus interventionnistes, comme la Chine ou l'Inde, sont aussi ceux qui ont le moins ressenti les effets de la crise mondiale. Ce travail s'est ainsi concentré sur l'incapacité des consommateurs pauvres à faire face aux risques liés à la volatilité des prix alimentaires. Partant de cet échec de marché, les effets de politiques optimales de stabilisation des prix sont analysés.

Les 3 principaux résultats sont les suivants :

- > Une politique optimale de stockage public a pour conséquence un évitement complet des stockeurs privés, ce qui implique une intervention publique beaucoup plus importante que la seule augmentation du niveau moyen des stocks.
- > Les politiques optimales peuvent être complexes à mettre en œuvre. Il est difficile de déterminer quelle serait la bande de prix optimale et une erreur sur les paramètres choisis est susceptible d'amener à des pertes de bien-être plutôt qu'à des gains.
- > En économie ouverte, une politique de stockage optimale doit permettre un stockage domestique relativement indépendant du marché mondial, ce qui représente potentiellement une source d'instabilité pour le marché mondial du fait de l'aspect non coopératif des politiques commerciales.

« Créer une relation positive et durable vis-à-vis de la nourriture »

Quelle différence faut-il faire entre prématuré et croissance foetale insuffisante ?

Un enfant prématuré qui n'a pas subi de retard de croissance foetale aura un poids tout à fait normal pour son âge gestationnel. Un enfant qui a subi une croissance foetale insuffisante aura au contraire un poids inférieur à la normale pour son âge gestationnel mais cet enfant ne va pas forcément naître prématurément. Certains enfants cumulent malheureusement les deux conditions puisque les médecins prennent souvent la décision de pratiquer un accouchement prématuré par césarienne lorsqu'ils constatent un problème de croissance foetale qui peut être dû par exemple à une insuffisance placentaire.

A-t-on des projections à l'âge adulte de ces difficultés alimentaires ?

Le risque avec les enfants présentant des difficultés alimentaires dès l'âge de 18 mois est qu'ils acquièrent de mauvaises habitudes alimentaires conduisant à une alimentation déséquilibrée potentiellement hyper-énergétique. Ils ont alors un risque accru de présenter une prise de poids excessive pendant l'enfance, ce qui augmente leur risque de développer des désordres métaboliques à l'âge adulte (hypertension, diabète, maladies cardiovasculaires). Certaines études ont effectivement mis en évidence un risque plus élevé de développer une hypertension ou une résistance à l'insuline.

Les résultats de cette étude tendent à relativiser les bénéfices des politiques de stabilisation des prix, mais fournissent aussi un cadre permettant à des pays souhaitant tout de même en implémenter de le faire au mieux.

Sciences sociales, agriculture & alimentation, espace & environnement

HTL (Human Trophic Level) un indicateur de l'alimentation humaine



© Berndkaiser / Fotolia



Bonhommeau S. et al. (2013), PNAS, DOI: 10.1073/pnas.1305827110

Les niveaux trophiques sont essentiels pour la synthèse de l'alimentation des espèces, représentant les voies de l'énergie, la compréhension de la dynamique de la chaîne alimentaire et le fonctionnement des écosystèmes, et le suivi de la santé des écosystèmes. Plus précisément, les niveaux trophiques décrivent la position des espèces dans un réseau alimentaire, des producteurs primaires aux prédateurs (de 1 à 5). Dans la chaîne alimentaire mondiale, nous découvrons ainsi que les humains ont un HTL global de 2,21, soit le niveau trophique des anchois ou des porcs et ne peuvent pas, par exemple, être considérés

comme prédateurs. Cette valeur augmente avec le temps, conformément à la tendance mondiale vers des régimes plus riches en viande. En outre, nous montrons que, bien que les pays aient des régimes alimentaires très différents, il n'existe que cinq grands groupes de tendances alimentaires. Nous trouvons des liens significatifs entre HTL et d'importants indicateurs de développement de la Banque mondiale, en donnant un aperçu de la relation entre les conditions de santé environnementale socio-économiques et l'évolution des habitudes alimentaires.

MÉTAPROGRAMME
ACCAF

Physiologie animale & systèmes d'élevage

Évaluation de l'efficacité énergétique de systèmes laitiers dans différentes régions du monde par une méthode originale et générique d'analyse pluri-énergétique

DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.04.003

En vue du doublement attendu de la demande mondiale en produits laitiers, l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'énergie fossile est un objectif majeur pour des systèmes plus productifs et écologiquement plus durables. Une méthode pluri-énergétique (solaire, fossile, biomasse, physique), est développée pour analyser les différences d'efficacité énergétique entre des systèmes laitiers familiaux de régions chaudes (peu consommateurs d'énergie fossile : 0,1 MJ/L de lait au Mali), spécialisés lait (3,6 MJ/L en Bretagne) ou de polyculture élevage (4,9 MJ/L en Poitou-Charentes) de régions tempérées, et intensifs de régions tropicales 6,6 MJ/L à la Réunion).

Au Mali, la production peut être accrue jusqu'à 600 L par an, sans modifier le coût en énergie fossile. En zones tempérées, l'efficacité augmente avec la part de pâturage dans la ration annuelle des troupeaux. Cependant, les systèmes valorisant le maïs, bien que plus énergivores, apportent

plus de sécurité face aux aléas climatiques. À la Réunion, la volonté de la filière de maintenir une production locale élevée a conduit à utiliser une quantité élevée de concentrés importés (4,5 tonnes par vache et par an).



© Z.Difeng / Fotolia

Environnement & agronomie

Comparaison de modèles statistiques pour l'analyse de l'évolution dans le temps des rendements du blé

DOI: 10.1371/journal.pone.0078615

Les études prospectives sur la sécurité alimentaire sont souvent fondées sur les tendances des rendements des cultures, estimées à partir des séries temporelles fournies par les organismes statistiques nationaux et régionaux. Cependant, les performances prédictives des différents modèles ne sont pas encore évaluées en détail. Dans cette étude, nous utilisons huit modèles statistiques pour analyser des séries chronologiques sur le rendement du blé et comparé leur capacité à prédire ce rendement à l'échelle nationale et régionale. Les résultats obtenus avec les modèles linéaires dynamiques indiquent une stagnation des rendements de blé dans de nombreux pays, mais aussi une augmentation de rendement modérée dans plusieurs pays d'Europe, d'Asie, d'Afrique et d'Amérique. Cette étude montre également que le taux d'augmentation de rendement diffère considérablement entre les régions françaises.



© C.Stiglmüller / Inra

Sciences sociales, agriculture et alimentation, espace & environnement

Évaluation des politiques nutritionnelles



© Muro / Fotolia

Bonnet C. and Réquillart V. (2013), Journal of Public Economics, DOI: 10.1016/j.jpubeco.2013.06.010

Les questions de consommation alimentaire occupent une place importante dans les débats de santé publique (montée de l'obésité et/ou occurrence de maladies chroniques). L'absence de résultats d'une incitation vers une alimentation saine et équilibrée conduit les autorités publiques à s'intéresser désormais à d'autres outils visant à modifier l'environnement des consommateurs (prix, composition des produits, reformulation des produits, restriction sur l'offre dans certains lieux...). L'objectif des travaux menés à l'Inra est d'aider les pouvoirs publics en évaluant l'impact de politiques de taxation/subvention sur la modification des choix alimentaires. Ces travaux permettent de montrer que la taxe soda entrée en vigueur en 2012 (7,16 centimes

d'euros) permettrait d'infléchir la consommation de boissons sucrées. L'impact global sur la consommation de sucre restera cependant assez faible en raison des substitutions entre les boissons sucrées et les jus de fruits. L'efficacité d'une taxe nutritionnelle dépend de la nature de la taxe. Si l'objectif de la taxe est le revenu fiscal engendré, une taxe basée sur la modification de la TVA serait plus efficace. Au contraire, une taxe d'accise basée sur le contenu en sucre des produits aurait un impact plus fort sur la consommation de sucre. Le développement de ces méthodes doit permettre une analyse plus systématique et plus approfondie des impacts des politiques publiques, et de nombreuses voies d'amélioration existent tant du côté méthodologique que de l'analyse économique.

Les méthodes développées en économétrie structurelle permettent de réaliser des évaluations, au préalable, de politiques publiques nutritionnelles en tenant compte des réactions des entreprises (industriels et distributeurs) et des consommateurs.

MÉTAPROGRAMME
DID'ITMÉTAPROGRAMME
DID'IT

Intégration des performances économiques, sociales et environnementales de l'agriculture & de la forêt

Développer des systèmes agricoles et forestiers combinant performances économiques, environnementales et sociales. Développer des outils de conception de tels systèmes, étudier les déterminants des transitions, favoriser les partages d'expériences, mutualiser les informations et participer à la production d'innovations, notamment dans les domaines de la santé des plantes et des animaux.

Les recherches visent à intégrer les performances économiques, environnementales, sanitaires et sociales de l'agriculture et de la forêt. Elles associent démarches expérimentales et de modélisation, et intègrent les aspects liés aux comportements des acteurs et aux politiques publiques. Elles contribuent à la réalisation de plusieurs plans nationaux visant une plus grande durabilité de l'agriculture et de la forêt : plan EcoPhyto, plan EcoAntibio, plan de développement durable de l'apiculture.

INTÉGRATION DES PERFORMANCES ÉCONOMIQUES, SOCIALES & ENVIRONNEMENTALES DE L'AGRICULTURE & DE LA FORÊT

Biologie & amélioration des plantes

Découverte d'un facteur primordial pour l'adaptation des plantes à la disponibilité en azote



L'azote est un élément essentiel pour la croissance des végétaux. Or, sa disponibilité dans le sol sous forme de nitrate, est variable, ce qui met en jeu des mécanismes de régulation spécifiques chez la plante afin d'en coordonner le transport et l'assimilation



Marchive C. et al. (2013) Nat. Commun. DOI: 10.1038/ncomms2650.

L'azote est le constituant principal des protéines, mais aussi des acides nucléiques, supports de l'information génétique, et d'une multitude de métabolites secondaires. La majorité des plantes sont incapables d'utiliser l'azote présent dans l'air, celui-ci doit donc être prélevé, principalement sous forme de nitrate, dans le sol par les racines. La croissance et le rendement des cultures sont ainsi souvent limités par la disponibilité du sol en nitrate.

800

NLP7 se lie à plus de 800 gènes dont un grand nombre sont impliqués dans la voie de signalisation et d'assimilation du nitrate



© W.Beaucardet / Inra



Anne KRAPP
Inra Versailles-Grignon



© Inra

Co-responsable du pôle Adaptation des plantes à leur environnement (APE) UMR1318 Inra-AgroParisTech-Saclay Plant Sciences Institut Jean-Pierre Bourgin (IJPB)

« Transférer cette découverte vers des plantes cultivées comme les céréales »

Quelle est la concentration « naturelle » en nitrate d'un sol ?

Dans un sol non cultivé, en région tempérée, l'ordre de grandeur de la concentration en nitrate dans la solution du sol (phase aqueuse) est de 0,1 mmol/litre, ce qui est faible. Dans un sol cultivé, cette concentration augmente d'un facteur 10, voire beaucoup plus juste après un apport d'engrais. 1mM de nitrate équivaut à 62 mg de nitrate par litre de solution du sol : on est donc déjà au-dessus du seuil légal au-delà duquel l'eau est déclarée non potable.

Comment diminuer l'apport en nitrate tout en augmentant le rendement ?

C'est un vrai défi. C'est probablement une combinaison de stratégies qui sera utilisée dans le long terme. Il existe des modalités utilisées traditionnellement comme la rotation avec des légumineuses qui fixent naturellement l'azote atmosphérique ou le développement de détecteurs embarqués dans des instruments performants comme des drones, qui permettent à l'agriculteur d'éviter les fertilisations excessives. Les énormes efforts internationaux pour transférer la capacité de fixer l'azote atmosphérique aux céréales n'ont pas encore abouti à des améliorations considérables. Je suis persuadée que nous ne comprenons pas encore complètement le « système » plante avec sa fascinante capacité d'adaptation à son environnement et les mécanismes de régulation impliqués. Il est essentiel que nous poursuivions encore ces recherches afin d'élucider ces mécanismes moléculaires, car il n'y a pas d'innovation sans savoir.

Biologie & amélioration des plantes

Quand la cellulose déraile, les tiges partent en vrille



© B.Landrein / Inra



Landrein et al. (2013) Current Biology, DOI: 10.1016/j.cub.2013.04.013.

Des spirales ordonnées des choux « romanesco » à celles des tournesols ou des pommes de pin, les mathématiques sont partout dans la nature, notamment chez les plantes. Chez *Arabidopsis*, la position des organes suit une phyllotaxie (arrangements réguliers) précise avec un angle de divergence de 137° qui peut être observé à la fois dans le méristème apical foliaire mais aussi sur les siliques le long de l'inflorescence. Le rôle d'une protéine contrôlant la synthèse de la cellulose vient d'être révélé et suggère que les tiges des plantes vrillent par défaut. Normalement, les cellules végétales grandissent dans une direction préférentielle grâce à un dépôt orienté de cellulose, sous le contrôle du cytosquelette microtubulaire. En supprimant l'expression

d'une protéine liant microtubules et cellulose, les chercheurs observent que les fibres de cellulose s'inclinent dans les cellules et que les tiges vrillent. Cette torsion modifie alors la position des fleurs le long de la tige et conduit à des phyllotaxies inédites mais toujours régulières. Menées par une équipe de l'Inra, du CNRS, de l'ENS de Lyon et de l'Université Claude Bernard Lyon 1, avec des scientifiques allemands, ces recherches s'inscrivent dans un changement de paradigme en biologie du développement qui met l'accent sur les approches multi-échelles. Ces travaux lèvent le voile sur les phénomènes fondamentaux qui régissent la forme des plantes et pourraient aboutir à des applications dans le domaine des biomatériaux ou de la biologie prédictive.

Comment faire le lien entre des interactions moléculaires dans les parois végétales et l'architecture globale des plantes ?

Biologie & amélioration des plantes

Un gène majeur du développement caractérisé
chez la tomate

Obtenir de plus gros fruits ou des récoltes plus importantes était l'objectif principal de la domestication des plantes qu'effectuaient les premiers agriculteurs.



© B.Nicolas / Inra



Chakrabarti M. (2013), PNAS, DOI:10.1073/pnas.1307313110

A l'heure actuelle, nous savons peu de choses sur les mécanismes moléculaires qui sont responsables des succès rencontrés par nos ancêtres. Des chercheurs de l'Université d'Ohio (États-Unis), de l'Inra et de l'Université de Valence (Espagne) ont identifié chez la tomate, *Solanum lycopersicum*, un gène contrôlant la taille du fruit. Ce gène contrôle l'architecture de la plante en régulant le nombre et la taille des feuilles latérales et d'autre part, retarde la période de maturation

du fruit. Des analyses de polymorphisme de séquences montrent que cet allèle est apparu très tôt au cours de la domestication de la tomate. Il est également présent et joue le même rôle chez le poivron de façon indépendante, suggérant qu'il est apparu lors d'événements de domestication séparés. Les résultats de cette étude ouvrent des perspectives d'amélioration de la culture de la tomate, ainsi que celle du piment et de l'aubergine appartenant à la même famille botanique.

Santé des plantes & environnement

Un nouveau mécanisme de résistance
face aux agents pathogènes :
des protéines de résistance agissent
par paires pour piéger un champignon
pathogène

DOI:10.1105/tpc.112.107201



© JM.Barbier / Inra

Magnaporthe oryzae est un pathogène qui occasionne des dégâts très importants dans les rizières. Nous avons montré que dans la lutte qui oppose cet agent pathogène et le riz, les plantes ont développé des stratégies originales utilisant des leurres intimement associés à leurs systèmes de défense. Cette découverte ouvre de nouvelles perspectives pour l'identification de nouveaux systèmes de défense et pour la gestion durable de la résistance des plantes, notamment des céréales, aux bioagresseurs.

Biologie & amélioration des plantes / Santé des plantes
& environnementDes gènes au secours d'autres gènes
ou comment certains gènes de plantes
protègent les gènes de résistance
aux maladies ?

DOI: 10.1111/j.1364-3703.2012.00834.x

L'utilisation de variétés de plantes résistantes aux bioagresseurs permet de limiter l'utilisation de pesticides. Le principal obstacle à leur utilisation dans la durée, notamment lorsque ces résistances sont basées sur un seul gène, est l'adaptation rapide des agents pathogènes ciblés. Cette contre-attaque des parasites leur permet de reprendre leur pouvoir pathogène initial, la variété redevient sensible. Dans une étude conduite sur une maladie virale du piment, nous avons mis en évidence que d'autres gènes de la plante pouvaient fortement ralentir l'adaptation du virus et ainsi préserver le caractère résistant de la variété.



© C.Stigmulder / Inra

Santé des plantes & environnement

La membrane plasmique : une clé de la
signalisation de défense des plantes

DOI: 10.1104/pp.113.225755

Le mélange des lipides composant une membrane artificielle peut se séparer en différentes phases mais l'organisation précise de la membrane plasmique entourant les cellules végétales n'est pas encore élucidée. Le développement d'une méthode d'imagerie innovante nous permet de montrer que la membrane qui entoure les cellules végétales est composée d'une multitude de territoires présentant des états physiques variés. L'organisation globale et locale de cette membrane est modifiée de façon très rapide lorsque la cellule détecte des microorganismes, établissant un lien fonctionnel entre cette organisation et la mise en place de mécanismes de défense.

Santé des animaux

Les espèces invasives modifient
les risques de transmission des maladies
zoonotiques

DOI:10.1371/journal.pone.0055377

La variation de la composition des espèces au sein d'une communauté hôte peut modifier les risques de transmission d'une maladie. L'introduction du tamia de Sibérie dans une forêt périurbaine d'Ile-de-France perturbe la circulation de la maladie de Lyme, maladie transmise par les tiques et due à des bactéries du genre *Borrelia*. En effet, un indice de contribution à la production de tiques infectées, source d'infection pour l'homme, montre que le tamia produit 8,5 fois plus de tiques infectées que les réservoirs rongeurs autochtones de la maladie.

Physiologie animale & systèmes d'élevage

La monotraite chez la vache laitière induit
des mécanismes épigénétiques liés à la
méthylation de l'ADN

DOI: 10.1152/physiolgenomics.00059.2013

La fréquence de traite chez la vache laitière modifie à plus ou moins long terme sa production laitière, en régulant la synthèse et la sécrétion des produits du lait. La comparaison de deux rythmes de traites sur un troupeau de vaches Holstein, montre que cette régulation fait appel à des variations d'expression d'un certain nombre de gènes. Nous avançons l'hypothèse que cette variation pouvait être induite *via* une modification de la méthylation de l'ADN au niveau de régions régulatrices distales des gènes.



© C.Maire / Inra

Santé des plantes & environnement

Une cible, des toxines : de la tête aux pieds
(des graines aux racines de légumineuses)

© JM.Prosper / Inra

Eyraud V. et al. (2013) Plos One. DOI: 10.1371/journal.pone.0081619

Un des enjeux majeurs pour améliorer l'impact environnemental de leur utilisation serait de leur substituer des molécules efficaces issues des végétaux. Les PATb sont des toxines des graines de légumineuses, les protégeant contre la plupart des insectes ravageurs granivores. On pourrait les nommer venins de plantes, car leur mode d'action est unique. La cible dans le tube digestif de l'insecte est connue depuis

peu, ce qui est très rare : c'est la v-ATPase, la plus importante pompe à protons cellulaire, impliquée dans une fonction vitale pour l'insecte : l'absorption de nutriments. Il vient d'être démontré chez la légumineuse modèle *Medicago truncatula* que cette toxine avait engendré une famille diversifiée de peptides dont, pour la première fois, de puissants insecticides inductibles localisés dans les racines et nodules.

Les pesticides chimiques sont utilisés à grande échelle au niveau mondial et sont dans le même temps stigmatisés pour leur persistance dans l'environnement et leur effet néfaste sur la santé.



Santé des plantes & environnement

Un virus répond à la présence de son vecteur pour optimiser sa transmission

DOI: 10.7554/eLife.00183.001

De nombreux virus de plantes ou d'animaux sont véhiculés par des insectes comme vecteurs. Le virus de la mosaïque du chou-fleur, le CaMV, est transmis par des pucerons vecteurs d'une plante à une autre. Nos résultats suggèrent que le CaMV peut percevoir ces pucerons, soit directement, soit indirectement par le partage de la perception de l'hôte. Ce nouveau concept en virologie, où les virus répondent directement ou par l'intermédiaire de l'hôte vers le monde extérieur, ouvre des horizons inédits de recherche, comme étudier l'impact des « comportements perceptifs » sur d'autres étapes du cycle d'infection.

Génétique animale

Mise en évidence de relations entre comportements sociaux et caractères de production chez la caille

DOI: 10.1371/journal.pone.0082157



© C.Slagmulder / Inra

Le comportement social des animaux, qui est partiellement contrôlé par des bases génétiques, est l'un des facteurs impliqués dans leur adaptation au sein de larges populations. Notre étude sur une population expérimentale de cailles alerte sur les possibles effets défavorables de la sélection pour une plus forte productivité (poids, ponte) sur certains comportements délétères (peur, agressivité). Dans le même temps, elle montre qu'améliorer la sociabilité et la réactivité émotionnelle des animaux peut, au-delà du bien-être animal, influencer favorablement certains caractères de production.

Caractérisation & élaboration des produits issus de l'agriculture

Quand le vin a soif de recherches

« Quand le vin a soif de recherches » est un dossier de presse de l'Inra, consacré intégralement aux recherches menées par l'Inra sur le vin.



© B.Nicolas / Inra

Rouge, blanc, rosé, liquoreux, brut, pétillant... Comment se forme le goût du vin ? D'où viennent ses arômes ? Depuis que l'homme cherche à maîtriser la fabrication et la conservation du vin, la science joue un rôle central. En scrutant la vigne, son génome, les cépages, baies, bactéries ou levures, des chercheurs de l'Inra percent les secrets de ce mélange si complexe pour en améliorer la qualité.

Santé des animaux

Maladies émergentes vectorielles par les tiques en Camargue

DOI: 10.3201/eid1905.121003

Suite à des cas récurrents d'anaplasmose granulocytaire équine en Camargue, des prélèvements de tiques sur chevaux et pâtures sont réalisés entre 2007 et 2010, en vue d'identifier les souches d'*Anaplasma* circulant dans cette région. Le génotypage des souches portées par les tiques a mis en évidence la présence d'une seule souche d'*A. phagocytophilum* très proche de la souche américaine touchant l'Homme.



© G.Cattiau / Inra

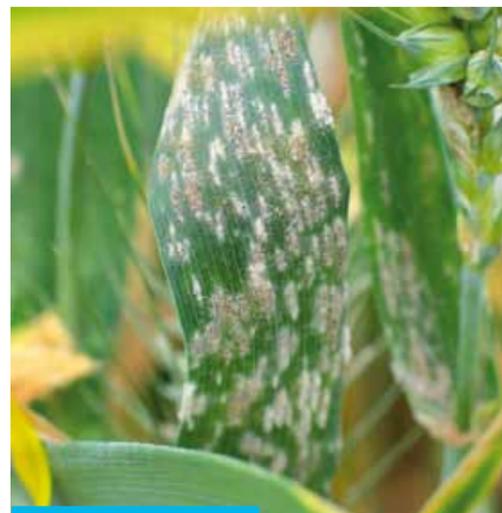
Santé des plantes & environnement

Le génome de l'oïdium du blé montre l'évolution unique d'un biotrophe obligatoire



Wicker T. et al. (2013), Nature genetics, DOI: 10.1038/ng.2704

Blumeria graminis est un pathogène fongique dévastateur qui propage l'oïdium du blé, et qui a une histoire évolutive mal comprise. Nos analyses comparatives des génomes de différents isolats ont identifié 602 gènes effecteurs candidats. Nous avons caractérisé les schémas de diversité génétique et suggéré que les génomes de ces moisissures sont des mosaïques d'haplogroupes anciens qui existaient avant la domestication du blé. Nous concluons que l'adaptation immédiate de *B. graminis* f.sp. *tritici* aux nouvelles espèces hôtes a été basée sur un pool d'haplotypes diversifiés qui a fourni un grand potentiel génétique permettant la variation de l'agent pathogène.



© F.Suffert / Inra

Diversité sociale et agricole des espaces ruraux

Mischi J. et al. (2013), Agone, Bessière C. et al. (2013), Politix

La diversité des groupes sociaux n'est pas réservée à la ville. Ces deux dossiers de revues dirigés par deux chercheurs Inra montrent que les campagnes françaises sont habitées par divers groupes sociaux, avec notamment une forte présence d'ouvriers et des agriculteurs divisés en différentes fractions sociales. Ce fractionnement agricole se reflète autant qu'il est produit par des représentations médiatiques, savantes et syndicales. Les enquêtes présentées décrivent cette diversité, les inégalités qu'elle peut traduire et les conflits qu'elle peut engendrer.



© J.Weber / Inra

Sweet17, nouveau transporteur de sucre chez les plantes



Chardon F. et al. (2013), Current Biology DOI: 10.1016/j.cub.2013.03.021

Pour la première fois, des chercheurs de l'Inra Versailles-Grignon mettent en évidence le rôle d'une protéine, Sweet17, dans le transport du fructose chez les végétaux. Cette protéine, localisée sur la membrane de la vacuole, permet la rétention du sucre dans l'organite et son stockage dans la plante. Ces résultats ouvrent des perspectives prometteuses pour modifier la composition en sucres de certaines espèces d'intérêt agronomique.



© Inra

Le poisson zèbre, modèle introduit à Jouy-en-Josas, permet l'étude de l'immunité innée des vertébrés

DOI: 10.1128/JVI.01294-12

Chez le poisson comme chez les mammifères, l'infection virale et le traitement à l'interféron induisent l'expression de la protéine ISG15, un facteur important des défenses innées antivirales. Nos résultats montrent que l'ISG15 du Danio zébré possède aussi une forte activité antivirale contre des virus à génome ARN (*Novirhabdovirus* and *Birnavirus*) et ADN (*Iridovirus*), qui requiert le motif LRRG et l'ISGylation de protéines cibles. ISG15 module aussi la réponse interféron et agit à différents niveaux.

Deux bactéries en une : le pathogène d'insecte *Xenorhabdus* est présent sous deux formes de bactéries ayant un potentiel infectieux différent

DOI: 10.1371/journal.pgen.1003915

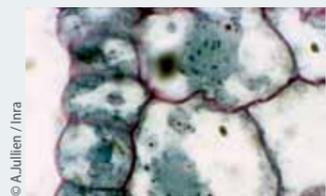
Chez certaines bactéries comme *Xenorhabdus nematophila*, l'hétérogénéité de l'expression des gènes résulte dans la présence d'individus avec différents génotypes au sein d'une même population. Récemment, nous montrons que la protéine Fliz régule la plupart des gènes impliqués dans les interactions entre la bactérie et ses hôtes invertébrés. L'originalité de ce travail est la description de l'hétérogénéité de l'expression génétique observée à l'échelle des individus bactériens issus d'un même clone.

Un réseau de protéines contrôle la division des cellules végétales



Spinner et al. (2013), Nature Communications, DOI: 10.1038/ncomms2831

L'orientation des divisions cellulaires joue un rôle essentiel dans l'organisation spatiale des tissus végétaux. Pour la première fois, des chercheurs de l'Inra Versailles-Grignon mettent en évidence un complexe multiprotéique qui joue un rôle central dans le contrôle de ce mécanisme.

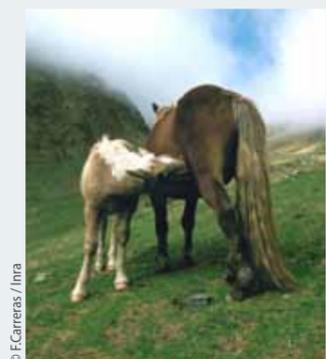


© A.Jullien / Inra

Le méthylheptène : un marqueur potentiel de l'œstrus chez les mammifères domestiques

DOI: 10.1016/j.physbeh.2013.07.012

La détection des chaleurs chez les femelles est un enjeu majeur pour la conduite raisonnée des troupeaux. Une molécule (la méthylheptène) mise en évidence dans les fèces de femelles en œstrus de plusieurs espèces déclenche des érections chez les rats mâles. Ceci suggère que la méthylheptène participe à la reconnaissance olfactive du statut sexuel des femelles, et pourrait être utilisée comme marqueur de l'œstrus chez les espèces domestiques, notamment le cheval.



© F.Carreras / Inra

Lutte contre les vers ravageurs : de nouvelles cibles pour des méthodes plus respectueuses de l'environnement et plus spécifiques

DOI: 10.1371/journal.ppat.1003745

Parmi les ravageurs des grandes cultures, les nématodes occasionnent de nombreux dégâts en s'attaquant aux racines des plantes. Des gènes spécifiques aux ravageurs de cultures sont identifiés dans les génomes de vers (nématodes) parasites de plantes. Ces gènes sont absents des espèces non cibles telles que l'homme, les plantes et les animaux d'élevage. L'inactivation spécifique de ces gènes chez les vers compromet sérieusement leur pouvoir parasitaire. Des méthodes de luttés plus spécifiques et propres peuvent être envisagées en ciblant précisément ces gènes.



© Inra

La personnalité influence les capacités cognitives des chevaux

DOI: 10.1371/journal.pone.0064853
DOI: 10.1007/s10071-013-0648-5
DOI: 10.1016/j.anbehav.2013.09.026
DOI: 10.1371/journal.pone.0062324

L'ensemble de ces travaux, menés chez le cheval, cherche à déterminer si certaines dimensions de sa personnalité influencent les performances d'apprentissage. La dimension de peur est déterminante mais son influence est variable : généralement positive en l'absence de stress ou lorsque la tâche est à l'origine du stress, elle devient négative en cas de stress extrinsèque. Chaque personnalité présente donc des atouts et inconvénients en fonction des conditions.



© G.Pailhard / Inra



Atténuation de l'effet de serre & adaptation de l'agriculture & de la forêt au changement climatique

Simuler les conséquences du changement climatique, modéliser les scénarii en amont pour établir des stratégies locales et internationales de production.

Le changement climatique a des impacts sur l'agriculture qui ont été mis en évidence dans le 5^e rapport du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (Giec) : www.ipcc.ch. L'Inra prépare les options d'adaptation de l'agriculture et de la forêt, développe des recherches sur les impacts futurs et sur les stratégies pour les endiguer tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. La gestion des ressources en eau et en sol, de la biodiversité, de l'adaptation des plantes cultivées et des animaux de rente constituent des aspects importants de ces recherches.

Sciences sociales, agriculture & alimentation, espace & environnement

L'incertitude de la simulation des rendements en blé face au changement climatique



Pouvoir prédire les rendements des grandes cultures sous contrainte de changement climatique global est l'une des variables majeures dans les scénarios à long terme visant à assurer la sécurité alimentaire mondiale



Asseng S. et al. (2013), *Nature climate change*, DOI: 10.1038/NCLIMATE1916

Dans le cadre d'une initiative internationale (étude menée via le projet international AgMIP, l'Inra a contribué à cette étude financée par le métaprogramme ACCAF), des chercheurs de l'Inra participent au premier exercice mondial d'inter-comparaison de 27 modèles de culture du blé. Les modèles sont comparés selon trois cas de figure : en conditions de culture actuelles, selon un scénario climatique à 30 ans et en conditions climatiques extrêmes. Enfin, nous avons quantifié l'incertitude de l'impact du changement climatique liée aux modèles de culture d'une part, et aux modèles climatiques, d'autre part.

60

D'ici 2050, la production de blé devra augmenter de 60% pour satisfaire la demande mondiale



© S.Orlov / Fotolia



Malheureusement les prédictions de l'impact du changement climatique sur ces rendements restent très incertaines. De plus, les comparaisons systématiques et objectives des diverses simulations et modèles sont difficiles. Dans cette étude, la comparaison la plus large et la plus standardisée a été effectuée, montrant que les rendements en grains du blé peuvent être simulés de façon adéquate dans un certain panel d'environnements si les informations entrées dans le modèle sont suffisantes. Cependant, les structures des modèles, les valeurs des paramètres participent à l'incertitude. Les incertitudes des simulations des impacts augmentent avec la concentration en CO₂ et le réchauffement associé. Une meilleure quantification des relations entre ces paramètres pourrait diminuer ces incertitudes. Ainsi, une meilleure précision dans la prédiction de l'impact du changement climatique sur la production agricole apporterait une aide à la décision aux politiques publiques.



Hélène LUCAS
Inra Versailles-Grignon



© C.Maire / Inra

Coordinatrice scientifique internationale de la Wheat Initiative
Présidente du Directoire opérationnel du Gis biotechnologies vertes

« De 1980 à 2010, diminution de la production de 5,5% due au changement climatique »

Quel est le scénario le plus probable sur les rendements de blé dans 30 ans ?

Le blé est plus adapté que le riz et le maïs à des conditions semi-arides. Cependant, la sécheresse et la chaleur sont des facteurs très importants de limitation du rendement. En 2012, le rendement moyen s'élevait ainsi par exemple à 7,6 t/ha en France, 3,1 t/ha aux USA, 2,1 t/ha en Australie, et 1,2 t/ha au Maroc. D'ici 2050, en se basant sur une surface constante cultivée en blé, il faudra passer d'un rendement mondial moyen de 3t/ha aujourd'hui à 4,7 t/ha. Or en France et en Europe par exemple, des plateaux de rendement sont aujourd'hui atteints en raison de températures élevées lors de la phase de remplissage du grain.

Quelles sont les pistes pour des variétés de blé plus résistantes à la chaleur ?

Le taux de croissance du blé est accéléré en cas de température élevée, ce qui conduit à une réduction de la durée de la photosynthèse. La chaleur peut, en combinaison avec la sécheresse, conduire à des modifications métaboliques qui affectent la croissance de la plante. Enfin, la production de grains est affectée si les périodes de température élevée interviennent au cours de certains stades du développement reproductif de la plante. Des recherches sont donc entreprises dans le cadre d'un consortium international pour augmenter le potentiel de rendement intrinsèque du blé, à travers l'augmentation de sa capacité photosynthétique et la translocation efficace des assimilats vers le grain. Un appel à projets international sera lancé en 2014 pour répondre à cet objectif.

Sciences sociales, agriculture & alimentation, espace & environnement

Évaluer le service écologique de la forêt pour la qualité de l'eau : méthodes et résultats publiés dans plusieurs revues scientifiques



© C.Madzak / Inra

Les forêts possèdent un réseau racinaire dense et important, générant ainsi des sols poreux et filtrants.

Fiquepron J. et al. (2013), *Journal of Environmental Management*, DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.04.002
Abildtrup, J. et al. (2013), *Ecological Economics*, 92, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2013.01.004

Sous un couvert forestier, le niveau des nitrates est bas, comme l'est également le niveau d'autres polluants comme les pesticides. Comparée à d'autres usages du sol, la forêt est associée à la protection des ressources en eau contre les pollutions et à une diminution des coûts de fourniture de l'eau potable. Cette étude cherche à mesurer l'effet de l'utilisation des terres sur les indicateurs de qualité de l'eau brute (utilisée

pour la production d'eau potable) et sur le prix de l'alimentation en eau. L'objectif est d'estimer la valeur économique du service écologique fourni par les forêts à partir de données collectées dans 95 départements français. Nous mettons en évidence l'impact des interactions spatiales et l'effet positif d'une couverture forestière au-delà des limites du système de distribution d'eau, sur la valeur du service écologique.

MÉTAPROGRAMME ECOSERV

Écologie des forêts, prairies & milieux aquatiques

Mieux combattre les incendies par une gestion concertée entre collectivités et bergers

Les paysages de l'Europe du Sud sont sensibles aux risques d'incendies, dus principalement au climat méditerranéen, à la végétation inflammable et aux terrains accidentés.



Paulo M. Fernandes et al. (2013), *Frontiers in Ecology and the Environment*, DOI: 10.1890/120298

Les impacts environnementaux et sociétaux des incendies dans cette région ont considérablement augmenté au cours du 20^e siècle. La prévention des incendies de forêts est donc un enjeu majeur pour l'Europe du Sud. Un collectif de chercheurs européens met en avant la technique du brûlage dirigé. Effectuée en préventif, cette technique rend

les espaces naturels moins vulnérables aux feux. En France, un chercheur de l'Inra s'est penché sur la situation dans les Pyrénées françaises, où approche participative et réglementation assouplie ont permis la reconnaissance de cette ancienne pratique pastorale.



MÉTAPROGRAMME
ACCAF

Sciences sociales, agriculture et alimentation, espace et environnement

Changement climatique et adaptation des systèmes de production agricole

Ledère D. et al. (2013), *Ecological Economics*, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2012.11.010

Humblot P. et al. (2013), *Ecological Economics*, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2012.10.012

Les effets du changement climatique sur la production agricole européenne sont estimés dans différents scénarios d'évolution du climat, en intégrant les capacités d'adaptation des systèmes en termes de conduite des cultures et d'allocation des terres. Ce travail interdisciplinaire repose sur la combinaison de données pour l'évolution du climat, d'un modèle de culture (Stics) et d'un modèle d'offre agricole (Aropaj). Une première analyse est réalisée à l'échelle européenne (15 États membres de l'Union européenne) et montre de forts contrastes entre les régions, dépendant des scénarios, bien que l'agriculture de l'ensemble des régions puisse bénéficier de l'évolution du climat sous condition d'une évolution des capacités d'irrigation. Une seconde analyse multidisciplinaire concerne les effets de la concentration d'ozone sur les choix de production des agriculteurs français, tant au niveau de la parcelle que de l'allocation des terres entre les différentes productions.



© G.Cattiau / Inra

Santé des plantes & environnement

Le déséquilibre azote / phosphore induit par l'homme altère les écosystèmes naturels ou anthropisés à travers le globe



Penuelas J. et al. (2013), *Nature communications*, DOI: 10.1038/ncomms3934



© Rémi Le Bastard / Inra

La hausse des niveaux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère et la disponibilité du carbone et de l'azote à partir de divers intrants d'origine anthropique sur les écosystèmes sont en constante augmentation. Cependant, ces augmentations ne sont pas parallèles à une augmentation similaire dans les apports de phosphore. Le changement inexorable de la stoechiométrie du carbone et de l'azote par rapport au phosphore n'a pas d'équivalent dans l'histoire de la Terre. Cette étude met en évidence les conséquences profondes et encore incertaines de l'empreinte humaine sur le cycle du phosphore et de l'azote. Le phosphore limitant et la disponibilité de l'azote sont susceptibles de réduire conjointement le futur stockage de carbone par les écosystèmes naturels au cours de ce siècle. En outre, si des engrais phosphorés ne peuvent être rendus plus accessibles, les prédictions des rendements des cultures indiquent une augmentation du déficit en éléments nutritifs dans les régions en développement.

Le climat perturbe la production de biomasse de la prairie pérenne

DOI: 10.1111/gcb.12317

Les extrêmes climatiques remodelent les services rendus par la prairie tels que la production de fourrage ou la composition en espèces végétales. Une recherche sur le terrain durant trois ans a étudié la résistance à la déshydratation et la récupération après réhydratation des communautés végétales dans une prairie pérenne. Nous montrons que face au stress, la présence de plusieurs espèces végétales ne joue pas l'effet tampon escompté et que les conséquences d'une perturbation climatique peuvent avoir des effets durables pendant deux ans. Enfin, des coupes peu fréquentes représenteraient la meilleure gestion pour une prairie en conditions azotées limitantes.



© B.Nicolas / Inra

Mise en évidence et caractérisation d'espèces virales invasives dans l'un des environnements les plus sensibles au changement climatique

DOI: 10.1371/journal.pone.0067231

Au cours d'un inventaire des virus de plantes mené dans les îles subantarctiques Kerguelen, quatre espèces virales invasives sont caractérisées, dont deux étaient jusqu'à présent inconnues. Elles sont très vraisemblablement introduites en même temps que leur puceron vecteur. Elles infectent à la fois des plantes introduites et natives sur lesquelles leur impact à long terme ainsi que leur potentielle dissémination restent à évaluer.



© D.R.

Valorisation de la biomasse pour la chimie & l'énergie

Favoriser l'exploitation de la matière végétale et microbienne, exploiter son originalité structurale et en optimiser les rendements. Proposer des procédés d'extraction et de synthèse respectueux de l'environnement.

L'Inra soutient les usages du carbone renouvelable et s'implique dans la production d'énergie et de matériaux renouvelables. Ces recherches font l'objet d'un partenariat renforcé avec des industries de pointe qui élargit nos travaux vers des échelles de maturité technologique élevées.

Caractérisation & élaboration
des produits issus de l'agriculture

Mousse intelligente : différentes manières de détruire une mousse sur demande !



La capacité à détruire une mousse liquide sur demande est utilisée dans des applications industrielles telles que la décontamination, la récupération de matières radioactives ou certains procédés de lavage

Fameau A.L. et al. (2013), *Chemical Science*, DOI: 10.1039/c3sc51774h

Les mousses liquides sont des dispersions de bulles de gaz dans un liquide, stabilisées par des tensioactifs. Les mousses liquides ont des applications dans de nombreux domaines, allant de l'industrie alimentaire aux détergents et la récupération du pétrole. La stabilité de la mousse est un paramètre clé et les recherches ont récemment avancé dans la création et la compréhension des mousses très stables. Actuellement, le contrôle de la stabilité de la mousse ainsi que sa destruction sont réalisés à l'aide de molécules issues de synthèses chimiques. Des chercheurs ont entrepris de les remplacer par des molécules d'origine végétale, les acides gras hydroxylés, dans un

90

Actuellement, le contrôle de stabilité de la mousse utilise 90% des agents tensioactifs produits dans le monde, ce qui est nocif pour l'environnement



© Inra



objectif de développement durable. Combinées à des particules magnétiques, ces molécules permettent d'obtenir des mousses qui peuvent être détruites par différents stimuli : la température, la lumière ou un champ magnétique. Les premières mousses photo-thermo-magnéto-stimulables sont ainsi conçues à partir de biomolécules. En particulier, l'utilisation de la lumière UV comme stimulus permet un contrôle de la mousse à distance avec une grande précision. Cette preuve de concept réalisée en collaboration entre l'Inra et l'Université de Caroline du Nord aux États-Unis ouvre de nouvelles voies pour le développement de systèmes « intelligents », dont les propriétés peuvent être modulées sur demande.

Une meilleure compréhension de la rupture des mousses par des stimuli externes et l'utilisation de tensioactifs verts dans ce contexte permettraient d'éviter l'usage d'énormes quantités d'agents polluants.



Paul COLONNA
Directeur scientifique adjoint
Alimentation et Bioéconomie

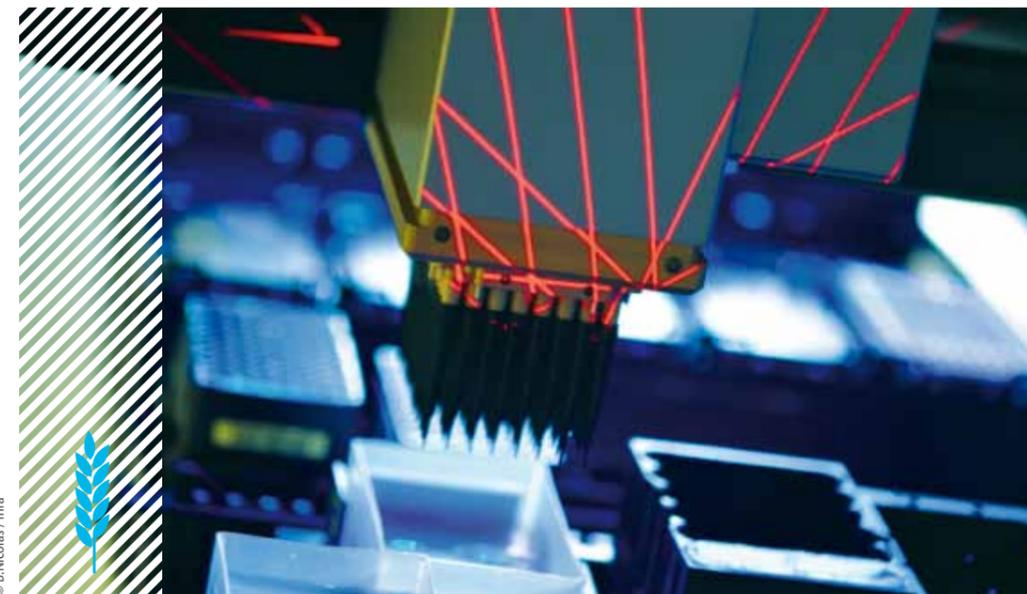


© L. Prevosto / Inra

Directeur de l'institut Carnot 3BCAR
(Bioénergies, biomolécules et
biomatériaux du carbone renouvelable)
Professeur au Collège de France
Chaire annuelle
Délégué scientifique
au développement durable

Caractérisation & élaboration des produits issus de l'agriculture

Le virtuel pour guider la construction d'enzymes « sur mesure »



© B. Nicolas / Inra

Traoré S. et al. (2013), DOI: 10.1093/bioinformatics/btt374

La complexité de leur conformation spatiale a été un facteur limitant pour le développement d'outils permettant l'ingénierie fine de ces protéines. En passant au crible leur séquence et en étudiant leur conformation, la modélisation moléculaire et plus particulièrement le « design computationnel de protéines » permet de prédire les mutations

« Le passage à la bioéconomie est un processus de long terme »

Quels sont les domaines dans lesquels les molécules d'origine végétale, les tensioactifs « verts » sont-ils déjà utilisés ?

Les tensioactifs biosourcés sont présents dans les produits cosmétiques de soins du corps, avec une famille très diverse (esters de sorbitan, les alkylpolyglucosides, les sucroesters, les esters de polyglycérol, les alcools et esters gras, les lipoaminoacides, les phospholipides sulfonyle méthyle) aux propriétés moussantes, émulsionnantes ou détergentes.

Les protéines végétales font l'objet de plusieurs applications sur la base de leurs propriétés tensioactives. Plusieurs paramètres structuraux clés ont été déterminés (flexibilité des segments protéiques, répartition des acides aminés clés...) facilitant l'identification des sources végétales idoines. Les lipides suscitent de nombreuses applications en particulier dans les détergents, les lubrifiants et les solvants biosourcés.

Quels secteurs industriels, quelles entreprises sont leaders sur ce marché ?

Plusieurs entreprises françaises sont clairement positionnées sur le marché des ingrédients de spécialités innovants - excipients et actifs - dédiés aux marchés de la cosmétique, de la pharmacie, des vaccins et de la nutrition. Les principaux acteurs sont : Seppic (filiale d'Air Liquide), Naturex, DRT (Dérivés résiniques et terpéniques) qui valorise des produits dérivés du pin, Rhodia (filiale du groupe Solvay), et Wheatoleo (filiale d'Ard - Agro-industrie recherches et développement).

Comment obtenir des enzymes plus actives, reconnaissant le substrat voulu, résistantes aux solvants organiques ou encore à la chaleur ?

pertinentes à introduire pour conférer aux enzymes les propriétés souhaitées. Des équipes de l'Inra ont eu l'idée d'y intégrer des techniques issues de la robotique et de l'intelligence artificielle. Elles ont ainsi amélioré les performances des méthodes existantes, en finesse de représentation des enzymes et en rapidité de calcul.

Écologie des forêts, prairies & milieux aquatiques

Un champignon de la mangrove secrète des enzymes particulières

Les principales enzymes qui dégradent les parois végétales, utilisables ensuite en biotechnologies, sont extraites de champignons.



© National oceanic and atmospheric administration (public domain)



Arfi Y. et al. (2013), *Nature communications*, DOI: 10.1038/ncomms2850

Compte tenu de la présence de l'eau de mer dans la mangrove, les champignons de cet écosystème sont adaptés à la salinité élevée. Nous étudions les enzymes lignocellulolytiques du champignon *Pestalotiopsis*, qui sont potentiellement, d'après les données de son transcriptome, au nombre de 400 dont une grande partie impliquée dans la dégradation de la lignine. Nous montrons que la présence de sel modifie la composition qualitative des enzymes secrétées, avec une

augmentation de xylanases et de cellulases alors que la production d'oxydases est diminuée. Cet équilibre conduit à une amélioration de l'hydrolyse de la cellulose et de l'hémicellulose mais à une diminution de la décomposition de la lignine. Cette étude met en évidence l'adaptation au sel des champignons de mangrove et dévoile leur potentiel pour des applications biotechnologiques.

Sciences pour l'action & le développement

Comment évaluer le rendement de la plante énergétique *Miscanthus giganteus* ?

Lesur C. et al. (2013), *Fields Crop Research*, DOI:10.1016/j.fcr.2013.05.004



© S.Cadoux / Inra

Miscanthus giganteus est une graminée vivace, étudiée pour son potentiel dans la production de bioénergie. C'est une espèce rustique très économe en apport d'engrais. Sa culture se caractérise par une phase de mise en place de 3 à 5 ans, au cours de laquelle les rendements annuels augmentent, suivie d'une phase plafond dont la durée est inconnue. Nous avons construit une base de données comprenant 16 expériences menées à travers l'Europe qui décrit l'évolution du rendement au cours de la mise en place de la culture et des phases plafond. Ces données sont analysées et modélisées faisant apparaître une phase de déclin. Elles permettent également de montrer que la durée de la première phase de la culture est fortement liée à la méthode de sa mise en place.

Futurool, 2013 année charnière

Après quatre années de développement pré-industriel, les 11 partenaires du projet Futurool dont l'Inra, seront en 2014 en phase de « go/no go » afin de définir la suite à donner au projet. Fin 2013, des évolutions sur trois points majeurs du procédé de production d'éthanol à partir de biomasse (pulpe de betterave, bagasse de canne à sucre, bois...) ouvrent la voie à une nouvelle vision d'un futur pilote industriel dans une forme plus « compacte », pour tenir compte de la simplification du procédé de transformation mis au point par les 105 chercheurs du programme : des installations (quatre à dix fois plus petites), moins coûteuses en investissement comme en fonctionnement, pourraient alors être construites près des gisements de déchets ou de cultures dédiées.

En attendant, le renforcement du prototype pré-industriel est envisagé : avec plus de 4 tonnes produites dès 2012, ce pilote avait déjà atteint, après quelques mois d'exploitation, l'optimum théorique de production d'éthanol à partir de lignocellulose, avec des résultats économiques viables. En 2008, le prix d'un litre d'éthanol 2G ou cellulosique se situe autour de 4 euros, il est désormais bien en-dessous de l'euro, et légèrement au-dessus de l'éthanol 1G qui cote à 60 centimes d'euros. 2013 est également consacrée aux travaux permettant d'optimiser les recyclages des eaux du procédé pour réussir le pari de minimiser les rejets, et d'intégrer tous les coproduits pour être le plus autonome possible en réactifs, énergie et eau.



© B.Nicolas / Inra

Pour des systèmes alimentaires sains & durables

Les travaux de l'Inra dans le domaine de l'alimentation ont révélé son rôle central en matière de santé dans la maîtrise des comportements sensibles - addictions, allergies, surpoids - dans l'exposition aux perturbateurs endocriniens et autres composés génotoxiques comme dans la compréhension des mécanismes infectieux. L'exploitation des données haut débit, générées soit par des cohortes réunissant de très nombreux internautes soit par les « omiques » des systèmes microbiens, ouvre de nouvelles perspectives dans le domaine des relations nutrition/santé.

Microbiologie & chaîne alimentaire

Bactéries de la flore intestinale : pas tous égaux face aux maladies liées à l'obésité



La voie est ouverte non seulement au diagnostic des individus à risque mais également à l'intervention par des recommandations nutritionnelles

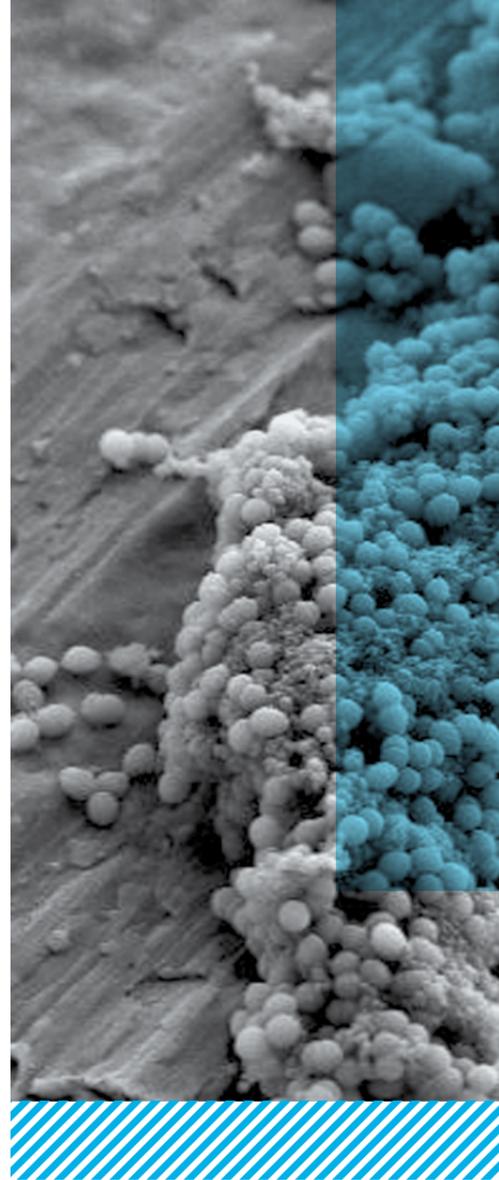


Le Chatelier E. et al. (2013), *Nature*, DOI: 10.1038/nature12506
Cotillard A. et al. (2013), *Nature*, DOI: 10.1038/nature12480

Les causes de l'obésité sont en partie environnementales (vie sédentaire, nourriture riche en énergie et facile à se procurer...) et en partie génétiques. Mais l'obésité liée à des mutations génétiques humaines semble représenter une minorité de cas. Ces deux études publiées simultanément permettent de distinguer pour la première fois, par la faible ou grande richesse de leur flore intestinale (encore appelée microbiote intestinal) et par leur susceptibilité face aux maladies métaboliques liées à l'obésité, deux groupes d'individus au sein d'une population. Les chercheurs ont ainsi observé que ceux ayant un déficit en bactéries intestinales (appauvrissement de la diversité) ont un risque accru

700

L'obésité touchait environ 400 millions d'individus adultes en 2005, elle concernera plus de 700 millions de personnes en 2015 et continuera d'augmenter



© T.Muriel & T.Meylheuc / Inra



Dusko EHRlich
Inra Jouy-en-Josas



© B.Nicolas / Inra

Directeur de recherche émérite
à l'unité Métagénopolis
département Microbiologie
et chaîne alimentaire (Mica)

Alimentation humaine

Charcuteries et risque du cancer colorectal : les antidotes identifiés chez les rongeurs sont efficaces chez les volontaires sains



© B.Nicolas / Inra

Santarelli R. L. et al. (2013), *Int J Cancer*, DOI: 10.1002/ijc.28286

La consommation de viandes est associée au risque de cancer du côlon (16 000 décès en France par an). Les conseils de prévention sont de limiter la viande rouge (500 g/semaine) et d'éviter les charcuteries. Ces conseils, très difficiles à suivre pour certains publics, auraient des conséquences économiques lourdes pour la filière et nutritionnelles néfastes (carences en fer et vitamine B12).

Nos études nutritionnelles démontrent que chez les volontaires sains,

la consommation d'une charcuterie modèle augmente, comme chez le rat, la lipoperoxydation, la nitrosation et l'activité cytotoxique au niveau fécal. Or, deux stratégies préventives testées (calcium et tocophérol) suppriment ces activités. Les données suggèrent que l'addition de carbonate de calcium dans le régime alimentaire ou d' α -tocophérol dans la charcuterie pourrait réduire le risque de cancer colorectal associé à la consommation de viande saumurée.

Proposer des recommandations alimentaires sans perdre l'intérêt nutritionnel des produits à base de viande. L'objectif est de prévenir les cancers tout en limitant les pertes pour les filières viande et charcuterie.

« Un enjeu majeur de santé publique »

Ces résultats ouvrent d'immenses perspectives pour construire, demain, une médecine et une nutrition personnalisées...

Selon nos observations, un quart de la population héberge dans son tube digestif une faible richesse bactérienne et risque de développer des pathologies métaboliques. C'est un enjeu majeur de santé publique ! Créée pour valoriser nos découvertes, la start-up Enterome développe pour fin 2014 un test simple pour les laboratoires ou les cliniques, qui révèle avec une précision de 90 à 95% les individus à risque. Associé à des recommandations nutritionnelles simples, ce diagnostic permettrait de restaurer en partie cette richesse bactérienne et de se prémunir de maladies futures.

Comment l'Inra se positionne dans ce domaine ?

En recherche académique, nous évoluons parmi les leaders du domaine : nous avons publié depuis 2010 une trentaine d'articles dans les journaux à comité de lecture dont cinq dans *Nature*. L'Inra a d'ailleurs assuré en 2013 la présidence du consortium international sur le microbiote humain. Cinq brevets ont été déposés par l'Inra. Deux font l'objet de licences. Plus de 23 projets de recherche ont été développés. Seize sont en cours : douze en partenariat avec des industriels et quatre de dimension européenne dont deux sont coordonnés par l'Inra. Nous avons contracté 9,1 millions d'investissement en 2012/2013 mais ce n'est pas suffisant : les enjeux sont considérables et les maladies métaboliques progressent très vite. En France, 4% des personnes souffrent du diabète et cela coûte à la société 12 milliards chaque année !

Microbiologie & chaîne alimentaire

Chimiothérapie, quand nos bactéries intestinales viennent en renfort



Les traitements de chimiothérapie anticancéreuse agissent plus efficacement grâce à l'aide de la flore intestinale



Sophie Viaud et al. (2013), *Science*, DOI: 10.1126/science.1240537

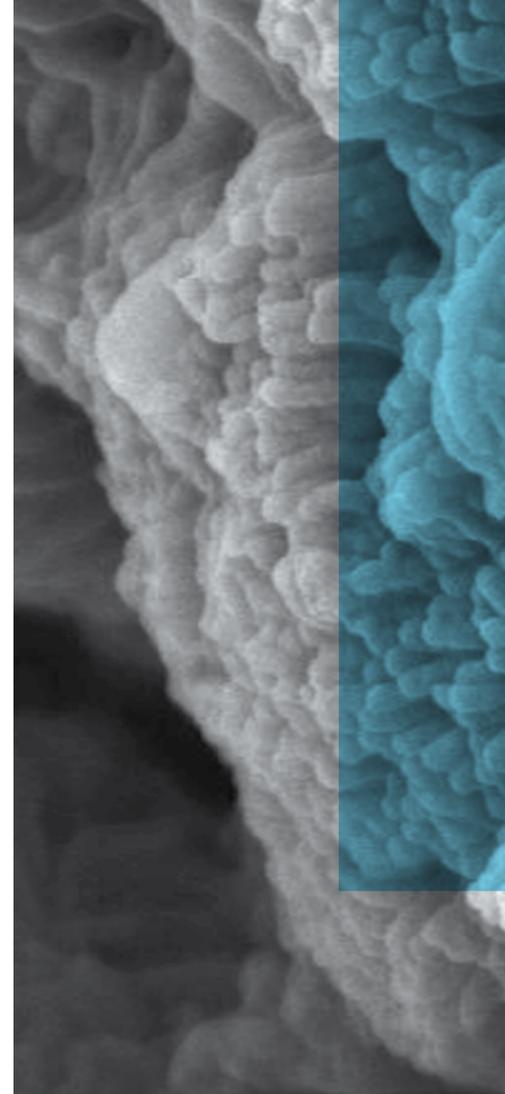
Une recherche menée conjointement par des chercheurs de Gustave Roussy, de l'Inserm, de l'Institut Pasteur et de l'Inra permet une découverte assez étonnante sur la façon dont les traitements de chimiothérapie anticancéreuse agissent plus efficacement grâce à l'aide de la flore intestinale (également appelée microbiote intestinal). Ces milliards de bactéries colonisent l'intestin dès la naissance et jouent un rôle clé dans la maturation des défenses immunitaires. Les espèces bactériennes qui composent le microbiote intestinal diffèrent toutefois d'un individu à l'autre et la présence ou l'absence de telle ou telle bactérie semble influencer la survenue de certaines maladies ou au contraire nous protéger.



Cette étude vient donc de démontrer que l'efficacité d'une des molécules les plus utilisées en chimiothérapie (la cyclophosphamide), repose en partie sur sa capacité à entraîner le passage de certaines bactéries de la flore intestinale vers la circulation sanguine et les ganglions. Une fois dans les ganglions lymphatiques, cette réaction en chaîne, effet secondaire du traitement, va s'avérer en réalité très utile : la réponse immunitaire dirigée contre ces bactéries va aider le patient à lutter encore mieux contre sa tumeur en stimulant de nouvelles défenses immunitaires. Maintenant que ces bactéries « bénéfiques » potentialisant la réponse immunitaire antitumorale sont identifiées, on devrait réussir rapidement à en fournir plus à l'organisme, notamment via des pro- ou prébiotiques et/ou une alimentation spécifique.

100 000

Le microbiote intestinal est composé
de 100 000 milliards de bactéries



© T.Muriel & T.Meylheuc / Inra



Joël DORÉ
Inra Jouy-en-Josas



© Inra

Directeur d'unité adjoint
UMR1319 Microbiologie
de l'alimentation
au service de la santé humaine
(Micalis)

Alimentation humaine

Comment apprendre à apprécier les légumes dès la diversification alimentaire ?



© Z.Marina / Fotolia

Remy E. et al. (2013) *Journal of Nutrition*, DOI: 10.3945/jn.113.175646 (175647 p.).

Caton S. J. et al. (2013) *British Journal of Nutrition* 109:2089-2097, DOI: 10.1017/S0007114512004126

Des travaux montrent que les jeunes enfants de moins de trois ans apprennent à apprécier un légume nouveau de manière durable sous l'effet de la répétition des expositions à cet aliment, et apprennent aussi combien en consommer. Le début de la diversification alimentaire (autour de six mois) est particulièrement favorable pour ces apprentissages. Trois stratégies ont été comparées : la familiarisation (en répétant les expositions au légume nouveau, l'association à une saveur appréciée (en accompagnant le légume d'une saveur sucrée) et l'association à une densité énergétique plus importante (par l'ajout de 10% d'huile).

Les résultats montrent que l'appréciation augmente par expositions

« Des stratégies de modulation du microbiote par des microorganismes vivants »

Quand ces études seront-elles appliquées à l'homme ?

La connaissance du microbiote sera une aide très significative dans le domaine de la prévention, de la prise en charge nutritionnelle ou thérapeutique et pour le suivi dans le temps des individus. Les connaissances récentes nous invitent plutôt à envisager une personnalisation des recommandations, basée sur la prise en compte du microbiote de chaque individu. Le délai pour que ces approches trouvent par exemple leur place au lit du malade reste difficile à évaluer. Des avancées concrètes sont néanmoins en cours d'élaboration pour que les découvertes récentes se traduisent en solutions techniques transférables au bénéfice de la société dans les deux ans.

Vos résultats ouvrent-ils de nouvelles perspectives de recherche en appui aux traitements anticancéreux ?

L'Inra a développé des compétences uniques dans le domaine de la caractérisation très précise du microbiote intestinal, contribuant en cela à donner à ce dernier un statut d'organe à part entière. Par ailleurs, la reconnaissance de l'importance du microbiote intestinal dans les maladies chroniques des sociétés modernes ne cesse de se renforcer. Nos résultats ouvrent de nouvelles perspectives en soulignant plus largement l'importance du dialogue « santé » entre le microbiote que chacun héberge et les tissus et organes de l'individu. L'Inra a vocation à apporter des connaissances nouvelles sur l'importance de ce dialogue et sur ses mécanismes intimes.

La qualité de l'alimentation au cours de la petite enfance impacte l'état de santé de l'adulte. Aussi, est-il crucial de pouvoir faire adopter de bonnes habitudes alimentaires aux enfants dès le début de la vie.

MÉTAPROGRAMME
DID'IT

Alimentation humaine

Impact d'une odeur de melon et de poire sur des intentions de choix alimentaires

DOI: 10.1016/j.foodqual.2013.06.008

Une part significative de nos comportements et de nos choix alimentaires est influencée par des processus non conscients. Afin d'approcher ces processus, nous utilisons un paradigme d'amorçage. Ce paradigme, classiquement utilisé en psychologie cognitive, repose sur le fait que la perception d'un stimulus (l'amorce), qu'elle soit consciente ou non, peut entraîner une modification du traitement d'un autre stimulus (la cible), et aboutir à une modification du comportement.

Deux études sont réalisées et pour la première fois, nous démontrons qu'une odeur de fruit (melon / poire) non consciemment perçue avait un impact sur les intentions de choix chez des adultes, guidant leurs choix vers des fruits ou des légumes. Les participants exposés à l'odeur de melon ont tendance à choisir plus souvent une entrée à base de légumes, et les participants exposés à l'odeur de poire choisissent significativement plus souvent un dessert contenant des fruits, comparés aux individus des groupes contrôles. À plus long terme, nous souhaitons poursuivre ces études en dehors du laboratoire afin de voir l'impact réel d'un amorçage olfactif sur des choix alimentaires en situation écologique.



© J. Weber / Inra

Physiologie animale & systèmes d'élevage

L'ingestion involontaire de sol est un contributeur majeur à la contamination par chlordécone des produits animaux

DOI: 10.1021/jf400697r

Les animaux élevés aux Antilles françaises peuvent être exposés à la chlordécone (CLD, un pesticide organochloré utilisé entre 1971 et 1993 pour lutter contre le charançon du bananier) via l'ingestion de sols pollués. La disponibilité relative de ce pesticide dans les sols volcaniques (persistante différemment selon les types de sols volcaniques) est établie chez le porcelet et l'agneau sevrés et chez la poule pondeuse. Les résultats obtenus indiquent ainsi que le risque de contamination des produits (tissus gras notamment) chez des animaux ingérant involontairement du sol pollué est élevé, et cela quel que soit le type de sol.

Des stratégies d'élevage permettant de diminuer le risque de contamination des produits doivent être développées. L'efficacité de pratiques permettant la décontamination des animaux et de leurs produits avant consommation, associées à l'utilisation de substances limitant l'absorption par l'animal du pesticide ingéré (lipides non absorbables, résines échangeuses d'anions), doit être évaluée.

Alimentation humaine

Les consommateurs de produits bio présentent des profils spécifiques

DOI: 10.1371/journal.pone.0076998

Le mode de vie, les habitudes alimentaires et l'état nutritionnel des consommateurs d'aliments biologiques sont rarement décrits, alors que l'intérêt pour une alimentation durable est nettement en hausse.

L'attitude des consommateurs et la fréquence d'utilisation de 18 produits biologiques sont évaluées parmi 54 311 participants adultes dans la cohorte Nutrinet-Santé. Les consommateurs réguliers de produits biologiques, un groupe important de notre échantillon, présentent des caractéristiques socio-démographiques spécifiques : les consommateurs d'aliments biologiques ont un niveau plus élevé d'éducation, un régime alimentaire qui présente un meilleur ajustement par rapport aux aliments et aux apports en micronutriments / fibres recommandés, ainsi qu'un concept de régime durable. Ils sont d'ailleurs moins en surpoids et moins obèses par rapport aux non consommateurs.



© C. Maître / Inra

Caractérisation & élaboration des produits issus de l'agriculture

La sensation d'astringence sous les rayons UV

DOI: 10.1002/anie.201304046

En dégustant une groseille pas très mûre, une tasse de thé ou un verre de vin, la sensation est la même, comme si, soudain, l'intérieur de la bouche s'asséchait : c'est l'astringence. À l'origine de cette sensation : l'interaction entre les tanins (des molécules produites par les plantes) et des protéines présentes dans la salive dites PRP pour protéines riches en proline. Le site d'interaction exact entre les deux composés chimiques n'avait pas encore été clairement identifié. Grâce à une nouvelle méthode, impliquant le rayonnement synchrotron dans l'ultraviolet lointain, couplée à la spectrométrie de masse, les chercheurs de l'Inra, de l'Université Paris-Sud, du CNRS et du Synchrotron, ont pour la première fois identifié les parties de la protéine IB5 où se lie le tanin. Cette technique sera particulièrement adaptée à l'étude des protéines intrinsèquement désordonnées (celles de la régulation du fonctionnement cellulaire ou impliquées dans différentes pathologies).



© M. Pilsch / Inra

Alimentation humaine

Des acides gras alimentaires influencent l'absorption intestinale de la vitamine D

DOI: 10.1016/j.jnutbio.2013.03.004

Ces travaux montrent que les acides gras libres ont un impact important sur les étapes clés régissant l'absorption de la vitamine D. Elle joue un rôle primordial dans de nombreux processus métaboliques. Malgré ses bénéfices sur la santé, plus d'un tiers de la population française est en carence. Mieux comprendre la biodisponibilité de cette vitamine pour en optimiser ses apports est donc une priorité de santé publique. Les acides gras affectent les propriétés physicochimiques des micelles mixtes, avec pour conséquence une influence sur le captage de la vitamine D par la cellule intestinale. L'acide oléique ou un mélange d'acides gras type « huile d'olive » améliorerait sensiblement l'absorption de vitamine D. Ces nouvelles données suggèrent ainsi que l'absorption intestinale de la vitamine D peut être optimisée et ouvrent la voie à une prochaine formulation d'une huile d'olive enrichie en vitamine D.

Alimentation humaine

Analyse de l'empreinte métabolique chez des femmes enceintes exposées aux pesticides

DOI: 10.1371/journal.pone.0064433

Une étude exploratoire sur 83 femmes enceintes de la cohorte Pelagie (Perturbateurs endocriniens étude longitudinale sur les anomalies de la grossesse, l'infertilité et l'enfance en Bretagne) réparties en trois groupes, en fonction du lieu de résidence des femmes dans des communes où les cultures de céréales sont plus ou moins présentes suggère qu'une exposition environnementale à des mélanges complexes de pesticides, pourrait conduire à des perturbations métaboliques chez les femmes enceintes. Des modifications des concentrations urinaires de composés tels que des acides aminés ou d'autres acides organiques ont en effet été observées, suggérant un stress oxydant et une modification du métabolisme énergétique. Pendant la grossesse, le fœtus est particulièrement vulnérable aux facteurs environnementaux et de faibles doses de substances toxiques pourraient être responsables d'atteintes du développement et d'effets sanitaires transgénérationnels.

Caractérisation & élaboration des produits issus de l'agriculture

Lait liquide ou gélifié, du pareil au même pour la digestion ?

DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.09.022

Protéines différentes, digestion différente : toutes les compositions du lait ne se valent pas lors de la digestion. Plus surprenant, pour une même composition, toutes les formes de lait – liquides ou gélifiées – non plus. C'est ce que montre cette étude expérimentale récente appuyée par un modèle mathématique. Le facteur-clé est le temps de passage dans l'estomac qui modifie la vitesse de digestion et d'apparition des acides aminés dans le sang. Ce modèle tient compte non seulement des étapes de digestion mais aussi des phénomènes qui surviennent dans l'estomac (coagulation du lait, synérèse des agrégats). Ces résultats offrent ainsi des perspectives intéressantes en vue de prédire comment les aliments, et plus particulièrement les produits laitiers, doivent être formulés pour répondre à des propriétés nutritionnelles pour des catégories de population ciblées (nourissons, personnes âgées atteintes de fonte musculaire...)

Des virus bactériens impliqués dans des maladies nosocomiales



Matos R. C. et al. (2013), PLOS Genetics, DOI: 10.1371/journal.pgen.1003539

Nous mettons en évidence chez la bactérie *Enterococcus faecalis* un lien entre le mode d'action de prophages (génomés de virus intégrés dans des génomes de bactéries) et l'apparition de maladies infectieuses, dont des endocardites d'origine nosocomiale. Ils montrent également que des antibiotiques de la famille des fluoroquinolones augmentent l'activité de ces prophages, ce qui provoque, d'une part l'augmentation du potentiel infectieux des bactéries et, d'autre part la diffusion de gènes de virulence à d'autres bactéries. Ces travaux ouvrent la voie à une meilleure connaissance des mécanismes en jeu dans certaines maladies infectieuses.

Découverte d'une nouvelle cible thérapeutique chez *E. Coli*

DOI: 10.1371/journal.ppat.1003437

Nous mettons en évidence chez la bactérie *Escherichia coli* des interactions complexes entre les voies de biosynthèse de divers facteurs de virulence : la colibactine, une gènes toxine potentiellement cancérigène, et les sidérophores, molécules impliquées dans la captation du fer qui est essentiel à la survie des bactéries. Cette étude ouvre des perspectives prometteuses quant à l'élaboration de nouveaux traitements antibactériens.

Cerveau et multi-expositions chroniques précoces aux faibles contaminants alimentaires

DOI: 10.1016/j.toxlet.2013.05.014

Pour mieux valoriser la qualité nutritionnelle et la fonctionnalité des aliments, il est indispensable de maîtriser les risques de leur contamination afin de mieux les sécuriser. Dans cet objectif, la recherche met en place un projet soutenu par l'ANR autour d'un consortium européen pour l'évaluation des risques neurotoxiques des expositions précoces et chroniques aux aliments faiblement contaminés chez des mères gestantes et/ou allaitantes. Quelques extraits des résultats obtenus en 2013 portent sur un cocktail d'une association de 6 PCB-NDL, très présent dans les poissons, et qui montrent les effets sur le cerveau via des évaluations comportementales, moléculaires et transcriptomiques.

Altération de l'homéostasie buccale par le bisphénol A chez le rat

DOI: 10.1111/odi.12078

Le bisphénol A, consommé quotidiennement dans l'eau de boisson, entraîne une sécheresse buccale, une diminution de la consommation d'eau et une modification des préférences au sucré/salé chez le rat adulte. Ces effets sont couplés à une modification des structures sécrétrices des glandes salivaires sub-mandibulaires. Ceci suggère une perturbation endocrinienne et/ou métabolique des voies de régulation impliquées dans le contrôle de la soif et dans la régulation des sécrétions salivaires.

L'arôme sans le nitrite dans les charcuteries...

DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.01.033

Minimiser les apports en nitrite dans le jambon, oui... mais les consommateurs boudent alors cette charcuterie pour défaut d'arôme. Explication ? Le nitrite agit comme antioxydant, évitant une production massive de composés d'oxydation des lipides qui va masquer l'arôme « jambon cuit » dû à quelques composés soufrés récemment identifiés. Ces résultats ouvrent des pistes pour s'affranchir du nitrite, additif controversé sur un plan sanitaire mais jusqu'ici essentiel pour l'arôme, la couleur et la conservation des charcuteries cuites.

Des approches prédictives en biologie

Modéliser, recouper, décrypter, synthétiser. La prédiction se nourrit de la quantification des interactions reliant les différents niveaux du vivant pour mieux anticiper ce que seront les sciences de la vie, demain et après.

Microorganismes, animaux, plantes, écosystèmes... à différentes échelles, nous participons à l'amélioration des outils de prédiction qui seront des instruments précieux d'aide à la décision dans un contexte de changement global.

Génétique animale

Identification de quatre mutations responsables de mortalité embryonnaire chez les bovins



La fertilité est un enjeu important de la durabilité de la production laitière. Les mutations induisant une mortalité précoce durant la gestation sont difficiles à mettre en évidence : elles ne provoquent individuellement qu'une faible perte de fertilité

Fritz S. et al. (2013), Plos One, DOI: 10.1371/journal.pone.0065550



Certaines maladies létales au niveau embryonnaire sont difficiles à détecter car elles n'apparaissent que lorsque les deux allèles défectueux du gène responsable sont présents simultanément chez un individu. Le fort taux de mortalité observé lors d'un croisement visant la production d'animaux homozygotes suggère la présence silencieuse de cet allèle défectueux chez les parents. Des régions du génome portant des

10

Un effet significatif négatif sur la fertilité est observé, pour 10 de ces 33 régions identifiées, dans les accouplements à risque entre taureaux porteurs et filles de taureaux porteurs



© S.Normant / Inra



Didier BOICHARD
Inra Jouy-en-Josas



© Inra

UMR1313
Génétique animale et biologie
intégrative (Gabi)
Animateur équipe G2B
Génétique et génomique bovine

Génétique animale

L'analyse de la structure d'un réseau de gènes permet de mieux comprendre les fonctions biologiques associées



Ipsium Lorem © Inra2013

Villa-Vialaneix N. et al. (2013), PLoS One, DOI: 10.1371/journal.pone.0060045

Dans ce cadre, l'étude d'un réseau de gènes co-exprimés s'est avérée utile : utiliser une approche par réseau permet d'augmenter la robustesse du modèle et d'intégrer des gènes encore inconnus. Une étude est menée sur du muscle squelettique de porc et l'analyse d'un réseau de 272 gènes a permis de proposer des fonctions biologiques pour les gènes inconnus. En outre, l'utilisation d'une approche statistique a mis en relation la

structure du réseau de co-expression avec un phénotype d'intérêt. Cette approche conduit à mettre en évidence des gènes importants - qui seront la cible privilégiée d'études ultérieures - ou des groupes de gènes qui forment des sous-réseaux denses en relation avec le pH du muscle du porc.

Peut-on identifier des fonctions biologiques spécifiques associées à des gènes dont l'expression est corrélée ? En outre, peut-on analyser les relations entre ces gènes et un phénotype d'intérêt ? Ces questions sont particulièrement difficiles à aborder lorsque la connaissance et l'annotation du génome sont incomplètes, comme c'est le cas pour certaines espèces comme le porc.

« Connaître le génotype des reproducteurs pour identifier les porteurs »

Comment révéler la présence silencieuse d'un allèle défectueux ?

Un génotype léthal à un stade précoce de gestation est difficile à mettre en évidence car il ne se traduit que par une baisse de fertilité dans les accouplements à risque, sans autre signe clinique. Pour mettre en évidence une mutation létale sans information *a priori* sur le gène impliqué, on peut rechercher des génotypes manquants dans la population. Pour cela, il faut disposer d'une base de données suffisamment grande d'individus génotypés pour des marqueurs couvrant le génome.

Comment limiter le nombre d'animaux porteurs des gènes en question ?

L'identification des mutations en cause permet de développer des tests afin de connaître le génotype des reproducteurs et donc d'identifier les porteurs. Cette information peut alors être incluse dans l'objectif de sélection, conduisant à l'élimination progressive des mutations délétères.

Quelle est la proportion de mortalité précoce sur la population d'étude de 76 177 animaux typés ?

Le taux de mortalité dans la population due à ces anomalies est généralement assez réduit, du fait de leur fréquence souvent faible. Par exemple, si leur fréquence allélique est de l'ordre de 5% ou 10% (valeur élevée pour ce type d'anomalie), la perte de fertilité est respectivement de 0,25% et 1%. Ce ne sont donc pas ces mutations (en tout cas pas elles seules) qui sont à l'origine de la baisse de fertilité des vaches laitières.

Physiologie animale & systèmes d'élevage / Sciences pour l'action & le développement

Modéliser les effets combinés de la sélection génétique et de la conduite d'élevage sur les performances du troupeau

DOI: 10.3168/jds.2012-6374

Une approche est proposée pour comprendre et explorer les effets combinés de la sélection génétique des animaux et de la conduite d'élevage sur les performances zootechniques d'un troupeau. Cette approche repose sur un modèle animal appliqué à la chèvre laitière décrivant l'allocation de la ressource alimentaire entre les différentes fonctions biologiques. L'utilisation du modèle montre que la robustesse des animaux est un critère très important à prendre en compte dans la construction de la performance du troupeau.



© M.Meuret / Inra

Microbiologie & chaîne alimentaire

Explorer de nouvelles régulations de la synthèse protéique chez les bactéries par des approches de biologie des systèmes

DOI: 10.1371/journal.pone.0059059

DOI: 10.1186/1471-2164-14-588



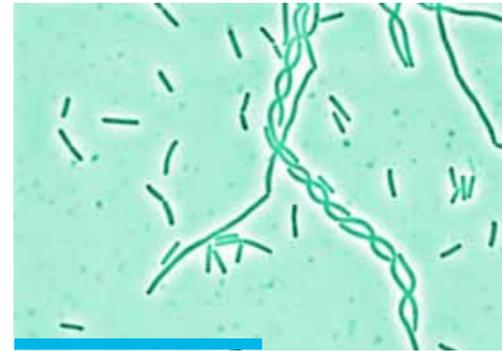
© FCarnetas / Inra

Un des enjeux majeurs dans le domaine des biotechnologies consiste à faire produire par des bactéries, des protéines en forte concentration soit pour améliorer la production de la protéine elle-même soit pour détourner le métabolisme de la bactérie vers des composés à forte valeur ajoutée. Les approches classiques d'amélioration de production protéique s'avèrent insuffisantes pour lever les verrous rencontrés. Des résultats en biologie des systèmes nous permettent de démontrer la présence chez les bactéries de nouvelles régulations du processus de synthèse protéique et donc d'identifier des leviers potentiels pour améliorer la synthèse de protéines.

Microbiologie & chaîne alimentaire

Le rôle de la régulation transcriptionnelle du génome réexaminé par la biologie des systèmes

DOI: 10.1038/msb.2013.66.



© F.Carballido-Lopez / Inra

Qu'est-ce qui est déterminant pour l'adaptation du métabolisme d'une bactérie à un environnement changeant ? Plusieurs niveaux de contrôles peuvent co-exister dans une cellule ou un microorganisme. La transcription des gènes est régulée par des protéines spécifiques, la traduction des ARNs en protéines est également contrôlée et l'activité même de ces protéines est souvent soumise à différents facteurs. Nous utilisons la bactérie modèle *Bacillus subtilis* pour étudier huit stades métaboliques soumis à des environnements fluctuants. Une analyse systématique et quantitative démontre que les contrôles transcriptionnels n'expliquent pas tout et que les contrôles allostériques directs ou des modifications des enzymes sont essentiels.

Santé des plantes & environnement

Développement de l'indexage NGS (Next generation sequencing) pour le diagnostic viral chez les plantes

DOI: 10.1094/PHYTO-10-12-0275

L'utilisation des nouvelles technologies de séquençage sur des plants fruitiers atteints de maladies d'étiologie inconnue permet une caractérisation approfondie de virus connus et la mise en évidence d'une diversité plus large que celle montrée jusqu'à présent. D'autres virus inconnus infectant l'échantillon sont découverts. La puissance de cette approche laisse envisager un renouvellement total des démarches d'indexage viral. Ces résultats conduisent à la mise en place d'un plateau technique d'indexage viral ouvert à l'ensemble des partenaires Inra.



© Inra

GNPIS, un système d'information dédié aux plantes d'intérêt agronomique et à leurs champignons phytopathogènes

DOI: 10.1093/database/bat058.

L'intégration des données est aujourd'hui un enjeu majeur de la bioinformatique moderne. GNPIS est un système d'information performant développé à l'Inra. Entièrement dévolu aux plantes et à leurs champignons pathogènes, il fait le lien entre structure du matériel génétique et traits agronomiques. Ouvert à l'international, il est l'élément clé de nombreux projets d'envergure développés en partenariat.

MÉTAPROGRAMME GISA

Identification de biomarqueurs sanguins informatifs pour étudier et comprendre la capacité immunitaire du porc

DOI: 10.1186/1471-2164-14-894

Le sang est un tissu cible pour rechercher des biomarqueurs permettant de caractériser l'état physiologique des individus. Dans le cadre de travaux chez le porc, le transcriptome du sang est informatif pour qualifier des paramètres immuns : des gènes biomarqueurs de sous-populations sanguines, de capacité phagocytaire, et de production *in vitro* de cytokines ont été trouvés. Ces travaux visent à inscrire des caractères de santé et d'immunocompétence dans les objectifs de sélection.



© C.Maitre / Inra

Une nouvelle méthode de calcul applicable aux modèles complexes

Mengersen K.L. et al. (2013). PNAS, DOI: 10.1073/pnas.1208827110

Nous développons une méthode différente de celle basée sur des simulations empiriques pour déterminer les paramètres de modèles statistiques, impossibles à calculer de façon exacte. Cette méthode représente un gain de temps considérable en contournant les simulations de modèles et est applicable à un grand nombre de modèles mathématiques. Le procédé est illustré par plusieurs exemples, y compris l'estimation des distributions standard, les séries chronologiques, et les modèles de génétique des populations.



© B.Nicolas / Inra

MÉTAPROGRAMME SELGEN

Pour une meilleure prise en compte des effets de dominance dans les évaluations génomiques

DOI: 10.1534/genetics.113.155176

Des méthodes de prédiction génomique de type GBLUP sont développées pour tenir compte des effets additifs et dominants des marqueurs, puis testées sur des jeux de données réelles (souris, bovins laitiers). Elles permettent de mieux planifier des accouplements raisonnés pour maximiser la dominance afin d'optimiser la performance des animaux.



© Inra

MÉTAPROGRAMME MEM

Premier succès en métaprotéomique pour la plate-forme PAPPISO

DOI: 10.1038/ismej.2013.120.

La métaprotéomique vise à identifier les peptides et les protéines d'un écosystème complexe. La plate-forme PAPPISO est impliquée dans deux projets de ce type, dédiés aux écosystèmes microbiens de dépollution anaérobie et à ceux du tube digestif humain. Ces travaux permettent d'identifier les fonctions et marqueurs indiquant le bon ou mauvais fonctionnement d'un système et ainsi d'identifier des pistes pour intervenir sur ces systèmes.



© W.Beaucardet / Inra

Agroécologie

Des sols aux paysages, des parcelles et des troupeaux aux territoires.
Comprendre le fonctionnement des agroécosystèmes, caractériser et évaluer leurs services, tirer parti de leur biodiversité et la conserver, développer des pratiques adaptées et innovantes.
L'agroécologie combine l'écologie et les sciences agronomiques pour faciliter les transitions vers de nouveaux systèmes agricoles performants et durables.



Sciences sociales, agriculture & alimentation,
espace & environnement

De la recherche à l'action : les leviers pour une transition agroécologique réussie



S'appuyant sur 20 années de recherches pionnières dans le domaine, l'Inra mobilise avec succès tous les acteurs concernés, pour une journée consacrée à l'agroécologie le 17 octobre 2013, placée sous le haut patronage du ministre en charge de l'agriculture

Pour chaque système agricole, du bio au conventionnel jusqu'au plus intensif, les scientifiques proposent des innovations et des pistes pour concilier performances environnementales et économiques. Ce colloque « Agroécologie et recherche » rassemble près de 400 personnes venant d'horizons très diversifiés. Sa préparation implique plus de 150 chercheurs et ingénieurs de l'Inra, d'autres organismes de recherche et d'écoles d'agronomie rassemblés dans AllEnvi et Agreenium, d'instituts techniques, de chambres d'agriculture...



Utiliser la biodiversité, gérer les paysages et les territoires, comprendre les grands cycles des éléments : ce sont les trois leviers identifiés par l'Inra pour s'engager dans une transition agroécologique (voir l'interview de Jean-François Soussana les détaillera en page suivante). L'ensemble des participants soulignent la nécessité d'approches intégrées, multi-échelles et multidisciplinaires, s'appuyant notamment sur des dispositifs de suivi à long terme (observatoires de recherche en environnement, zones ateliers), et sur des outils de modélisation. L'acquisition et la diffusion des connaissances, la formation, l'action concertée des acteurs, ou encore l'apport des nouvelles technologies (technologies haut débit, données satellitaires, drones, puce RFID...) sont d'autres éléments incontournables.

L'organisation par la FAO en 2014 d'une conférence technique sur l'agroécologie, avec le soutien du gouvernement français, est également annoncée dans un message adressé par son Directeur général.

3

L'Inra mène depuis 20 ans des travaux conjuguant écologie et sciences agronomiques. Il est aujourd'hui au 3^e rang mondial pour les publications scientifiques liées à cette discipline émergente



© B.Nicolas / Inra



Jean-François SOUSSANA
Directeur scientifique Environnement



© C.Maire / Inra

Ingénieur agronome,
Docteur ès Sciences
auteur du chapitre « Europe »
du rapport du Groupe II du
Groupe intergouvernemental
d'études sur le climat (Giec)

Sciences pour l'action & le développement

Favoriser les services rendus par des insectes dans les parcelles agricoles : le rôle des aménagements paysagers



© A.Fraval / Inra

Raymond L. et al. (2013), *Plos One*, DOI: 10.1371/journal.pone.0072997
Raymond L. et al. (2013), *Molecular Ecology*, DOI: 10.1111/mec.12483

Un groupe d'insectes est *a priori* particulièrement important à favoriser : les syrphes aphidiphages, car ils fournissent un double service de contrôle biologique des pucerons et de pollinisation dans les agroécosystèmes. Les mouvements migratoires et le brassage à large échelle permettent ainsi un flux de gènes permanent qui conduit à une diversité génétique importante dans les populations de syrphes aphidiphages européennes. Cette diversité soutient de fortes capacités adaptatives qui font de ces insectes des auxiliaires particulièrement intéressants dans le contexte actuel de changement global.

« Concilier exigences de production et d'environnement »

La biodiversité est l'un des principaux leviers identifiés. Quelles expériences sont à développer ?

L'enjeu est de replacer la biodiversité au sein des systèmes de production agricole afin d'accroître leur flexibilité sans compromettre leur viabilité économique. Les exemples concernent quatre niveaux d'organisation : la diversité génétique (associer des variétés de blé pour renforcer la résistance), la diversité spécifique (l'association céréales-légumineuses ou encore la complémentarité bovins et caprins au pâturage), la diversité fonctionnelle (il a été montré que les cultures agricoles entre des lignes d'arbres sont moins sujettes aux pullulations de ravageurs) et enfin les réseaux écologiques (faune auxiliaire et pollinisateurs).

Deux autres leviers ont été mis en avant dans vos travaux : l'aménagement des territoires et le bouclage des grands cycles...

Pour le premier, il s'agit de gérer, individuellement ou collectivement, une mosaïque paysagère ou un bassin versant, et d'intégrer cette gestion agroécologique dans l'aménagement et le développement d'un territoire pour permettre de mieux préserver l'eau et les sols et renforcer la régulation des bio-agresseurs et la pollinisation.

Pour le dernier levier identifié, il s'agit d'éviter les pertes, les gaspillages (énergie, nutriments, matière organique des sols) et la pollution (de l'eau, de l'air et émissions de gaz à effet de serre), en favorisant le recyclage des effluents d'élevage et le bouclage des grands cycles (carbone, azote, phosphore...)



Identifier la provenance des organismes ravageurs et auxiliaires qui colonisent les parcelles agricoles est une question cruciale lorsque l'on cherche à optimiser les services écosystémiques dans ces parcelles.

MÉTAPROGRAMME
SMACH

Écologie des forêts, prairies & milieux aquatiques

Google Street View® pour localiser des insectes invasifs



Jérôme Rousselet, et al. (2013), PLOS ONE, DOI: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0074918>

La chenille processionnaire du pin est un insecte dont les larves tissent des nids d'hiver en soie de couleur blanche, notamment dans les arbres situés le long des routes. Cette particularité rend l'utilisation de Google Street View® très intéressante. Le système donne accès à des vues panoramiques le long des routes, et permet d'identifier de nombreux détails.

Les chercheurs délimitent une aire d'observation qui recouvre une surface d'environ 47 000 km² de la région Centre et qui est divisée en 183 « cellules d'échantillonnage » de 16x16 km. Pour chaque cellule,

les chercheurs notent la présence ou l'absence de nids. Les données sont collectées par observation directe sur le terrain et *via* GSV. En les comparant, ils ont déterminé que GSV est un bon indicateur de valeurs mesurées sur le terrain et offre une fiabilité de l'ordre de 90% à cette résolution. Ces résultats ouvrent des perspectives importantes pour simplifier et diminuer les coûts d'acquisition de données pour étudier la présence d'organismes invasifs (par exemple la mineuse du marronnier ou la chararose du frêne) et l'évolution de leur répartition géographique.



Sciences pour l'action & le développement

Évaluation multicritère des services rendus par l'élevage dans les territoires

Ryschawy J. et al. (2013), Annual Meeting of the European Association of Animal Production, Session 22A - Services provided by livestock farming systems: ecological, economic and social dimensions, 27 August 2013, Nantes, France.

L'élevage est un acteur essentiel des territoires ruraux, au sein desquels il contribue au maintien de la fertilité des sols, à l'entretien des paysages, à la vitalité rurale, à la création d'emploi ou encore au patrimoine et à l'identité culturelle. Cette étude révèle quatre grands types d'association de services rendus par l'élevage dont la distribution spatiale est non aléatoire. Le premier type correspond à des niveaux élevés de fourniture de services de production de biens alimentaires et de services de vitalité territoriale. Le second type se distingue par un niveau élevé de services de qualité environnementale alliés à une fourniture importante de services d'identité culturelle. Les deux autres types de bouquets correspondent à des sous-types des deux précédents mais avec un niveau modéré de fourniture de services. Une perspective importante de ce travail consiste à étudier les principaux déterminants socio-économiques, politiques, écologiques et géographiques de la composition des bouquets de services, pour informer les décideurs politiques et la société, mais également aider les différents acteurs des filières animales à mieux connaître les services et à en améliorer leur production.

Santé des plantes & environnement

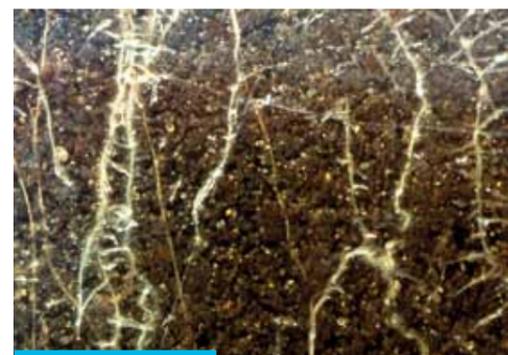
Retour aux racines : l'écologie microbienne de la rhizosphère

Philippot L. et al. (2013), Nature reviews microbiology, DOI: [10.1038/nrmicro3109](https://doi.org/10.1038/nrmicro3109)

La rhizosphère est l'interface entre les racines des plantes et le sol où les interactions entre une myriade de microorganismes et les invertébrés affectent les cycles biogéochimiques, la croissance des plantes et la tolérance aux stress biotiques (du vivant sur le vivant) et abiotiques.

La compréhension de l'écologie et de l'évolution de la rhizosphère est la clé principale pour améliorer le fonctionnement des écosystèmes.

Les développements récents de la recherche sur la rhizosphère concernent l'évaluation de la contribution des microorganismes et des petits végétaux (macroflore) à une agriculture plus durable, la préservation des écosystèmes naturels, le développement des cultures dédiées à la biomasse et l'atténuation de la portée des changements climatiques.



Ipsium Lorenz © Inra2013



Santé des plantes & environnement

Un outil d'aide à la décision à l'échelle de la France afin de prévenir les pullulations de pucerons du blé

DOI: [10.1016/j.ecoinf.2012.11.004](https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2012.11.004)

Les pucerons des céréales, et en particulier le puceron « des épis », *Sitobion avenae*, sont des ravageurs occasionnels graves du blé au printemps en Europe de l'Ouest. En cas de fortes pullulations, ils peuvent entraîner des baisses de rendement pouvant aller jusqu'à plusieurs dizaines de quintaux à l'hectare. Un modèle décrivant leur dynamique de 1975 à 2011 (taux d'accroissement des pucerons, distributions initiales des populations, taux d'envol, taux d'atterrissage, vitesse de déplacement) a été élaboré. Il permet de décrire une vague dispersive printanière Sud-Ouest – Nord-Est des pucerons sous l'effet des conditions agroclimatiques annuelles et de leurs variations locales à l'échelle de 25 km² (températures de l'hiver précédent et du printemps, surfaces en blé et phénologie des principaux cultivars). Il est envisagé d'étendre cette étude à d'autres espèces de pucerons et d'améliorer encore les possibilités d'aide à la décision.



© J.M. Rabasse / Inra



Environnement & agronomie

Première observation de minéralisation de la chlordécone dans des sols de la sole bananière antillaise

DOI: [10.1016/j.scitotenv.2013.06.044](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.044)

La chlordécone (CLD), insecticide persistant, appliquée de 1972 à 1993, a contaminé les sols de la sole bananière antillaise. Pour la première fois, en microcosmes en conditions aérobies avec des sols réels, nous observons qu'il existait une minéralisation significative, mais de courte durée, de la chlordécone fraîche lors de son apport sur les sols. Le résultat obtenu indique l'existence dans des sols réels de microorganismes pouvant dégrader la CLD en conditions aérobies à l'échelle macroscopique. Cela permet d'envisager la mise au point de stratégies de remédiation des sols. Il est nécessaire à présent de rechercher les microorganismes impliqués dans ce mécanisme et d'élucider les facteurs de contrôle de leur activité pour la favoriser *in situ*. Ce type de travail est conduit notamment par une équipe de microbiologistes menée par Fabrice Martin-Laurent (UMR Agroécologie Dijon).

Environnement & agronomie

Guide d'identification et de délimitation des sols de zones humides

Ministère de l'Écologie, du développement durable et de l'énergie, Groupement d'intérêt scientifique Sol, 63 pages.



© B. Cauvin / Inra

À la demande du ministère en charge de l'écologie, un guide pour l'observation et la compréhension des sols de zones humides est élaboré par l'Inra. La première partie rappelle le contexte de la mise en place de l'arrêté sols de 2008, aussi bien au niveau réglementaire que scientifique, notamment pédologique. La seconde partie présente les sols de zones humides retenus par l'arrêté. Les éléments permettant de les déterminer sont décrits, ainsi que la liste des types de sols correspondants. Leurs méthodes de reconnaissance sur le terrain ou à partir de données et de cartes pédologiques existantes sont présentées en détail. Chaque type de sol de zones humides identifié dans l'arrêté fait enfin l'objet en annexe d'une fiche synthétique de présentation et de reconnaissance. À la suite de ce travail, le ministère demande à l'Inra de réaliser une modélisation France entière des zones humides potentielles, en cohérence avec les critères de l'arrêté. Ce travail est en cours de réalisation en partenariat avec Agrocampus Ouest.

Contribuer à élaborer un projet de territoire pour réconcilier élevage et littoral (projet ANR Acassya)

DOI: [10.1016/j.envsoft.2013.04.006](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.04.006)

Face au problème des algues vertes en Bretagne, nous développons, dans le projet Acassya, un modèle pour tester l'impact de scénarios de changement de systèmes de production sur les fuites d'azote. Ce modèle est co-construit avec les acteurs locaux pour aller vers une agriculture combinant viabilité économique et très faibles émissions polluantes, base du projet territorial de la Lieuue de Grève (Côtes d'Armor).

Analyse écophysiological de la nitrophilie des espèces adventices

Moreau D. et al. (2013), The Sixteenth Symposium of European Weed Research Society, 24-27 June 2013

Par une approche d'écophysiological végétale, nous analysons les déterminants du succès des adventices nitrophiles dans les systèmes de culture intensifs caractérisés par une forte utilisation d'engrais azotés. Cette étude suggère qu'un meilleur pilotage de la fertilisation azotée, en fonction de la nitrophilie relative des espèces cultivées et adventices, pourrait être un levier pour favoriser la croissance de la culture au détriment de celle des adventices dans des systèmes de culture moins dépendants des herbicides.



© G. Louvriot / Inra



Éclairage sur... la biodiversité

L'étude de la biodiversité, de l'identification des variabilités inter ou intraspécifiques au rôle fonctionnel qu'elle peut jouer dans des approches émergentes comme l'agroécologie, constitue un défi majeur de la biologie moderne. L'Inra participe à cet effort de recherche, le plus souvent en collaboration avec nos partenaires académiques ou socio-économiques car l'étude complexe de la biodiversité qui nous entoure ne peut être l'apanage d'une seule organisation de recherche. Voici résumés quelques publications qui montrent l'importance de ces études.

Écologie des forêts, prairies & milieux aquatiques

Le rôle écologique des espèces rares



© M.Dunier / Inra



Mouillot D. et al. (2013) *Plos Biology*, DOI: 10.1371/journal.pbio.1001569

De nombreuses espèces rares jouent un rôle écologique unique, et sont, de ce fait, irremplaçables, même dans les écosystèmes les plus diversifiés de la planète. C'est ce que vient de montrer une équipe internationale menée par des chercheurs du CNRS, de l'Université Montpellier 2, de l'Inra, de l'EPHE et de l'IRD. À partir de données issues de trois écosystèmes très différents (récifs coralliens, prairies alpines et forêts tropicales), les scientifiques découvrent que les

fonctions écologiques uniques (comme une résilience exceptionnelle au feu et à la sécheresse) sont majoritairement portées par les espèces rares et sont donc particulièrement vulnérables à l'érosion de la biodiversité. Ces fonctions pourraient s'avérer cruciales pour le fonctionnement des écosystèmes en cas de changements environnementaux majeurs. Ces travaux montrent que la sauvegarde de la biodiversité dans son ensemble est capitale pour la résilience et la survie des écosystèmes.

Environnement & agronomie

Processus de diversification des communautés bactériennes du sol à grande échelle

Ranjard L. et al. (2013) *Nature Communications*, DOI: 10.1038/ncomms2431

La distribution spatiale des communautés microbiennes du sol et les processus impliqués dans cette distribution sont encore largement méconnus à grande échelle (paysage, région, territoire). Pour répondre à cet objectif, nous avons caractérisé la diversité des communautés bactériennes sur les sols du Réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS) et appliqué la relation aire-espèce à ces communautés. Nous démontrons ainsi pour la première fois que cette relation aire-espèce était significative à grande échelle et qu'elle était corrélée positivement à la diversité et l'hétérogénéité des habitats du sol. Grâce à cette

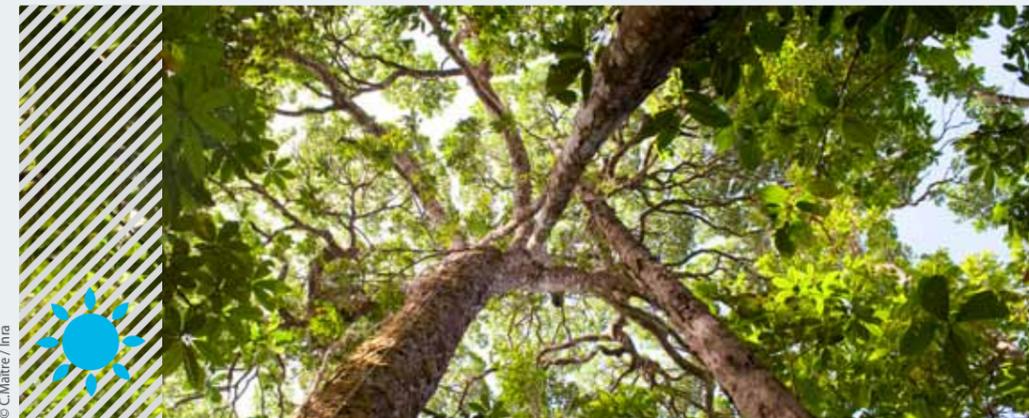
étude, nous mettons aussi en évidence que les processus de sélection et de dispersion des espèces étaient mutuellement impliqués dans la diversification des communautés microbiennes du sol à grande échelle.



© C.Raite / Inra

Écologie des forêts, prairies & milieux aquatiques

Forêt amazonienne : le premier inventaire à grande échelle révèle une hyper dominance de 227 espèces d'arbres



© C.Maitre / Inra



Ter Steege H. et al. (2013), *Science*, DOI: 10.1126/science.1243092

Une étude internationale, à laquelle ont participé des scientifiques de l'IRD, de l'Inra, du CNRS et du Cirad, avec l'appui de l'herbier IRD de Guyane, vient de dresser le premier inventaire à large échelle des arbres du Bassin amazonien. Après avoir mis en évidence que la première forêt tropicale humide du monde est composée

de près de 390 milliards d'arbres appartenant à environ 16 000 espèces différentes, les chercheurs révèlent que seulement 227 espèces sont hyper dominantes et représentent plus de la moitié des arbres de l'Amazonie. Ces résultats, qui ont également permis d'estimer à 11 000 le nombre d'espèces rares, sont publiés sous forme d'un article de synthèse.

Biologie & amélioration des plantes

La collection de ressources génétiques de la vigne : une ressource majeure pour la recherche et l'exploitation de gènes d'intérêt et la compréhension du processus de domestication



© G.Pelsy / Inra

Ter Steege H. et al. (2013), *Science*, DOI: 10.1126/science.1243092

L'année 2013 a vu une valorisation remarquable de la collection de ressources génétiques de la vigne : plusieurs publications apportent une vision à l'échelle mondiale du processus de domestication de la vigne ainsi que des outils pour cribler les ressources génétiques de façon raisonnée pour des caractères d'intérêt. Une autre publication

vient également concrétiser 16 ans de collaboration entre trois unités de l'Inra et une équipe du CSIRO sur la caractérisation moléculaire de gènes de résistance au mildiou et à l'oïdium issus de l'espèce apparentée *Muscadinia rotundifolia*.



Éclairage sur... Le décryptage des génomes

La connaissance d'un génome, sa séquence et l'ordre de ces séquences sur les chromosomes, est souvent l'occasion de révélations extraordinaires par exemple sur la reproduction asexuée, sur une surprenante complexité chez un microorganisme ou encore sur une symbiose ancienne. Elle est aussi une condition essentielle à toute amélioration des potentialités phénotypiques de ce génome, qu'il s'agisse d'augmenter un rendement ou d'y détecter des séquences particulières. La complexité des organismes supérieurs se traduit, sauf exception, par une complexité à peu près proportionnelle de la taille et de la dynamique de son génome. La plupart des génomes annotés obtenus aujourd'hui sont le fruit de *consortia* rassemblant plusieurs pays, et l'Inra est associé à ces efforts internationaux de décryptage des génomes. Les résultats de ces études sont valorisés dans des revues de notoriété exceptionnelle.

Santé des plantes & environnement

Un animal à la reproduction asexuée livre ses mystères



Jean-François Flot et al. (2013), *Nature*, DOI: 10.1038/nature12326

Dans le cadre d'un consortium international rassemblant le CEA-Genoscope, l'Université de Namur, le CNRS et l'Inra, le génome d'un rotifère bdelloïde, animal microscopique aux capacités de survie et de reproduction surprenantes et controversées, est séquencé puis analysé. Les résultats de cette étude confirment les données biologiques et paléontologiques suggérant que les rotifères bdelloïdes se reproduisent

de manière exclusivement asexuée depuis des dizaines de millions d'années. Ce « scandale évolutif » est maintenant expliqué : l'analyse du génome révèle une structure incompatible avec la reproduction sexuée ainsi que des mécanismes permettant d'éviter les conséquences génétiques néfastes de l'asexualité.

© B.Hespeels / Université de Namur

Génétique animale

Contribution au séquençage de génome du Canard colvert



© AH.Cain / Inra

Huang, Y. et al. (2013), *Nature Genetics*, DOI:10.1038/ng.2657

Nous contribuons aux travaux du consortium pour le séquençage du canard commun (*Anas platyrhynchos*). Le séquençage est réalisé au Beijing Genomics Institut (Chine) selon la stratégie développée originellement pour le séquençage du génome du panda. Les fragments de séquence sont ensuite assemblés en tenant compte des données de

carte physique et de carte comparée. Nous participons à la production de la carte physique, à la vérification de l'assemblage des fragments de séquences, à l'ordonnancement et à l'annotation du génome par séquençage de transcrits.

Santé des plantes & environnement

Le génome d'un champignon à arbuscule mycorhize éclaire la plus vieille symbiose chez les plantes

Tisserand E. et al. (2013), *PNAS* doi:10.1073/pnas.1313452110

La symbiose mutualiste implique des champignons mycorhiziens à arbuscules, importants dans le cycle du phosphore qui est essentiel à la productivité durable des plantes cultivées. Leurs caractéristiques biologiques inhabituelles laissent penser qu'ils peuvent maintenir un assemblage stable de plusieurs génomes différents au cours de leur cycle de vie. Cependant le faible niveau de polymorphisme du génome de *Irregularis Rhizophagus* n'est pas compatible avec la présence de plusieurs génomes divergents. La biotrophie obligatoire est caractérisée par une absence de gènes codant pour des enzymes de dégradation des parois cellulaires des plantes et de gènes impliqués dans la synthèse de la toxine et de la thiamine. Le répertoire complet des gènes de *I. Rhizophagus* fournit une base solide pour de futures recherches sur les mécanismes liés à cette symbiose mutualiste.

Santé des plantes & environnement

Le génome d'*Amborella* et l'évolution des plantes à fleurs

Betsy A. Read et al. (2013), *Nature*, DOI: 10.1038/nature12221

Originaire de Nouvelle-Calédonie, *Amborella trichopoda* est la seule espèce vivante de la lignée sœur de toutes les autres plantes à fleurs existantes. Elle fournit une référence unique pour déduire le contenu et la structure du génome d'un ancêtre commun à toutes les angiospermes vivantes. De nouvelles familles de gènes, des duplications et réarrangements de gènes et des interactions entre protéines florales sont identifiés, ainsi que des éléments transposables anciens et très divergents.

Génétique animale

Séquençage et cartographie automatisée de l'ensemble du génome d'une chèvre domestique (*Capra hircus*)

Dong Y. et al. (2013), *Nature biotechnology*, DOI: 10.1038/nbt.2478

La séquence du génome d'une chèvre noire femelle du Yunnan est obtenue par une méthode originale, combinant des données de séquences courtes et des données de cartographie optique de l'ensemble du génome. Une analyse transcriptomique comparative des follicules primaires et secondaires d'une chèvre du Cachemire met en évidence 51 gènes qui sont différenciellement exprimés entre les deux types de follicules pileux. Cette étude, dont les résultats faciliteront les études génomiques de la chèvre, montre en outre que la technologie de cartographie du génome entier peut être utilisée pour l'assemblage *de novo* des grands génomes.

Biologie & amélioration des plantes

Le génome d'*Emiliania* enfin décrypté

Betsy A. Read et al. (2013), *Nature*, DOI: 10.1038/nature12221

Le génome d'*Emiliania huxleyi*, une espèce emblématique du phytoplancton marin, est déchiffré pour la première fois par un consortium international impliquant des équipes du CNRS, de l'UPMC, de l'Inra, d'Aix-Marseille Université et de l'ENS. Les scientifiques découvrent que le génome de ce microorganisme marin unicellulaire, extrêmement abondant, contient au moins un tiers de gènes en plus que le génome humain, tout en étant vingt fois plus petit. Autre surprise : il est très complexe, ce qui fournirait à *Emiliania* une importante capacité d'adaptation.



Annual report

The research highlights 2013



Director of publication: François Houllier
Editorial coordination: Françoise Vedele, Jean-François Launay & Eric Connehaye
Copy editor: Frédérique Chabrol
Translation coordination: Christine Young
Iconography: INRA Photo Library
Graphic design: InraCreation Studio / UCPC
Printers: BIPRINT - 360, route de Flins - 78410 BOUAFLE - FRANCE

Inra 147, rue de l'Université - 75338 PARIS - FRANCE | Tel. : +33(0)1 42 75 90 00 | Fax : +33(0)1 47 05 99 66
inra.fr/en



Key figures 2013



8 356 permanent staff including
50.6% women



€872.1m expenditure
& **€873.6m** income

90
scientific highlights

3 480
scientific publications
(source WoS)



1 843
permanent researchers



199 research units
& **48** experimental units



2 446 trainees
& **497** doctoral candidats with grants



13 scientific divisions
& **8** metaprogrammes

Inra metaprogrammes

ACCAF
Adaptation of agriculture and forestry to climate change

DID'T
Determinants and impacts of the diet: interactions and transitions

ECOSERV
Agriculture and forest ecosystem services

GISA
Integrated management of animal health

GLOFOODS
Transitions to global food security
(with Cirad)

MEM
Meta-omics of microbial ecosystems

SELGEN
Genomic selection

SMACH
Sustainable management of crop health



17
research centres



293 patents owned
including **39** new patents filed



12 new
varieties



24 new software programs
& databases filed



Contents

 Metaprogramme

 Exceptional publication
(Current Biology, Nature et
dérivés, PlosGenetics, PlosBiology,
PNAS, Science)

ÉDITORIAL

64

Introduction by Olivier Le Gall

RESEARCH HIGHLIGHTS

66

World food security & global changes

072

Integrating the economic, social & environmental performances of agriculture & forests

080

Mitigating global warming and adapting agriculture & forestry to climate change

086

Valorising biomass for chemistry & energy

092

Towards healthy and sustainable food systems

100

Predictive approaches in biology

106

Agroecology

HIGHLIGHT...

112

Biodiversity

114

The decoding of genomes



Editorial
by Olivier Le Gall
DEPUTY DIRECTOR GENERAL
FOR SCIENTIFIC AFFAIRS



© C.Maitre / Inra2013

Transitions: a four-fold challenge

065

INRA contributes, by way of knowledge, to developing public policy and fostering innovation in the production of goods and wealth in the domains of food, agriculture and the environment. Within this sector, society is faced with four transitions, national or global, that lie at the very heart of our research.

Agroecological transition. Today, it is no longer an option but a requirement to go a step further than boosting production to reconcile the economic, social and environmental performance of agriculture. There can be no question of turning back the clock; on the contrary, the agroecological transition of a modern agriculture such as ours is inconceivable without significantly ramping up knowledge.

Climatic transition. The agroecological transition must be aimed not only at mitigating the impact on climate change, but adapting agricultural and forestry production to climatic conditions where the only constant is change itself. That is why it is only natural for INRA to play an active role in the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

A transition of end-uses. Agriculture has always provided materials and energy, if only in the form of fodder for work animals. Mounting tension over food production, linked to world demographics and changing lifestyles, requires fresh insight into how end-uses can be rationally diversified, coordinated and optimised.

Food transition. Now more than ever, food security is a global and complex issue. Developing healthy and sustainable food systems therefore requires a comprehensive overview of "farm to fork" networks, and even beyond, to address issues such as waste and the relationship between food, nutrition, prevention and health.

The sheer range of topics studied at INRA allows researchers to take on challenges that touch on several disciplines, and contribute to the emergence of new fields. First, advances in acquisition technology and data processing (sequencing, intensive calculation, etc), occurring at lightning speed in recent years, have led to predictive approaches in biology, which in turn give hope for a fuller understanding of biological processes within a reasonable timeframe. Second, agroecology, whose scope of knowledge INRA is helping to define, at the crossroads of agricultural, ecological and social sciences, and upon which the transition of agriculture will largely depend.

A third of the way into the period covered by the 2010-2020 INRA orientation document, the priorities that were set are turning into concrete results from research. Indeed, recounting those results in a few pages was a challenge: 2013 marks a record year for INRA in terms of the number of scientific publications at international level. This second section offers an in-depth look at a selection of recent research results in support of these transitions. Last but not least, two chapters are dedicated to two core topics of INRA research: biodiversity and decoding genomes.

World food security & global changes

Food security is dependent upon finding a balance between dietary needs and availability in a sustainable way. We must reduce food and biomass losses and waste, as well as create sustainable food systems that can adapt to global changes.

INRA invests in research to ensure the transition towards healthy and sustainable food systems that can deal with the world's major challenges, such as climate change and price volatility in the food and agricultural commodities markets.

Nutrition, chemical food safety
& consumer behaviour

Children with eating difficulties: are preterm births an aggravating factor?



Children born premature often develop problematic eating behaviours during childhood that can significantly impact their psychomotor development.

Migraine A. et al. (2013) Am J Clin Nutr, DOI: 10.3945/ajcn.112.051151

Food behaviours are extremely complex and are determined by a number of factors. Genetics, physiological factors and social and environmental influences all play a part. Children born premature face a higher risk of developing problematic eating behaviours not only in their first months but over the long term as well. This can have a considerable effect on their growth and psychomotor development.

To identify the maternal and neonatal factors that might explain this phenomenon, the food behaviours of 234 preterm children (POLYNUCA cohort in Nantes) were compared to those of 245 children born at full-term (OPALINE cohort in Dijon) at age two. The results showed that the children born preterm had reduced appetites and enjoyed eating less. Their diets were less varied

2

Two years, the age of children in two observation cohorts in Nantes and Dijon.



© C.Richardson / sxc.hu



and they ate less fruit. However, the children with the greatest problems were not necessarily those born extremely preterm, but rather those subject to intrauterine growth retardation. Girls appeared to be more affected, and lower educational status of mothers was an aggravating risk factor. A study of genetic polymorphism is underway on children in the POLYNUCA cohort to see whether there is a possible genetic predisposition to developing problematic food behaviours. Additionally, researchers plan to follow these children to assess the consequences of these early food behaviours on their long-term food habits, growth, metabolism and overall health.



Valérie AMARGER
Inra Angers-Nantes



© Inra2013

Geneticist
UMR 1280 PhAN Joint Research Unit for
the Physiology of Nutritional Adaptations
CHU Hotel Dieu teaching hospital
in Nantes

Social sciences, agriculture & food, rural development & environment

Study of optimal food price stabilisation policies



© G.Seybert / Fotolia



Gouel C. (2013), European Economic Review, DOI: 10.1016/j.euroecorev.2012.10.003

The 2007/08 agricultural price spikes have reopened the debate on commodity price stabilisation policies in poor countries. However, until these events, international organisations mostly recommended limiting intervention to providing direct aid to the poorest populations. The food crisis called this approach into question, as the countries which provided the most aid – such as China and India – were those that were the least affected by the global crisis. This study focused on the inability of poor consumers to cope with commodity price volatility. This served as a starting point for researchers to analyse the effects of optimal price stabilisation policies.

The study has made the following three main conclusions:

- > An optimal public storage policy should completely replace private storage, and requires much greater public intervention than simply increasing average storage levels.
- > Optimal policies can be very complex to implement. It is difficult to determine the optimal price band, and errors in chosen parameters can lead to well-being losses rather than gains.
- > In an open economy, an optimal storage policy must allow for domestic storage that is relatively independent of the global market. However, this is a potential source of global market instability due to the non-cooperative approach of such commercial policies.

The findings reveal the limits of price stabilising policies, but for countries who do wish to implement such policies, they also provide a roadmap of what works.

Social sciences, agriculture & food, rural development & environment

Human trophic level (HTL): an indicator of human diets

Trophic levels measure diet composition and are a basic metric in ecology. They have never been calculated for humans.



© Bernikaiser / Fotolia



Bonhommeau S. et al. (2013), PNAS, DOI: 10.1073/pnas.1305827110

Trophic levels are critical for synthesizing species' diets, depicting energy pathways, understanding food web dynamics and ecosystem functioning, and monitoring ecosystem health. Specifically, trophic levels describe the position of species in a food web, from primary producers to apex predators (range, 1–5). In the global food web, we discover that humans are similar to anchovy or pigs, with a global HTL of 2.21. This means they cannot be considered apex predators.

This value has increased with time, consistent with the global trend toward diets higher in meat.

Although there is a broad diversity of diet between countries, overall dietary trends reveal only five major groups. We find significant links between HTL and important World Bank development indicators, giving insights into the relationship between socio-economic, environmental, and health conditions and changing dietary patterns.



ACCAF
METAPROGRAMME

Animal physiology & livestock systems

Assessing energy efficiency in dairy systems around the world using an original and generic pluri-energy analysis method

DOI: 10.1016/j.jenman.2013.04.003

Because world demand for dairy products is expected to double, improved fossil energy efficiency is a key objective for more productive and ecologically-sustainable systems.

A pluri-energy method (solar, fossil, biomass, and labour) was developed to analyse the differences in energy efficiency between family-run dairy systems in warm regions (low fossil energy consumption: 0.1 MJ/L of milk in Mali), dairy-only (3.6 MJ/L in Brittany, France) or mixed farms (4.9 MJ/L in Poitou-Charentes, France) in temperate regions, and intensive production systems in tropical regions (6.6 MJ/L on Reunion Island).

In Mali, production could be increased to 600 L per year without any impact on fossil energy cost. In temperate regions, efficiency increases as herds' annual forage rations go up. However, energy-hungry maize-based systems offer greater protection against extreme climate events.

Reunion Island, where the livestock sector tries to maintain strong local production, saw a high level of imported concentrated feed (4.5 tonnes per cow annually).



© Z.Diféng / Fotolia

Environment & agronomy

comparison of statistical models to analyse wheat yields

DOI: 10.1371/journal.pone.0078615

Foresight studies on food security are frequently based on crop yield trends estimated from yield time series provided by national and regional statistical agencies. However, the predictive performances of these models have not yet been evaluated in detail. Eight statistical models for analysing yield time series were used to compare their ability to predict wheat yield at the national and regional scales. The results obtained with dynamic linear models indicated a stagnation of wheat yields in many countries as well as a moderate increase of wheat yield in several countries in Europe, Asia, Africa and America. The study also showed that the rate of yield increase differed considerably between French regions.



© C.Slagmulder / Inra

Social sciences, agriculture & food, rural development & environment

Assessing nutritional policies



© Muro / Fotolia

Bonnet C. and Réquillart V. (2013), Journal of Public Economics, DOI: 10.1016/j.jpubeco.2013.06.010

Although consumers' diets have changed, there remains a certain disconnect between changes in commodities prices and the prices consumers pay for their food. Furthermore, the potential impact of EU sugar policy reform on soft drink prices and consumption needs to be evaluated.

This study showed that when sugar prices drop by 36%, the retail prices of major soft drink brands are reduced by 4%. This leads to about a 10%

increase in consumption of these products to the detriment of sugar-free drinks and fruit juices. The impact of taxes on soft drinks was also examined. In the case of the "soda tax" in France, retail prices appeared to increase more than the amount of the tax. The tax therefore does not have a significant impact on sugar consumption because it is designed to raise revenue for the state rather than limit sugar consumption from beverages.

New methods make it possible to carry out a preliminary assessment of nutritional policies by taking into account how companies (manufacturers and distributors) and consumers react.



DID'IT
METAPROGRAMME



Integrating the economic, social and environmental performances of agriculture and forests

Today more than ever, we need to develop agricultural and forestry systems that reconcile economic performances with environmental and social concerns. It is essential that we create tools for such systems, study all aspects of transition, encourage the sharing of experiences and information and come up with innovative solutions, especially those that can be applied to the fields of animal and plant health.

Agricultural and forestry research must find the common denominator to bring economic, environmental, health and social concerns into balance. This is made possible through the combination of experimental approaches and modelling, as well as examining the behaviours of key players and public policy-makers. Research is a crucial factor that contributes to the elaboration of national programmes that promote sustainable agricultural and forestry practices (examples include the EcoPhyto, EcoAntibio and sustainable development agriculture programmes).

Plant biology & breeding

Discovery of a vital factor in plant adaptation to nitrate availability



Nitrogen is a crucial nutrient for plant growth. Its availability in soil – as nitrate – varies, which can negatively impact a plant's regulation mechanisms that coordinate its transport and assimilation



Marchive C. et al. (2013) *Nat. Commun.* DOI: 10.1038/ncomms2650.

Nitrogen is the main component of proteins, as well as nucleic acids, which hold genetic information, and a number of secondary metabolites. Most plants are unable to use nitrogen directly from air. It must first be extracted, mainly as nitrate, from the soil by the plant's roots. Crop growth and yields are often limited by the availability of nitrate in soil.

To maintain yield levels while reducing nitrogen fertiliser use, scientists must first better understand the plant response to nitrogen application. Researchers at INRA's Versailles-Grignon centre and ENS-Paris described the major role of a transcription

800

NLP7 is linked to more than 800 genes, including many involved in nitrate signalling and assimilation



© W.Beaucardet / Inra



Anne KRAPP
Inra Versailles-Grignon



© Inra

Co-manager of the Centre for the Adaptation of Plants to their Environment (APE)
UMR1318 INRA-AgroParisTech-Saclay
Plant Sciences
Institut Jean-Pierre Bourgin (IJPB)

«Transferring this discovery to crops such as cereals»

What is the 'natural' level of nitrates in the soil?

For non-cultivated soil in a temperate region, the concentration of nitrate in a soil solution (aqueous phase) is 0.1 mmol/litre, which is low. For cultivated soil, this concentration increases tenfold, and is even higher just after fertiliser application. A level of 1mM of nitrate equals 62 mg of nitrate per litre of soil solution, which is already above the legal limit beyond which water is considered unsafe to drink.

How can the amount of nitrates be reduced while still increasing yields?

This is a real challenge. There are several possible strategies, a combination of which will be necessary over the long term. There are traditional methods such as crop rotation with pulses which naturally fix atmospheric nitrogen, or other methods developed by agricultural scientists in the 1980s that make it possible to add nitrogen fertilisers only when crops need it. Current research is looking at transferring the ability to fix nitrogen to cereals and identify markers or genes that can produce varieties that use nitrogen more efficiently. Despite considerable international efforts, this approach has not yet generated significant improvements. It is therefore crucial that we continue to intensify basic research to clarify these molecular mechanisms, because there can be no innovation without understanding.

Plant biology & breeding

Let's twist again: the role of cellulose in stem twisting



© B.Landrein / Inra



Landrein et al. (2013) *Current Biology*, DOI: 10.1016/j.cub.2013.04.013.

From Romanesco broccoli, sunflowers or pine cones, mathematicians find spirals throughout nature, especially in plants. In *Arabidopsis*, the position of plant organs follows a precise phyllotaxis with an angle of 137°. This angle can be seen both in the shoot apical meristem and all along the inflorescence meristem. Scientists have just discovered the role of a protein that controls cellulose synthesis. It appears that plant stems twist by default. Normally, plant cells grow in one preferred direction due to an angled deposition of cellulose, controlled by the microtubule cytoskeleton. By deleting the protein expression that connects microtubules and cellulose, the

researchers observed that the cellulose fibres lean in the cells and that the stems twist. This twisting action alters the position of the flowers along the stem and leads to new phyllotaxis structures that nevertheless remain regular.

Research carried out by a team of scientists from INRA, CNRS, ENS de Lyon and the Université Claude Bernard Lyon 1 in tandem with German scientists sheds light on the basic phenomena that govern plant shape and which could be applied to the fields of biomaterials or predictive biology.

How are molecular interactions in plant cell walls and the overall plant structure related?

Plant biology & breeding

A major growth gene regulates tomato traits

Obtaining bigger fruit or better harvest yields was the chief aim in early farmers' attempts to domesticate plants.



© B.Nicolas / Inra



Chakrabarti M. (2013), PNAS, DOI:10.1073/pnas.1307313110

We currently know very little about the molecular mechanisms that are responsible for our ancestors' farming successes. Researchers from the Ohio University (United States), INRA and the University of Valencia (Spain) have identified a gene in tomatoes (*Solanum lycopersicum*) which determines fruit mass. This gene controls plant architecture by regulating the number and size of side shoots and by slowing the fruit maturation period. Sequence polymorphism analyses

showed that this allele appeared very early on in tomato domestication. It is also present in peppers and plays the same role, suggesting that it appeared independently during a separate domestication event. The results of this study open the door to breeding improvements in tomatoes as well as chilli peppers and aubergines, which belong to the same botanical family.

Plant health & environment

A new mechanism for pathogen resistance: resistance proteins team up to recognize fungal effectors

DOI:10.1105/tpc.112.107201



© JM.Barbier / Inra

Magnaporthe oryzae is a pathogen that causes considerable damage in rice paddies. This study showed that rice plants have developed innovative strategies to fight off this pathogen by using decoys that are closely linked to their defence systems. This discovery offers new possibilities to identify novel defence systems and methods for sustainable plant resistance – especially in grains – to pests.



Plant biology and breeding / plant health & environment

No man left behind: how certain plant genes protect resistance genes from disease

DOI: 10.1111/j.1364-3703.2012.00834.x

Pest-resistant plant varieties can reduce pesticide use. However, when used over a long period of time, and especially when the resistances are based on a single gene, the target pathogens quickly adapt. By doing so, the variety again becomes susceptible to the parasites' newfound pathogenic power. In a study of a viral pepper disease, researchers demonstrated that the plant's other genes were able to significantly lower the virus's adaptation and maintain the variety's resistance.



© C.Slagmulder / Inra

Plant health & environment

The plasma membrane: a key factor in plant defence signaling

DOI: 10.1104/pp.113.225755

Lipid mixtures within artificial membranes undergo a separation into different phases. However, the precise organization of the plasma membrane into such phases has not been elucidated in plant cells. The development of an innovative imaging method allowed researchers to show that plant cell membranes are composed of a number of zones in varied physical phases. The global and local organisation of the membrane changes quickly when the cell detects microorganisms, thereby establishing a functional link between this organisation and defence mechanism implementation.

Animal health

Invasive species modify the risks of zoonotic disease transmission

DOI:10.1371/journal.pone.0055377

The variation of the composition in species of host communities can modify the risk of disease transmission. The introduction of the Siberian chipmunk in a forest near Paris, France, altered the spread of Lyme's disease, transmitted to humans through ticks and caused by bacteria belonging to the *Borrelia* genus. An index of the contribution shows that the chipmunks produced 8.5 times more infected ticks than the native reservoir hosts.

Animal physiology & livestock systems

Once daily milking of dairy cows induces epigenetic mechanisms linked to DNA methylation

DOI: 10.1152/physiolgenomics.00059.2013

The milking frequency of dairy cows alters their long-term milk production by regulating synthesis and secretion. A comparison of two milking frequencies on a herd of Holstein dairy cows shows that this regulation relies on variations in the expression of several genes. The researchers hypothesised that this variation could be induced through modifications in DNA methylation at the distal regulatory regions for these genes.



© C.Maitre / Inra

Plant health & environment

Plants produce their own pesticides



© JM.Prosper / Inra

Eyraud V. et al. (2013) Plos One. DOI: 10.1371/journal.pone.0081619

Finding new plant-derived molecules, which have less impact on the environment, is a major challenge. The PA1b peptide is a toxin extract from legume seeds, protecting them from most grain pests. They could be called "plant venom", since their mode of action is the same. Researchers have only recently discovered the target in insects' digestive tracts, the

v-ATPase. This enzyme, which is responsible for pumping protons through cells, is involved in a vital function for the insect: nutrient absorption. In a model study of the legume *Medicago truncatula*, scientists showed that this toxin produced a range of peptides, and for the first time, powerful inducible insecticides in the roots and nodules.

Chemical pesticides are widely used around the world but are increasingly under fire due to their persistence in the environment and toxicity.



Plant health & environment

A virus responds to the presence of its vector to optimise transmission

DOI: 10.7554/eLife.00183.001

Many plant and animal viruses are spread by insect vectors. Cauliflower mosaic virus is transmitted through aphids moving from one plant to another. The results of this study suggest that CaMV can perceive aphid vectors, either directly or indirectly by sharing the host perception. This novel concept in virology, where viruses respond directly or via the host to the outside world, opens new research horizons, such as investigating the impact of 'perceptive behaviours' on other steps of the infection.

Animal genetics

Understanding relationships between social behaviour and production traits in quail

DOI: 10.1371/journal.pone.0082157



© C. Slagmulder / Inra

The social behaviour of animals, which is partially controlled by genetics, is one of the factors involved in their adaptation to large breeding groups. This study on experimental lines shows possible negative effects due to selection for increased productivity (weight, egg laying) on certain deleterious behaviours (fear, aggression). It also demonstrates that improving sociability and emotional reactivity of the animals can enhance not only their welfare but have a positive impact on production traits.

Science & process engineering of agricultural products

When wine has a thirst for research

« Quand le vin a soif de recherches » est un dossier de presse de l'Inra, consacré intégralement aux recherches menées par l'Inra sur le vin.



© B. Nicolais / Inra

Red, white, rosé, sweet, dry and sparkling: wine comes in a variety of forms. How does the taste of a wine develop? Where do its aromas come from? Since man first sought to master the production and storage of wine, science has played a central role. By looking at vines, their genomes, varieties, grapes, bacteria and yeasts, INRA scientists are uncovering the secrets of this extraordinarily complex substance to improve its quality.

Animal health

Ticks in the camargue are vectors of emerging diseases

DOI: 10.3201/eid1905.121003

After recurrent cases of granulocytic anaplasmosis on equine populations in the Camargue, France, ticks were collected from horses and pastures between 2007 and 2010 to identify the strains of *Anaplasma* in the region. Genotyping of the bacteria carried by the ticks showed that a single type of *A. phagocytophilum* that is closely related to the genotype found in the United States affecting humans.



© G. Cattiau / Inra

Plant health & environment

The wheat powdery mildew genome shows the unique evolution of an obligate biotroph

Wicker T. et al. (2013), *Nature genetics*, DOI: 10.1038/ng.2704

Wheat powdery mildew, *Blumeria graminis forma specialis tritici*, is a devastating fungal pathogen with a poorly understood evolutionary history. Comparative genomic analyses identified 602 candidate effector genes. The researchers characterized patterns of genetic diversity and suggested that mildew genomes are mosaics of ancient haplogroups that existed before wheat domestication. The conclusion of the study is that the ready adaptation of *B. graminis f.sp. tritici* to the new host species was based on a diverse haplotype pool that provided great genetic potential for pathogen variation.



© F. Suffert / Inra

Social and agricultural diversity in rural areas

Mischi J. et al. (2013), *Agone*, Bessière C. et al. (2013), *Politix*

Diverse social groups are not specific to cities. These two journal editions by INRA scientists show that the French countryside is populated by various social groups, with a large number of blue collar workers and farmers split into different social fractions. This division is reflected through the media, academics and unions. The studies presented describe the diversity, inequality and conflicts that arise in these groups.

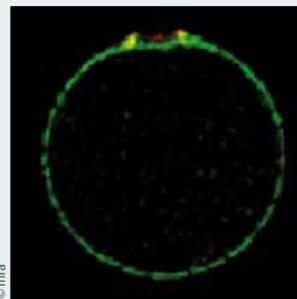


© J. Weber / Inra

Sweet17, a new sugar transporter in plants

Chardon F. et al. (2013), *Current Biology*, DOI: 10.1016/j.cub.2013.03.021

For the first time, researchers at INRA's Versailles-Grignon centre have demonstrated the role of the SWEET17 protein in fructose transport in plants. This protein, found on the vacuolar membrane, enables sugar retention in the plant's organelles and its storage. These findings offer promising possibilities to modify sugar composition in certain crop species.



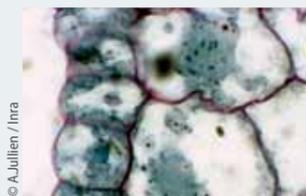
© Inra

Researchers study innate anti-viral response in vertebrates through a zebrafish model at Jouy-en-Josas

DOI: 10.1128/JVI.01294-12

In fish as in mammals, viral infections and interferon (IFN) treatment induce ISG15 expression, an important factor in innate anti-viral defences. Researchers showed that the zebrafish ISG15 exerts a strong anti-viral activity against RNA (*Novirhabdovirus* and *Bimavirus* genus) and DNA (*Iridovirus* genus) viruses, which requires the LRLRGG motif and ISGylation of target proteins. ISG15 also affects the IFN response at several levels.

© F. Carreras / Inra



© A. Jullien / Inra

Methylheptenone: a potential marker of oestrus in domestic mammals

DOI: 10.1016/j.physbeh.2013.07.012

Detecting females in oestrus is a vital factor in animal herding behaviour. Male rats displayed erections when exposed to a specific molecule, methylheptenone, found in the faeces of females in oestrus in several animal species. This finding suggests that methylheptenone plays a part in the olfactory recognition of female receptiveness, and could be used as a marker of oestrus in domestic species, especially horses.

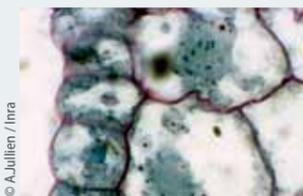


© F. Carreras / Inra

A protein complex controls plant cell divisions

Spinner et al. (2013), *Nature Communications*, DOI: 10.1038/ncomms2831

The orientation of cell divisions is crucial for body plan determination in plants. For the first time, researchers from Inra's Versailles-Grignon centre have described a protein complex that is central in this mechanism.



© A. Jullien / Inra

Doubling up: the insect pathogen *Xenorhabdus* present in two types of bacteria resulting in different infection potential

DOI: 10.1371/journal.pgen.1003915

Heterogeneity in the expression of various bacterial genes such as *Xenorhabdus nematophila* has been shown to result in the presence of individuals with different phenotypes within clonal bacterial populations. Recently, researchers showed that the Flz protein regulates most genes involved in interactions between the bacteria and its invertebrate hosts. This study offers new insights on the heterogeneity in the gene expression at the level of individual bacterial within the same clonal population.

Battling nematodes: new targets for more specific, eco-friendly tactics

DOI: 10.1371/journal.ppat.1003745

Among major crop pests, nematodes (a worm) cause widespread damage by attacking plant root systems. Genes specific to crop pests have been identified in the genomes of nematodes. These genes are absent from non-target species such as humans, plants and livestock animals. Specifically inactivating the genes in the worms seriously compromises their parasitic efficiency. By targeting these genes, it may be possible to develop more specific and eco-friendly measures to fight these parasites.



© Inra

Temperament influences cognitive ability in horses

DOI: 10.1371/journal.pone.0064853

DOI: 10.1007/s10071-013-0648-5

DOI: 10.1016/j.anbehav.2013.09.026

DOI: 10.1371/journal.pone.0062324

These various studies on horses aim to determine if certain dimensions of their temperament influence learning performance. Fear is a determining factor, but its influence varies: it is generally positive when the horse is not stressed or is stressed due to a task, and is negative in the case of extrinsic stress. Each temperament has its own strengths and weaknesses depending on the conditions.



© G. Paillard / Inra



Mitigating global warming and adapting agriculture and forestry to climate change

The key to finding appropriate solutions lies in fully understanding the problem: by simulating climate change conditions and creating scenario models in advance, local and international production strategies can be developed. The impacts of climate change on agriculture have been highlighted in the fifth Intergovernmental Panel on Climate Change report (IPCC, available here: <http://www.ipcc.ch>). INRA is involved in preparing agricultural and forestry adaptation options, researching future impacts and strategies to mitigate impacts, and reducing greenhouse gas emissions. Managing water and soil resources, biodiversity, crop adaptation and livestock are all focal points of this research.

Social sciences, agriculture & food, rural development & environment

Uncertainty in simulating wheat yields under climate change



Being able to predict the yields of arable crops under the constraints of global climate change is one of the principal variables in long-term scenarios designed to ensure world food security



Asseng S. et al. (2013), *Nature climate change*, DOI: 10.1038/NCLIMATE1916

Through a study funded under Inra's ACCAF metaprogramme, research scientists from the Institute contributed to the international initiative AgMIP by participating in the first worldwide comparison of 27 wheat cropping models. These models were compared in three settings: under current cultivation conditions, according to a climate scenario 30 years hence and under extreme climatic conditions. The scientists also quantified the uncertainties surrounding the impact of climate change linked to cropping models on the one hand and climate models on the other.

60

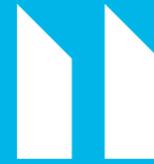
Between now and 2050, wheat production must rise by 60% to meet global demands



© S.Orlov / Fotolia



Unfortunately, predictions of the impact of climate change on these yields remain highly uncertain. Furthermore, it is difficult to make systematic and objective comparisons of different simulations and models. During the study referred to above, the broadest and most standardised comparison was achieved and revealed that wheat grain yields could be simulated adequately under a certain range of environments if sufficient data were entered in the model. However, the structures of models and parameter values all participate in uncertainty. This lack of certainty attached to impact simulations increased in line with CO2 concentrations and the warming associated with them. A better quantification of the relationships between these parameters could reduce these uncertainties. Thus greater accuracy in predicting the impact of climate change on agricultural production could assist decision-making with respect to public policies.



Hélène LUCAS
Inra Versailles-Grignon



© C.Maire / Inra

International Scientific Coordinator of the Wheat Initiative
Chair of the Managing Board of the Scientific Interest Group "Plant Biotechnologies" (GIS BV)

«Yields declined 5.5% from 1980 to 2010 because of climate change»

What is the most likely scenario for wheat yields in 30 years?

Wheat is better suited to semi-arid conditions than rice and corn. However, drought and heat are important factors that limit yield. In 2012, average yields reached 7.6 t/ha in France, 3.1 t/ha in the United States, 2.1 t/ha in Australia and 1.2 t/ha in Morocco. By 2050, if wheat crop surfaces remain stable, we will need to increase today's global average of 3 t/ha to 4.7 t/ha. But in France and Europe, maximum yields have been reached because of high temperatures during the grain filling period.

What are the possibilities for developing heat-resistant wheat varieties?

The growth rate of wheat accelerates in hot weather, which leads to a reduced period of photosynthesis. Heat, when combined with drought, can cause metabolic changes that affect the plant's growth. Finally, yield is affected if periods of high temperatures occur at certain reproductive development stages. Research by the international consortium has focused on increasing the potential intrinsic wheat yield by increasing its photosynthetic capacity and efficient translocation of assimilates to the grain. An international call for projects will be launched in 2014 to achieve this goal.



Social Sciences, Agriculture & Food, Rural Development & Environment

Evaluating the ecological services rendered by forests in terms of water quality: methods and results published in several scientific journals



© C.Madzak / Inra

Forests have a dense and widespread root network which thus generates porous and filtering soils.

Fiquepron J. et al. (2013), *Journal of Environmental Management*, DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.04.002
Abildtrup, J. et al. (2013), *Ecological Economics*, 92, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2013.01.004

Nitrate levels are low beneath a forest cover, as are those of other pollutants such as pesticides. When compared with other types of land use, forestry is associated with the protection of water resources against pollution, and a reduction in the costs of supplying drinking water. This study sought to measure the effects of land use on raw water quality indicators (used for the production of drinking water) and on the cost

of water supplies. The aim was to estimate the economic value of the ecological services rendered by forests, based on data collected in 95 French Départements. In terms of the value of the ecological services rendered, the authors were able to evidence the impact of spatial interactions and the positive effects of a forest cover that went beyond the limits of the water distribution system.



MITIGATING GLOBAL WARMING & ADAPTING AGRICULTURE
& FORESTRY TO CLIMATE CHANGE

Forest, grassland & freshwater ecology

Fires can be better controlled through joint management
by local authorities and shepherds

The landscapes of southern Europe are vulnerable to a risk of fires, which are mainly due to the Mediterranean climate, inflammable vegetation and rugged terrain.



Paulo M. Fernandes et al. (2013), *Frontiers in Ecology and the Environment*, DOI: 10.1890/120298

The environmental and social impacts of fires in this region increased markedly during the 20th century. Preventing forest fires is thus a major challenge for southern Europe. A group of European researchers highlighted the value of the «prescribed burning» technique. If applied preventively, this technique could render natural landscapes

less vulnerable to fire. In France, an INRA research scientist focused on the situation in the French Pyrenees, where a participative approach and more flexible regulations have enabled recognition of this ancient pastoral practice.



Social sciences, agriculture & food, rural development & environment

Climate change and the adaptation
of agricultural production systems

Ledère D. et al. (2013), *Ecological Economics*, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2012.11.010

Humblot P. et al. (2013), *Ecological Economics*, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2012.10.012

The effects of climate change on European agricultural production were estimated under different climate change scenarios by integrating the adaptive capacities of farming systems in terms of crop management and land allocation. This cross-disciplinary work was based on combining data on climate change with a crop model (STICS) and an agricultural supply model (AROPAJ). An initial analysis was performed at the European scale (15 European Union Member States) and revealed marked contrasts between regions as a function of the different scenarios, although farming in all the regions could benefit from climate change, on condition of the development of irrigation capacities. A second multidisciplinary analysis concerned the effects of ozone concentrations on the production choices made by French farmers, at both the plot level and regarding the allocation of land to different crops.



Plant health & environment

Human-induced nitrogen/phosphorus
imbalances alter natural and managed
ecosystems across the globe

Penuelas J. et al. (2013), *Nature communications*, DOI: 10.1038/ncomms3934



© Rémi Le Bastard / Inra

Atmospheric carbon dioxide levels are now rising constantly, as is the availability of carbon and nitrogen from different inputs of anthropogenic origin. However, these increases are not paralleled by a similar rise in phosphorus inputs. The inexorable changes affecting the stoichiometry of carbon and nitrogen as opposed to phosphorus has no equivalent in Earth's history. This study highlighted the profound and as yet uncertain effects of human activities on the phosphorus and nitrogen cycles. Concomitant limiting phosphorus levels and nitrogen availability are likely to reduce the future storage of carbon by natural ecosystems during this century. Furthermore, if phosphate fertilisers cannot be rendered more accessible, crop yield predictions indicate an increase in the deficit of nutrient elements in developing regions of the world.

the climate disturbs biomass production by perennial
grasslands

DOI: 10.1111/gcb.12317

Climatic extremes can remodel the services rendered by grasslands, such as forage production or their composition in different plant species. Field research over a three-year period focused on the resistance to dehydration, and recovery after rehydration, of plant communities in a perennial grassland. The authors showed that when faced with stress, the presence of several plant species did not as expected act as a buffer, and climatic disturbances could have sustained consequences for two years. Finally, less frequent cutting may represent the optimum management strategy for a grassland under limiting nitrogen conditions.



© B.Nicolas / Inra

Demonstration and characterisation of invasive viral species
in one of the environments most susceptible to climate
change

DOI: 10.1371/journal.pone.0067231

During an inventory of plant viruses performed in the sub-Antarctic Kerguelen Islands, four invasive viral species were characterised, two of which had previously been unknown. They were very probably introduced at the same time as their vector aphid. They infect both introduced and native plants, on which their long-term impact, as well as their potential for dissemination, still need to be determined.



© D.R.

Valorising biomass for chemistry & energy

Promoting the use of plant and microbial matter, exploiting its unique structural features and optimising yields are imperative today, as is the development of eco-friendly biomass extraction and synthesis processes. INRA supports the use of renewable carbon resources and is involved in the production of renewable energies and materials. The Institute establishes strong partnerships with key players in cutting-edge industries to take our work to new technological levels.

Science & process engineering
of agricultural products

Intelligent foams: different ways to destroy a foam on demand!



The ability to destroy a liquid foam as required is exploited for industrial applications such as decontamination, the retrieval of radioactive substances or certain cleaning processes.

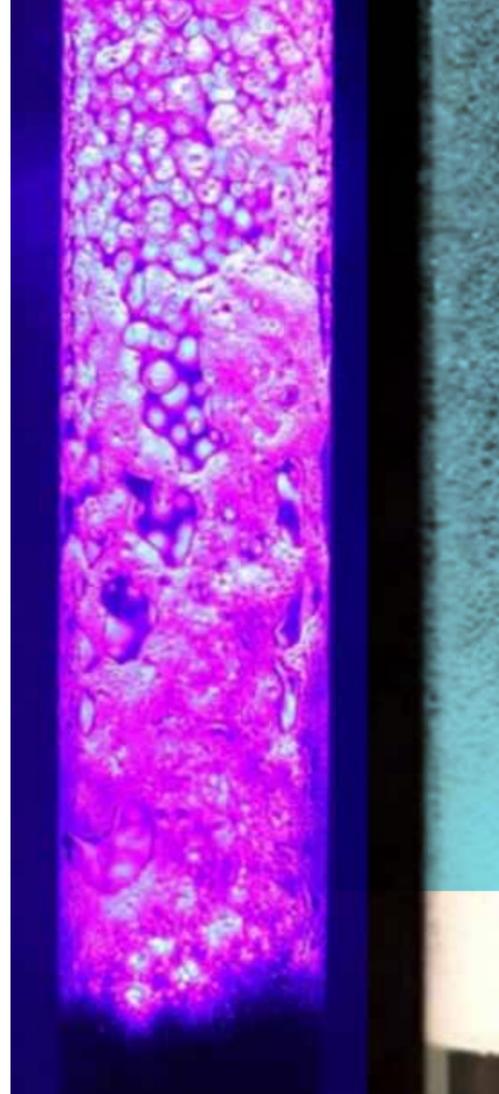
Fameau A.L. et al. (2013), Chemical Science, DOI: 10.1039/c3sc51774h

Liquid foams are dispersals of gas bubbles in a liquid, stabilised by surfactants. These foams have numerous practical applications in fields ranging from the food industry to detergents and oil recovery. Their stability is a key parameter and research advances have recently been achieved in creating and understanding highly stable foams.

At present, control of the stability of a foam, or its destruction, are achieved using chemically synthesised compounds. Researchers have now tried to replace these with compounds of plant origin - hydroxylated fatty acids - for the purposes of enabling sustainable development. Combined with magnetic particles, these

90

At present, the control of foam stability utilises 90% of the surfactants produced worldwide, which is harmful to the environment



© Inra



compounds were able to obtain foams that could be destroyed by different stimuli: temperature, light or a magnetic field. The first foams responding to light, heat or magnetic stimuli were thus designed using biological compounds. In particular, the use of UV light as a stimulus enabled a very accurate control of the foam at distance. This proof of concept, achieved through a collaboration between INRA and the University of North Carolina in the USA offers new opportunities for the development of «intelligent» systems whose properties can be modulated as required. A clearer understanding of the breakdown of foams by external stimuli, and the use of green surfactants in this context, could prevent the use of enormous quantities of pollutant substances.



Paul COLONNA
Deputy Scientific Director
Food and Bioeconomy

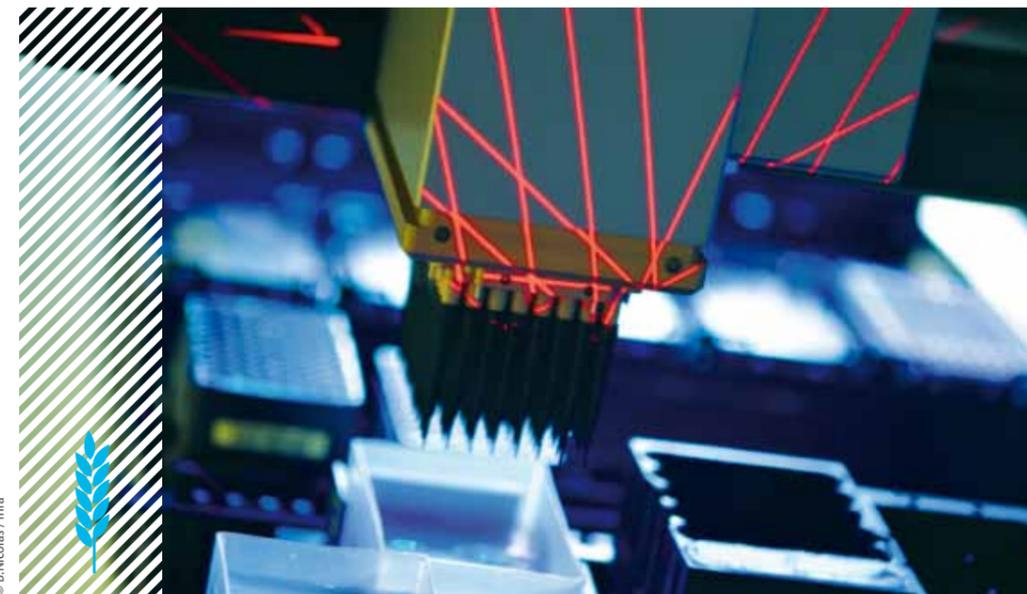


© L. Prevosto / Inra

Director of the 3BCAR Institut Carnot
(Bioenergy, Biomolecules and
Biomaterials from Renewable Carbon)
Professor at the Collège de France
Chair in Sustainable Development

Science & process engineering of agricultural products

Virtual systems to guide the construction of «tailor-made» enzymes



© B. Nicolas / Inra

Traoré S. et al. (2013), DOI: 10.1093/bioinformatics/btt374

The complexity of their spatial conformation has been a limiting factor in developing tools for the detailed engineering of these proteins. By screening their sequence and studying their conformation, molecular modelling - and more particularly computational protein design - is able to predict the pertinent mutations that are necessary to endow

«Shifting to a bioeconomy is a long-term process»

In which areas are plant-derived molecules and 'green' surfactants already being used?

Biomass-derived surfactants are used in body care products. There is a large family of chemicals (sorbitan esters, alkyl polyglucosides, sucrose esters, polyglycerol esters, alcohol and fatty acid esters, lipaminoacids, methyl sulfonyl phospholipids) used for their foaming, emulsifying or detergent characteristics.

Vegetable proteins are the focus of several applications based on their surfactant characteristics. Several key structural parameters have been determined (protein segment flexibility, distribution of key amino acids, etc.) that facilitate the identification of suitable plant sources. Lipids lend themselves to a number of applications, especially in biomass-derived detergents, lubricants and solvents.

Which industrial sectors and companies are leaders in this market?

Several French companies are strongly positioned in the market with innovative specialty ingredients, both excipient and active, aimed at the cosmetic and pharmaceutical markets as well as vaccines and nutrition. The main players include SEPPIC (subsidiary of Air Liquide), Naturex, DRT (Dérivés Résiniques et Terpéniques) which processes pine-based products, Rhodia (subsidiary of the Solvay Group) and Wheatoleo (subsidiary of ARD - Agro-industrie Recherches et Développement).

How can enzymes be obtained that are more active, recognise a specific substrate and resistant to organic solvents or heat?

Forest, grassland & freshwater ecology

A mangrove fungus secretes particular enzymes

The principal enzymes that degrade plant cell walls - which can then be used by biotechnologies - are extracted from fungi.



© National oceanic and atmospheric administration (public domain)



Arfi Y. et al. (2013), *Nature communications*, DOI: 10.1038/ncomms2850

Because of the presence of seawater in mangroves, fungi in this ecosystem are adapted to high levels of salinity. The research team studied lignocellulolytic enzymes from the *Pestalotiopsis* fungus which, according to its transcriptomic data, could number as many as 400, a large proportion of them being involved in degrading lignin. The scientists showed that the presence of salt modified the

qualitative composition of the enzymes thus secreted, with an increase in xylanases and cellulases, but a reduction in the production of oxydases. This balance enabled the improved hydrolysis of cellulose and hemicellulose but a reduction in lignin decomposition. These findings thus demonstrated the salt adaptation of mangrove fungi and revealed their potential for biotechnological applications.

Science for action & development

How can the yield of the energy plant *miscanthus giganteus* be evaluated?

Lesur C. et al. (2013), *Fields Crop Research*, DOI:10.1016/j.fcr.2013.05.004



© S.Cadoux / Inra

Miscanthus giganteus is a perennial grass that is being studied for its potential in bioenergy production. It is a hardy species that requires little fertilisation. Its cultivation is characterised by a development phase of 3 to 5 years, during which annual yields increase, followed by a ceiling phase whose duration is unknown. INRA researchers have constructed a database which contains the findings of 16 experiments performed throughout Europe and describes yield profiles during the development and ceiling phases of the crop. After analysis and modelling, these data revealed the onset of a decline phase. They were also able to show that the length of the first phase of the crop was closely linked to the cultivation technique employed.

Futuro, 2013 a crucial year

In the context of the FUTUROL project that was launched 5 years ago, the collaboration between ARD (Agro-industrie Recherches et Développements), Lesaffre, IFP Energies Nouvelles and INRA has enabled the production of 2nd generation bioethanol using biomass (agricultural and forest waste, timber and coppice, etc.). At its pre-industrial pilot plant in Pomacle-Bazancourt (Marne), the company PROCETHOL 2G achieved this result by transforming biomass such as wheat straw and poplar or miscanthus coppice into bioethanol.

With more than 4 tonnes produced in 2012, the pilot had already achieved its optimum theoretical production of ethanol from lignocellulose within a few months, with economically viable results. In 2013 it initiated work to optimise water recycling during the process in order to achieve its goal of minimising waste and integrating all by-products so that the plant can be as autonomous as possible in reagents, energy and water.



© B.Nicolas / Inra

Towards healthy & sustainable food systems

INRA's work in the field of nutrition and food has showcased its central role in health matters, such as understanding sensitive behaviours (addictions, allergies, overweight), demonstrating the functions of endocrine disruptors and other genotoxic compounds, and unlocking the mechanisms involved in infections. Making use of high-throughput data generated by cohorts that bring together internet users and the "meta-omics" of microbial systems open new doors to research in nutrition and health.

Microbiology & the food chain

Bacteria in the intestinal flora: we are not all equal in the face of obesity-related diseases



The way is now open not only to the diagnosis of at-risk individuals but also to intervention through nutritional guidelines



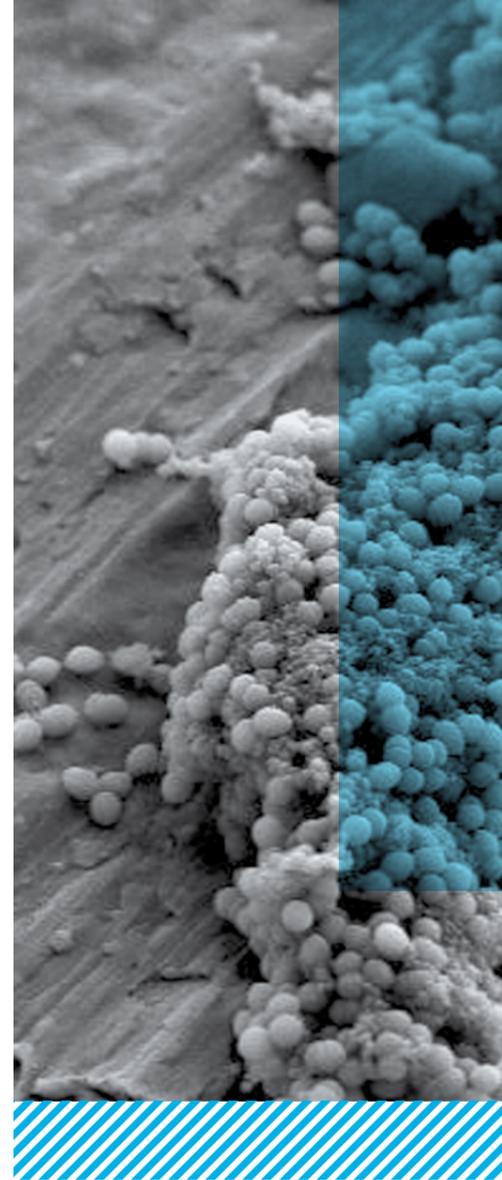
Le Chatelier E. et al. (2013), *Nature*, DOI: 10.1038/nature12506
Cotillard A. et al. (2013), *Nature*, DOI: 10.1038/nature12480

The causes of obesity are partly environmental (sedentary lifestyle, high-energy and easily accessible foods, etc.) and partly genetic. Indeed, only a minority of cases of obesity in humans appear to be linked to genetic mutations.

These two studies, published simultaneously, showed for the first time that it was possible to distinguish two groups of individuals within a population by means of the lesser or greater richness of their intestinal flora (or gut microbiome) and their susceptibility to obesity-related metabolic diseases. The researchers thus observed that individuals with a deficiency in intestinal bacteria (impoverishment of diversity) had a greater risk of developing

700

In 2005, approximately 400 million adults were deemed to be obese, but by 2015 this will concern more than 700 individuals and the rate will continue to rise



© T.Muriel & T.Meylheuc / Inra



Dusko EHRlich
Inra Jouy-en-Josas



© B.Nicolas / Inra

Emeritus Director of Research in the
MetaGenoPolis Unit
MICA Division
Microbiology and the Food Chain

Nutrition, chemical food safety & consumer behaviour

Cured meats and the risk of colorectal cancer: the antidotes identified in rodents are also effective in healthy human volunteers



© B.Nicolas / Inra

Santarelli R. L. et al. (2013), *Int J Cancer*, DOI: 10.1002/ijc.28286

Meat consumption is associated with a risk of colon cancer (16,000 deaths in France each year). In terms of prevention, it is advised to restrict the consumption of red meats (500 g/week) and avoid charcuterie (cured meats). This advice, which some groups in the population find very difficult to follow, could have major economic consequences for the meat industry and harmful nutritional effects (deficiencies in iron and vitamin B12).

The team's nutritional studies demonstrated that in healthy volunteers, as in rats, the consumption of a model cured meat increased lipid peroxidation, nitrosation and cytotoxic activity in the faeces. However, two preventive strategies that were tested (calcium and tocopherol) suppressed these activities. The data suggest that the addition of calcium carbonate to the diet, or of α -tocopherol to charcuterie, could reduce the risk of colorectal cancer associated with the consumption of cured meats.

«A major public health concern»

These results offer a vast number of possibilities in creating personalised medicine and nutrition...

According to our observations, a quarter of the population has a poor level of gut bacteria and is at risk of developing metabolic pathologies. This is a major public health concern. The Enterome start-up, created to put our discoveries to use, is developing a simple test for laboratories or clinics that should be ready by the end of 2014 to reveal at-risk individuals with 90% to 95% accuracy. When combined with simple nutritional recommendations, this diagnosis can help restore gut bacteria and prevent future disease.

How is INRA positioning itself in this area?

In terms of academic research, we are becoming a leader in this area. Since 2010, we've published around thirty articles in peer reviewed journals, including five in *Nature*. In 2013, INRA also held the presidency of the International Human Microbiome Consortium.

INRA has filed five patents, two of which are for licences.

More than 23 research projects have been developed, and 16 are currently underway, with 12 undertaken through industrial partnerships and four on a European scale (two are coordinated by INRA). We have obtained €9.1 million in investments in 2012/13, but it's not enough. The stakes are high and metabolic diseases progress rapidly. In France, 4% of the population suffers from diabetes, at a cost of €12 billion a year!

Dietary guidelines can be proposed that will avoid losing the nutritional value of meat-based products and help to prevent cancers, while limiting losses in the meat and charcuterie sectors.

Microbiology & the food chain

Chemotherapy: when our intestinal bacteria may enhance its effects



Chemotherapy for cancer can act more effectively thanks to support from intestinal bacteria



Sophie Viaud et al. (2013), *Science*, DOI: 10.1126/science.1240537

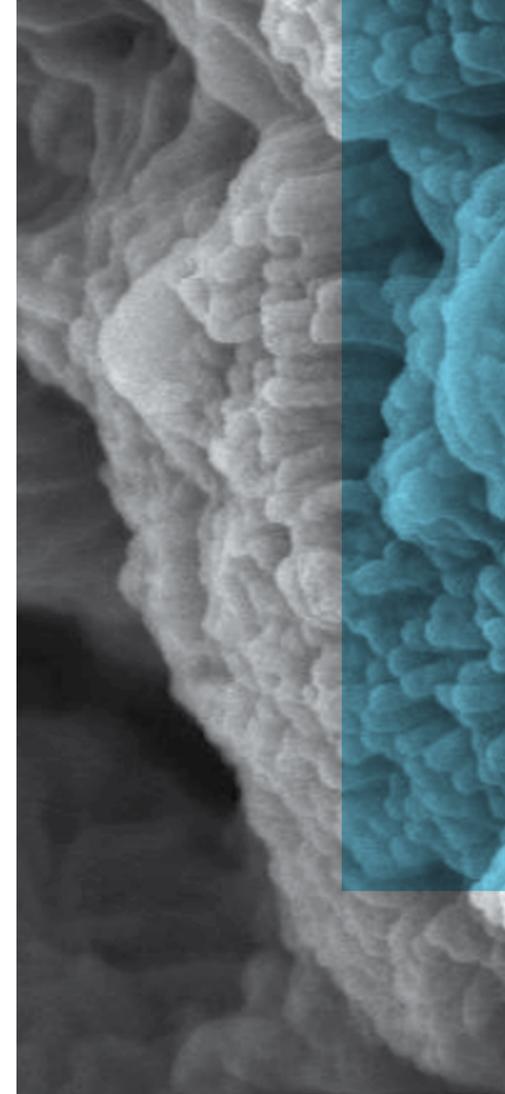
A research study by teams of scientists from Institut Gustave Roussy, INSERM, Institut Pasteur and INRA has enabled the surprising discovery that chemotherapy treatments for cancer are more effective when aided by the intestinal flora (also referred to as the gut microbiota). These billions of bacteria colonise the intestine as from birth and play a key role in maturation of the immune defences. However, the bacterial species found in the gut microbiota differ from one individual to another, and the presence or absence of a particular bacterium appears to influence the onset of certain diseases or can even protect us from them.



This study has thus demonstrated that the efficacy of one of the most widely used chemotherapeutic agents (cyclophosphamide) is based in part on its ability to drive the passage of certain bacteria from the intestinal flora towards the blood circulation and lymph nodes. Once they reach the lymph nodes, this chain reaction - a side effect of the treatment - may in fact be extremely useful: the immune response directed against these bacteria will help the patient to fight even more strongly against a tumour by stimulating new immune defences. Now that these «beneficial» bacteria which potentiate the anti-tumour immune response have been identified, it should be possible quite rapidly to supply the body with more of them, notably through probiotics or prebiotics and/or a special diet.

100 000

The gut microbiota is made up of 100,000 billion bacteria



© T.Muriel & T.Meylheuc / Inra



Joël DORÉ
Inra Jouy-en-Josas



© Inra

Deputy Unit Director
UMR1319 MICALIS
Joint Research Unit for Food and
Gut Microbiology for Human Health

Nutrition, chemical food safety & consumer behaviour

How infants can learn to appreciate vegetables as from dietary diversification



© Z.Marina / Fotolia

Remy E. et al. (2013) *Journal of Nutrition*, DOI: 10.3945/jn.3113.175646 (175647 p.).

Caton S. J. et al. (2013) *British Journal of Nutrition* 109:2089-2097, DOI: 10.1017/S0007114512004126

Studies have shown that young children below the age of 3 years learn to appreciate a new vegetable in a sustainable manner if they are repeatedly exposed to this food, and they also learn how much to consume. The start of dietary diversification (at around the age of 6 months) is a particularly favourable moment for these learning processes. Three strategies were compared: familiarisation (repeated exposures to a new vegetable), association with an appreciated flavour (accompanying the vegetable with a sweet taste) and combination with a higher energy density (the addition of 10% oil).

The results showed that appreciation was increased following repeated exposures to the «basic» recipe. The sweet taste did not enable greater appreciation of this vegetable than repeated exposure to it. An increase in energy density led rapidly to conditioned satiety. Based on these findings, it seems important that dietary guidelines for parents should place greater emphasis on the fact that it is easier to introduce new vegetables before the age of 12 months than after, and that repeated exposure to different foods will help children to become more familiar and learn to appreciate them.

«Microbiome modulation strategies via living microorganisms»

When will these studies be applied to people?

Understanding the microbiome will significantly aid in prevention measures, nutritional and therapeutic prescriptions and long-term care. Recent advances are guiding us in the direction of personalised recommendations, based on each individual's microbiome profile. However, it is difficult to say how long it will be before these approaches are being practiced. Concrete steps are being taken so that recent discoveries can be turned into usable technical solutions in the next two years.

Do your results provide new research opportunities in cancer treatments?

INRA has developed unique skills in the precise characterisation of gut microbiome, leading scientists to consider the gut an organ in its own right. Additionally, recognition of how important gut microbiome in today's chronic diseases has continually grown. Our results open the door to new opportunities by highlighting the broader health implications of the relationships between individual microbiome profiles, tissues and organs. INRA has a responsibility to bring new knowledge to the table regarding the inner workings of this phenomenon.

The quality of the diet given to young children impacts their health status in adulthood. It is therefore crucial to encourage the adoption of good dietary habits by children from the earliest months of life.

Nutrition, chemical food safety & consumer behaviour

The impact of melon and pear odours on food choices

DOI: 10.1016/j.foodqual.2013.06.008

A significant proportion of our food behaviours and choices are influenced by non-conscious processes. In order to clarify these processes, the team applied a priming paradigm that is classically used in cognitive psychology, and is based on the fact that the perception of a stimulus (the primer), whether it is conscious or not, may cause a change to the processing of another stimulus (the target) and result in a modification to behaviour.

Two studies were performed, and for the first time the research team was able to show that an unconsciously perceived fruity odour (melon/pear) had an impact on food choices in adults, guiding them towards fruits or vegetables. Participants exposed to a melon odour were more likely to choose a vegetable-based starter, while those exposed to a pear odour were significantly more numerous in choosing a dessert containing fruits, when compared to individuals in the control groups. In the longer term, the scientists are hoping to pursue these studies outside the laboratory in order to determine the real impact of olfactory priming on food choices in an ecological situation.



© J.Weber / Inra

Animal physiology & livestock systems

The involuntary ingestion of soil is a major contributor to the chlordecone contamination of animal products

DOI: 10.1021/jf400697r

Animals reared in the French West Indies may be exposed to chlordecone (CLD), an organochlorine pesticide that was used between 1971 and 1993 to control banana weevil) through the ingestion of polluted soils. The relative availability of this pesticide in volcanic soils (more persistent in andosol than in nitrosoil) was established in weaned piglets and lambs, and in laying hens. The results obtained thus indicated that the risk of contamination of products (notably fatty tissues) from animals involuntarily ingesting such polluted soils was high, whatever the soil type concerned.

It is therefore necessary to develop livestock management strategies to reduce the risk of product contamination. Effective practices to decontaminate the animals and their products prior to consumption, associated with the use of substances to limit absorption by the animals of the pesticides they have ingested (non-absorbable lipids, anion exchange resins) need to be evaluated.

Nutrition, chemical food safety & consumer behaviour

People consuming organic products display specific profiles

DOI: 10.1371/journal.pone.0076998

The lifestyle, dietary habits and nutritional status of people eating organic foods have rarely been described, despite a marked increase in interest in a sustainable diet.

Consumer attitudes and the frequency of use of 18 organic products were evaluated in 54,311 adults participating in the Nutrinet-Santé cohort. Those regularly consuming organic products - a large proportion of this sample - displayed specific socio-demographic characteristics: they had a higher level of education, their diets were better adjusted in terms of food types and their intake of recommended micronutrients and fibre, and they understood the concept of a sustainable diet. They were also less overweight and obese than those not consuming organic foods.



© C.Maitre / Inra

Science & process engineering of agricultural products

Astringency sensations under UV radiation

DOI: 10.1002/anie.201304046

When tasting an unripe redcurrant, a cup of tea or a glass of wine, the sensation is the same; it is as if the inside of the mouth has suddenly become dry. This is the sensation of astringency. Its cause is the interaction between tannins (substances produced by plants) and the proteins present in saliva called PRP (proline-rich proteins). The precise site of interaction between these two chemical compounds had not previously been clearly identified. Thanks to a new technique involving far ultraviolet synchrotron radiation coupled with mass spectrometry, a team of researchers from INRA, Université Paris-Sud, CNRS and the Synchrotron have for the first time identified the regions of protein IB5 which bind tannins. This technique will be particularly well suited to studying intrinsically disordered proteins (those which regulate cell function or are involved in different diseases).



© M.Pfisch / Inra

Nutrition, chemical food safety & consumer behaviour

Dietary fatty acids influence the intestinal absorption of vitamin D

DOI: 10.1016/j.jnutbio.2013.03.004

This study showed that free fatty acids have a major impact on key stages controlling the absorption of vitamin D. This vitamin plays a crucial role in numerous metabolic processes. Despite its health benefits, more than a third of the French population suffers from mild vitamin D deficiency. A clearer understanding of the bioavailability of this vitamin, in order to optimise its intake, is therefore a public health priority. Fatty acids affect the physicochemical properties of mixed micelles, affecting the uptake of vitamin D by intestinal cells. Oleic acid or a mixture of fatty acids of the «olive oil» type were found to markedly improve vitamin D absorption. These new findings therefore suggest that the intestinal absorption of vitamin D could be optimised, thus opening the way towards the formulation of vitamin D-enriched olive oil.

Nutrition, chemical food safety & consumer behaviour

Analysis of the metabolic fingerprints of pregnant women exposed to pesticides

DOI: 10.1371/journal.pone.0064433

An exploratory study was performed in 83 pregnant women from the PELAGIE cohort (Endocrine Disruptors, a Longitudinal Study of Pregnancy Abnormalities, Infertility and Childhood in Brittany) who were divided into three groups depending on whether they lived in areas where cereal crops were grown nearby. The findings suggested that environmental exposure to complex mixtures of pesticides could cause metabolic disturbances in pregnant women. Indeed, modifications were seen in urinary levels of compounds such as amino acids or other organic acids and were indicative of oxidative stress and a change to energy metabolism. During pregnancy, the foetus is particularly vulnerable to environmental factors, and low doses of toxic substances might be responsible for developmental defects and inter-generational effects on health.

Science & process engineering of agricultural products

Are liquid or gelled milk the same when it comes to digestion?

DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.09.022

Different proteins, a different digestion: not all milk components are equivalent during digestion. More surprisingly, with the same composition, not all forms of milk - liquid or gelled - are either. This was shown by a recent experimental study based on a mathematical model. The key factor was the residence time in the stomach, which modifies the rate of digestion and the appearance of amino acids in the blood. This model takes account not only of the different stages of digestion but also the phenomena that occur in the stomach (coagulation of milk, syneresis of aggregates). These findings thus offer interesting opportunities to predict how foods - and more specifically dairy products - need to be formulated in order to ensure nutritional properties that are appropriate for different target populations (infants, elderly people experiencing a loss of muscle mass, etc.).

Bacterial viruses implicated in nosocomial diseases



Matos R. C. et al. (2013), PLOS Genetics, DOI: 10.1371/journal.pgen.1003539

INRA researchers working on *Enterococcus faecalis* bacteria have shown that there is a link between the mode of action of prophages (viral genomes integrated in the genomes of bacteria) and the onset of infectious diseases, including nosocomial endocarditis. They also showed that antibiotics in the fluoroquinolone family enhanced the activity of these prophages, which firstly caused an increase in the infective potential of the bacteria, and secondly the dissemination of virulence genes to other bacteria. These findings open the way towards a clearer understanding of the mechanisms that underpin certain infectious diseases.

Discovery of a new therapeutic target in *E. Coli*

DOI: 10.1371/journal.ppat.1003437

A research team has demonstrated the presence in *Escherichia coli* bacteria of complex interactions between the biosynthetic pathways of various virulence factors: colibactin, a potentially carcinogenic genotoxin, and siderophores, molecules that are involved in the uptake of iron which is essential to bacterial survival. This study offers promising opportunities for the development of new antibacterial agents.

The brain and chronic early-stage multiple exposures to weakly contaminated foods

DOI: 10.1016/j.toxlet.2013.05.014

In order to better exploit the nutritional quality and functionality of foods, it is essential to control the risks that they are contaminated and thus ensure their safety. In this context, the researchers initiated a project with ANR support in a European consortium in order to evaluate the neurotoxic risks of early-stage and chronic exposure to weakly contaminated foods consumed by pregnant and/or breastfeeding women. A few extracts from the results obtained in 2013 concerned an association of six non-dioxine-like PCBs which are commonly present in fish, and demonstrated their effects on the brain by means of behavioural, molecular and transcriptomic analyses.

Alteration of oral homeostasis by bisphenol A in rats

DOI: 10.1111/odi.12078

Bisphenol A, which is consumed daily in drinking water, causes dryness of the mouth, a reduction in water consumption and modifications to sweet or salty preferences in adult rats. These effects are coupled with changes to the secretory structures of submandibular salivary glands. This suggests an endocrine and/or metabolic disturbance of the regulatory pathways involved in controlling thirst and regulating the secretion of saliva.

Flavour without nitrites in cured meats

DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.01.033

Efforts have been made to minimise nitrite levels in ham, but consumers show no interest in the resulting product because it lacks flavour. Why? Nitrite acts as an antioxidant which prevents the massive production of lipid oxidising compounds that will mask the «cooked ham» flavour due to certain recently identified sulphur compounds. These findings open the way towards avoiding the use of nitrite, a controversial additive from a health standpoint but which until now was essential to ensuring the flavour, colour and preservation of cooked cured meats.

Predictive approaches in biology

Modelling, cross-checking, decrypting and synthesising: prediction depends on the quantification of the various interactions at all levels of the living world to better plan for the science of tomorrow. Assessing microorganisms, animals, plants and ecosystems at different scales are all key factors in improving prediction tools. These precious tools aid decision-making in a time of global change.

Animal genetics

Identifying four mutations responsible for prenatal death in dairy cattle



Fertility is an important issue in the sustainability of milk production. Mutations leading to early mortality during gestation are difficult to demonstrate: individually they cause only a small loss of fertility

Fritz S. et al. (2013), Plos One, DOI: 10.1371/journal.pone.0065550



Certain lethal embryonic defects are difficult to detect because they only appear when both defective alleles for the gene are present in an individual at the same time. When animals are bred to produce homozygotic offspring, a high mortality rate may indicate that parents carry a defective allele. Genomic regions harbouring recessive deleterious mutations were detected in three dairy cattle breeds by identifying haplotypes showing a

10

A significant negative effect on fertility was observed for 10 out of the 33 regions identified in matings between carrier sires and daughters of carrier sires at risk



© S.Normant / Inra



Didier BOICHARD
Inra Jouy-en-Josas



© Inra

UMR1313 GABI
Joint Research Unit for Animal Genetics and Integrative Biology
G2B Team Leader
Bovine Genetics and Genomics

«Understanding the genotype of breeding animals to identify carriers»

How do you reveal the presence of a defective allele that isn't visible?
It is difficult to reveal lethal genotypes at an early gestational stage because the only clinical sign is lower fertility in at-risk animals. To reveal a lethal mutation without information on the gene involved, we can look for missing genotypes in the population. To do this, there needs to be a large enough database of individuals genotyped for markers covering the genome.

How can you limit the number of animals carrying the genes in question?
By identifying the problematic mutations, we can develop tests to show the genotype of the breeding animals and therefore identify the carriers. This information can then be included in the selection objective, enabling the gradual elimination of deleterious mutations.

What is the proportion of early mortality for the population of the 76177 study?
The death rate in the population due to these anomalies is generally low because of their rare frequency. For example, if their allelic frequency is around 5% or 10% (a high rate for this type of anomaly), the loss in fertility is 0.25% and 1%, respectively. This means these mutations are not the sole cause of lowered fertility in dairy cows.



Animal genetics

Analysing the structure of a gene network for a better understanding of associated biological functions



Ipsium Lorem © Inra2013

Is it possible to identify specific biological functions associated to genes with correlated expressions? Is it possible to analyse the relationships between these genes and a phenotype of interest? Addressing these questions is particularly difficult when the genome is not fully understood or its annotation is incomplete, as is frequently the case for mammalian species like pigs.

Villa-Vialaneix N. et al. (2013), PLoS One, DOI: 10.1371/journal.pone.0060045

In this framework, the use of a coexpression network has proven useful. A network approach makes the model more stable and able to incorporate yet-unknown genes. A study was carried out on the skeletal muscle of pigs. Analysis of a network of 272 genes revealed biological functions for the uncharacterised genes. The use of a statistical approach also revealed

a connection between the coexpression network and a phenotype of interest. This approach served to highlight the key genes – to be the focus of forthcoming research – and clusters of genes forming dense sub-networks that relate to muscle pH in pigs



Animal physiology & livestock systems**Modelling the combined effects of genetic selection and livestock management techniques on herd performance**

DOI: 10.3168/jds.2012-6374

An approach is being developed to understand and to explore the combined effects of genetic selection and livestock management techniques on herd production performance levels. The approach uses an animal model to characterise the allocation of dietary resources in dairy goats towards various biological functions. The model demonstrates that the physical state of herd animals is a very important criterion to take into consideration when planning herd performance.



© M.Meuret / Inra

Microbiology & the food chain**Using systems biology approaches to explore new protein synthesis regulation mechanisms in bacteria**

DOI: 10.1371/journal.pone.0059059

DOI: 10.1186/1471-2164-14-588

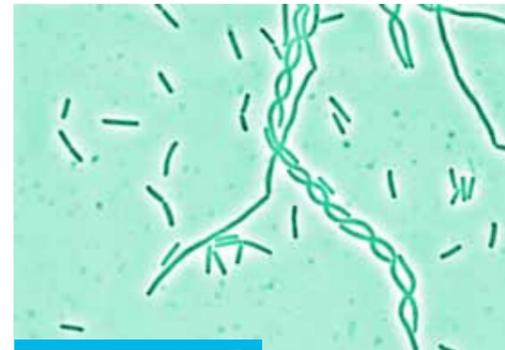


© F.Careas / Inra

One of the main challenges of biotechnology is to get bacteria to produce proteins in high concentrations in order to improve protein production or to steer bacteria metabolism towards high value added compounds. Existing techniques for improving protein production are proving unable to meet a number of challenges. Findings in systems biology have revealed new protein synthesis regulation mechanisms in bacteria. Such mechanisms, when identified, have the potential to improve protein synthesis processes.

Microbiology & the food chain**Systems biology takes a fresh look at the role of transcriptional gene regulation**

DOI: 10.1038/msb.2013.66.



© R.Carballido-Lopez / Inra

What factors regulate metabolic change as bacteria adapt to changing environmental conditions? Several levels of control may coexist in a cell or in a microorganism. Gene transcription is regulated by specific proteins. The transformation of RNA into proteins is also controlled, and even the activity of these proteins is often regulated by various factors. Researchers at Inra used the model bacterium, *Bacillus subtilis*, to study eight metabolic states subjected to different environmental conditions. Systemic and quantitative analysis showed that transcriptional control alone cannot explain all processes and that direct allosteric controls and enzyme modification are essential.

Plant health & environment**Developing next generation sequencing (NGS) technology for viral diagnostics in plants**

DOI: 10.1094/PHYTO-10-12-0275

Using next generation sequencing technologies on fruit plants affected with unknown diseases allowed known viruses to be more comprehensively characterised and revealed the range of viruses to be more diverse than previously known. Additional unknown viruses were discovered in the sample population. The strength of NGS techniques may lead to a complete overhaul of viral indexing practices. The results led to the creation of a viral indexing technology platform that is open to all Inra partners.



© Inra

GNPIS, an information system for agricultural plants and their fungi pests

DOI: 10.1093/database/bat058.

Data integration is a major challenge for modern bioinformatics today. GNPIS is a powerful information system developed at INRA wholly dedicated to plants and their fungi pests. It draws connections between the structure of a plant's genetic makeup and its agronomic traits. GNPIS is available internationally and is the key element of a number of wide-scale partnership projects.

GISA METAPROGRAMME**Identifying useful blood biomarkers to study and understand swine immune capacity**

DOI: 10.1186/1471-2164-14-894

Blood is a key search area for biomarkers able to characterise an individual's physiological condition. When working with pigs, the blood transcriptome is useful to qualify immune parameters. Biomarker genes were identified for blood subpopulations, phagocytic capacity, and in vitro cytokine production. This work seeks to include health and immunocompetence characteristics into the objectives of selective breeding programmes.



© C.Maitre / Inra

A new computation method for complex models

Mengersen K.L. et al. (2013). PNAS, DOI: 10.1073/pnas.1208827110

Researchers at INRA developed a new computation method that differs from methods based on empirical simulations to determine the parameters of statistical models, which are not possible to calculate precisely. This method offers a considerable time savings by bypassing model simulations and can be applied to a large number of mathematical models. The method is illustrated using several examples, including estimation of standard distributions, time series, and population genetics models.



© B.Nicolas / Inra

SELGEN METAPROGRAMME**For a better inclusion of dominance effects in genomic evaluation models**

DOI: 10.1534/genetics.113.155176

Genomic best linear unbiased prediction (GBLUP) methods that take account of the additive and dominant effect of markers were developed. The methods were then tested on real data sets from mice and dairy cattle. These methods allow selective breeding to be better planned, maximising dominant effects in order to enhance animal performance.



© Inra

MEM METAPROGRAMME**Early metaproteomics breakthroughs with PAPPISO**

DOI: 10.1038/ismej.2013.120.

Metaproteomics seeks to identify peptides and proteins in complex ecosystems. The Proteomic Analysis Platform of South-western Paris (PAPPISO) is involved in two such projects looking at microbial ecosystems, one focusing on anaerobic decontamination and the other on human digestive tract. Through these projects, the functions and markers of a well-working, or poorly working, system can be identified, and thereby establish possible courses of action to affect these systems.



© W.Beaucardet / Inra

Agroecology

From the soil to the landscape, from pastures and herds to territories, understanding how agroecosystems work is no easy feat. It is crucial that we characterise them, assess their services, take advantage of their biodiversity while also preserving it, and develop adapted, innovative practices. Agroecology combines ecology and agronomy to facilitate the transition to new farming systems that are both profitable and sustainable.



Social sciences, agriculture & food, rural development & environment

From research to action: keys for successfully adopting agroecology



Drawing on 20 years of pioneering agroecology research, INRA joined forces with relevant stakeholders to successfully organise a day dedicated to agroecology on 17 October 2013, under the patronage of France's minister responsible for agriculture.

Scientists have developed innovations and opportunities to strike the balance between environmental and economic performance for the full spectrum of agricultural systems, ranging from organic farming to conventional agriculture, all the way to intensive farming systems. The conference, entitled "Agroecology and Research", brought together a wide range of nearly 400 participants. More than 150 researchers and engineers were involved in preparing the conference from INRA, other research institutes and agricultural schools participating in the AllEnvi and Agreenium programmes, as well as technical institutes, and chambers of agriculture.

3

INRA has been conducting research work combining ecology and agricultural sciences for 20 years. It is now ranked 3rd in the world for its scientific publications linked to this emerging discipline



© B.Nicolas / Inra



Jean-François SOUSSANA
Scientific Director - Environment



© C.Maire / Inra

Agricultural Engineer, PhD in Science
Lead author of the "Europe" chapter in
the IPCC WGII AG5 Report
(Intergovernmental Panel on Climate
Change)

Science for action & development

Supporting services provided by insects to agricultural land: the role of landscape management



© A.Fraval / Inra

Raymond L. et al. (2013), *Plos One*, DOI: 10.1371/journal.pone.0072997
Raymond L. et al. (2013), *Molecular Ecology*, DOI: 10.1111/mec.12483

Providing support for one group of insect is particularly important: hoverflies. They are a biological control for aphids and provide pollination services in agroecosystems. Migratory movements and large-scale genetic mixing create a permanent flow of genes, leading to considerable genetic diversity in European hoverfly populations. Such diversity supports high adaptive potential that make hoverflies particularly interesting beneficial insects in the light of current climate change trends.

«Reconciling production and environmental demands»

Biodiversity is one of the main driving forces identified. What needs to be done?

The aim is to bring back biodiversity within agricultural production systems to increase flexibility without compromising economic viability. The examples deal with four organisational levels: genetic diversity (combining wheat varieties to strengthen resilience), specific diversity (mixing cereal and pulses or the positive results of grazing cattle and goats together), functional diversity (it has been shown that crops between tree lines have fewer pest problems) and finally, ecological networks (beneficial fauna and pollinators).

Two other levers were discussed in your work: land use planning and nutrient cycling...

The first is about managing a landscape mosaic or watershed, whether individually or collectively, and integrating this agro-ecological management into land use planning and regional development for better water and land preservation and stronger pest and pollinator regulation.

For the second, the goal is to prevent losses, waste (energy, nutrients, organic soil matter) and pollution (water, air and greenhouse gas emissions) while promoting manure recycling and nutrient cycling (carbon, nitrogen, phosphorus, etc.).

Identifying the provenance of the pests and beneficial organisms that colonise agricultural plots is crucial in efforts to make full use of ecosystem services at plot level.

SMACH
MÉTAPROGRAMME

Forest, grassland & freshwater ecology

Using Google Street View© to find invasive insects

Researchers at INRA have, for the first time, made use of freely accessible data from Google Street View (GSV) to map pine processionary moth distribution as its range grows.



Jérôme Rousselet, et al. (2013), PLOS ONE, DOI: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0074918>

Pine processionary moth is an insect whose larvae build winter nests of white silk, notably in roadside trees. This makes Google Street View, an imagery system of detailed views taken while driving along roads, an interesting tool and can be used to collect a host of information.

Researchers surveyed a sampling area of nearly 47,000 km² in France's Centre region. The sampling area was divided in 183 cells measuring 16 × 16 km. For each cell, the researchers recorded the presence or absence

of nests. The data were collected through direct field observation and through GSV. In comparing the two, researchers determined that GSV was a good indicator of field data and was approximately 90% accurate at this spatial scale. These findings create exciting possibilities to simplify and reduce data acquisition costs to study the distribution, and change in distribution, of invasive species such as horse-chestnut leaf miner and ash dieback fungus.



Science for action & development

Multi-criteria assessment of services provided by livestock farming in different regions

Ryschawy J. et al. (2013), Annual Meeting of the European Association of Animal Production, Session 22A - Services provided by livestock farming systems: ecological, economic and social dimensions, 27 August 2013, Nantes, France.

Livestock farming is an essential force in rural regions, where it supports soil fertility and maintains landscapes, rural vitality, job creation and a cultural identity and heritage. This study identified four main combinations of services provided by livestock farming, where spatial distribution is not random. The first type involves providing high levels of food production and regional vitality services. The second type involves providing a high level of environmental services along with ample cultural identity services. The two other combinations are sub-categories of the first two but with moderate provision of services. An important aspect of this work is the study of major socio-economic, political, ecological and geographical determinants of the service 'packages' to inform policy-makers and society as a whole, and also familiarise those involved in livestock breeding with these services and improve their production.

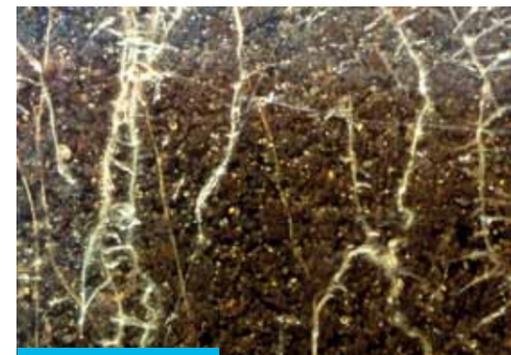
Plant health & environment

Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere

Philippot L. et al. (2013), Nature reviews microbiology, DOI: [10.1038/nrmicro3109](https://doi.org/10.1038/nrmicro3109)

The rhizosphere is the interface between plant roots and soil where interactions among a myriad of microorganisms and invertebrates affect biogeochemical cycling, plant growth, and tolerance to biotic and abiotic stress.

Understanding rhizosphere ecology and evolution is key to enhancing plant productivity and ecosystem functioning. Current rhizosphere research is studying the contribution of microorganisms and macroflora to sustainable agriculture, nature conservation, the development of bioenergy crops, and climate change mitigation.



Ipsium Lorem © Inra2013



Plant health & environment

A decision-making tool for use across France to prevent the proliferation of grain aphids

DOI: [10.1016/j.pecoinf.2012.11.004](https://doi.org/10.1016/j.pecoinf.2012.11.004)

The grain aphid, *Sitobion avenae*, is an occasional, serious pest which attacks wheat crops in western Europe in the spring. High rates of proliferation can reduce yields by as much as several dozen quintals per hectare. A model was developed to study their behaviour from 1975-2011 (rate of growth, initial population distribution, rate of dispersion, rate of landing, speed of travel). The model can be used to map a south-west/north-east springtime dispersion of aphids under the effects of annual agro-climatic conditions and local variations at a 25 sq. kilometre scale (previous winter and spring temperatures, surface of wheat crops and the phenology of the main cultivars). There are plans to extend this study to other species of aphids and to further improve decision-making capacities.



© J.M. Rabasse / Inra



Environment & agronomy

First observed case of mineralisation of chlordecone in soils in banana-growing regions in the French West Indies

DOI: [10.1016/j.scitotenv.2013.06.044](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.044)

Chlordecone (CLD), a residual pesticide used between 1972 and 1993, contaminated soils in the banana-growing regions of the French West Indies. For the first time, using aerobic microcosms and real soils, scientists observed that significant – but brief – episodes of mineralisation of fresh chlordecone occurred when it was applied to soil. These results point to the existence in real soil of microorganisms capable of breaking down CLD in aerobic conditions on a macroscopic scale, and could facilitate the development of soil remediation strategies. Further studies are needed to identify which microorganisms drive this mechanism and factors which control their activities in order to enhance the process in situ. Leading this project is the team of microbiologists headed by Fabrice Martin-Laurent at the Joint Research Unit for Agroecology in Dijon.

Environment & agronomy

A guide for the identification and demarcation of wetland soils

Ministère de l'Écologie, du développement durable et de l'énergie, Groupement d'intérêt scientifique Sol, 63 pages.



© B. Cauvin / Inra

At the request of the French Ministry of Ecology, Sustainable Development and Energy, INRA published a guide to observing and understanding wetland soils. The first section provides a review of the context in which the 2008 decree on the definition of wetlands was established from both a legal and scientific (pedology) perspective. The second section presents the different wetland soils identified by the decree. The guide describes the criteria used for identifying the soils and includes a corresponding list of the different types of soils. Methods used to identify soils in situ or based on data and soil maps are presented in detail. The appendix contains a presentation and recognition fact sheet for each type of wetland soil identified by the decree. Following this project, the Ministry asked INRA to create a national map of potential wetlands based on decree criteria. This work is currently underway in partnership with Agrocampus Ouest.

Helping build a regional plan to balance livestock farming and coastal protection (Acassya project)

DOI: [10.1016/j.envsoft.2013.04.006](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.04.006)

To solve Brittany's green algae problem, scientists working on the French National Research Agency's Acassya project developed a model to test the impact of potential production system changes on nitrate contamination. This model was co-designed with local partners to promote an economically viable form of agriculture with minimal pollution, as stipulated in the Lieu de Grève regional plan in Côtes d'Armor.

Ecophysiological analysis of the nitrophily of weed species

Moreau D. et al. (2013), The Sixteenth Symposium of European Weed Research Society, 24-27 June 2013

Using plant ecophysiology techniques, INRA scientists studied the success factors for nitrophilic weed species in intensive crop systems where high levels of nitrogen fertilisers are used. Results suggest that improved management of nitrogenous fertilising, based on the relative nitrophily of weed and crop species, could provide leverage for enhanced crop growth and a reduction in weed growth in less herbicide-intensive crop systems.



© G. Louvet / Inra



Highlighting... biodiversity

The study of biodiversity, from identifying inter- or intraspecific variabilities, to looking at the functional role biodiversity plays in emerging disciplines such as agroecology, is a major challenge for modern biology. INRA is active in this field of research, most often together with our academic and socio-economic partners, as the complex study of the biodiversity around us cannot be the prerogative of one research entity alone. Below are summaries of a few publications which reflect the importance of this research.

Forest, grassland & freshwater ecology

The ecological role of rare and unique species



Mouillot D. et al. (2013) *Plos Biology*, DOI: 10.1371/journal.pbio.1001569

An international team led by scientists from the CNRS, Université de Montpellier 2, INRA, the Ecole pratique des hautes études (EPHE) and the Institut de recherche pour le développement (IRD) recently showed that a large number of rare species play a unique ecological role, making them irreplaceable even in the most diversified ecosystems on the planet. Based on data collected from three very different ecosystems (coral reefs, alpine meadows and tropical forests),

researchers discovered that unique ecological functions (such as an exceptional resilience to fire and drought) are primarily found in rare species and therefore particularly vulnerable to biodiversity loss. These functions could prove crucial for the functioning of ecosystems affected by major environmental change. The study confirms the capital importance of saving biodiversity as a whole for the resilience and survival of ecosystems.

Environment & agronomy

Wide-scale diversification of soil bacteria communities

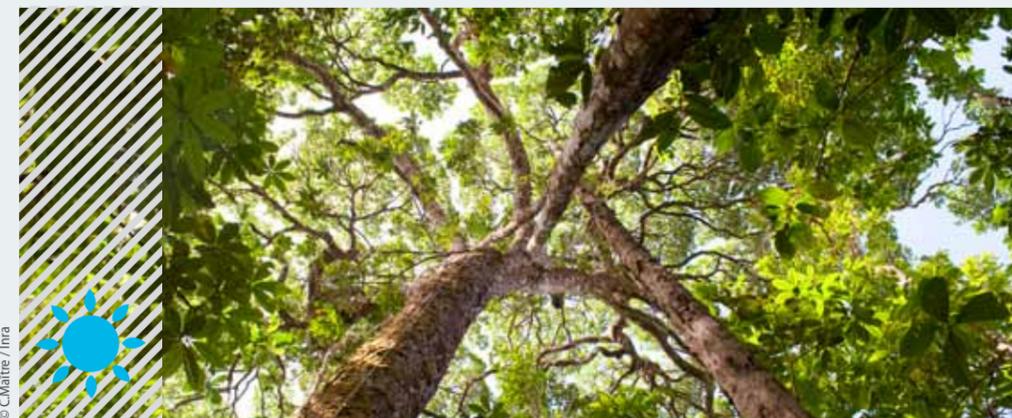
Ranjard L. et al. (2013), *Nature Communications*, DOI: 10.1038/ncomms2431

The processes involved in spatial distribution in soil bacteria communities are still largely unknown on a large scale (landscape, region, territory). To know more, INRA researchers reviewed bacterial diversification in soils identified by the Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS), a national network for the study of changes in soil quality, and applied the species-area relationship to these bacteria communities. They were the first to demonstrate the large-scale significance of this species-area relationship, which is positively correlated with the diversity and heterogeneity of soil habitats. The study also made it possible to show that a species' selection and dispersion processes had a mutual effect on the large-scale diversification of bacteria communities.



Forest, grassland & freshwater ecology

Amazon rainforest: first large-scale inventory reveals 227 hyperdominant tree species



Ter Steege H. et al. (2013), *Science*, DOI: 10.1126/science.1243092

An international study involving scientists from the IRD, INRA, CNRS and Girad, with support from the IRD's "Herbier de Guyane" database, has established the first large-scale inventory of trees in the Amazon Basin. After demonstrating that the world's biggest tropical forest contains nearly 390 billion trees (and around

16,000 different species), scientists revealed that only 227 species are hyperdominant and represent more than half of the Amazon's trees. These findings, which also identified an estimated 11,000 rare tree species, were published in the form of a review paper.

Plant biology & breeding

collecting grapevine genetic resources: a major resource for research, the use of genes of interest, and for understanding domestication



Ter Steege H. et al. (2013), *Science*, DOI: 10.1126/science.1243092

The collection of grapevine genetic resources became a remarkably valued process in 2013: several publications gave an international perspective on the process of grapevine domestication and provided tools with which to purposefully sift through genetic resources to find traits of interest. Another publication confirmed 16 years of joint efforts

by three INRA units and a team from the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) in Australia on the molecular characterisation of genes taken from the genetically distant *Muscadinia rotundifolia* and which confer resistance to downy and powdery mildews.



Highlighting... the decoding of genomes

The analysis of a genome, its sequences and how these sequences are organised within chromosomes often reveals extraordinary information about things such as asexual reproduction, the surprising complexity of a microorganism, or an ancient symbiosis. It is also a prerequisite for improving the phenotypic potential of a genome in any way: to increase yields or detect specific sequences, for example. Notwithstanding the example above, the complexity of a higher organism is more or less mirrored by the size and dynamics of its genome. Most of the sequencing and annotation of genomes today is carried out by multinational consortia. INRA takes part in these international efforts to decode genomes.

Plant health & environment

Asexual reproduction: one animal reveals its secrets



Jean-François Flot et al. (2013), *Nature*, DOI: 10.1038/nature12326

An international consortium of scientists from the CEA-Genoscope, the Université de Namur, CNRS and INRA sequenced and annotated the genome of a bdelloid rotifer, a microscopic animal with surprising and controversial survival and reproduction abilities. The results of the study confirm biological and paleontological data suggesting that bdelloid

rotifers have reproduced by solely asexual means for tens of millions of years. This "evolutionary scandal" can now be explained: analysis of the genome pinpointed a structure that is incompatible with sexual reproduction, as well as mechanisms which allow the animal to sidestep the usually damaging genetic consequences of asexuality.

© B.Hespeels / Université de Namur

Animal genetics

Contributing to the sequencing of the Mallard duck genome



© A.H.Cain / Inra

Huang, Y. et al. (2013), *Nature Genetics*, DOI:10.1038/ng.2657

Inra scientists contributed to the efforts of a consortium to sequence the genome of the common duck (*Anas platyrhynchos*). Sequencing was carried out at the Beijing Genomics Institute (China) using a strategy originally developed for the sequencing of the panda genome. Sequence

fragments were then assembled based on physical and comparative mapping data. We contributed to the production of the physical map, the verification of how the sequence fragments were assembled, and the ordering and annotation of the genome using transcript sequences.

Plant health & environment

the genome of an arbuscular mycorrhizal fungus provide insight into the oldest plant symbiosis

Tisserand E. et al. (2013), *PNAS* doi:10.1073/pnas.1313452110

Mutualistic symbiosis involves arbuscular mycorrhizal fungi, which perform vital functions in the phosphorus cycle that are fundamental to sustainable crop plant productivity. The unusual biological features of these fungi suggest that they maintain a stable assemblage of several different genomes during the life cycle. However, the low level of genome polymorphism in *Rhizophagus irregularis* is not consistent with the occurrence of multiple, highly diverged genomes. The fungi's obligate biotrophy is marked by a lack of genes encoding plant cell wall-degrading enzymes and of genes involved in toxin and thiamine synthesis. The present comprehensive repertoire of *R. irregularis* genes provides a solid basis for future research on the mechanisms involved in this mutualistic symbiosis.

Plant health & environment

The amborella genome and the evolution of flowering plants

Betsy A. Read et al. (2013), *Nature*, DOI: 10.1038/nature12221

Endemic to New Caledonia, *Amborella trichopoda* is the sole surviving sister species of all other living flowering plants. It provides an exceptional reference for inferring ancestral gene content and genome structure in the most recent common ancestor of all living angiosperms. New gene families, duplications and rearrangements were identified, along with interactions between floral proteins and transposable elements which are ancient and highly divergent.

Animal genetics

Sequencing and automated whole-genome optical mapping of the genome of a domestic goat (*Capra hircus*)

Dong Y. et al. (2013), *Nature biotechnology*, DOI: 10.1038/nbt.2478

The genome sequence of a female Yunnan black goat was obtained using an original method which combined short-read sequencing data and optical mapping data from a high-throughput whole-genome mapping instrument. Comparative transcriptomic analysis of the primary and secondary follicles of a cashmere goat reveal 51 genes that are differentially expressed between the two types of hair follicles. This study, the results of which will facilitate goat genomics, shows that whole-genome mapping technology can be used for the de novo assembly of large genomes.

Plant biology & breeding

The emiliania genome decoded at last

Betsy A. Read et al. (2013), *Nature*, DOI: 10.1038/nature12221

The genome of *Emiliania huxleyi*, an emblematic species of marine phytoplankton, was decoded for the first time by an international consortium of teams from the CNRS, the Université Pierre et Marie Curie (UPMC), INRA, Aix-Marseille University and the ENS. Scientists discovered that the genome of this very widespread, unicellular marine microorganism contains at least a third more genes than the human genome, despite the creature being twenty times smaller. Another surprising find was a high level of complexity, which gives *Emiliania* considerable adaptation skills.



