

Ce 9^e numéro de « Zoom » vous propose une sélection de résultats et d'événements emblématiques pour le Centre de Clermont-Ferrand-Theix-Lyon pour l'année 2013. Il s'agit d'une part de résultats scientifiques significatifs obtenus par les équipes de recherche du Centre, et d'autre part d'événements marquants survenus au cours de l'année 2013.

Ils s'articulent autour de 5 des axes qui structurent l'activité scientifique du Centre : durabilité des systèmes d'élevage herbagers de montagne ; biologie intégrative des céréales et des arbres ; qualités des produits animaux ; nutrition humaine préventive ; épidémiologie prédictive des risques zoonotiques. Ils illustrent à la fois la diversité et la qualité des travaux de recherche des équipes, leur dimension internationale et leur intégration dans le tissu partenarial régional, académique ou professionnel. Ils mettent en lumière l'intérêt du continuum entre la production de nouvelles connaissances concernant le monde du vivant et leur valorisation en terme d'innovations appropriées par nos différents partenaires.

Toutefois, la richesse des recherches conduites sur le Centre ne peut se résumer aux résultats présentés brièvement dans ce document. C'est pourquoi, nous vous invitons à rester connecté à l'actualité du Centre via son site internet : www.clermont.inra.fr

Jean-Baptiste Coulon,
Président de Centre
Sabrina Gasser,
Chargée de communication

Inra Centre de Clermont-Theix-Lyon
F - 63122 Saint-Genès Champanelle
Tél. 04 73 62 40 00

www.clermont.inra.fr



Douze résultats scientifiques significatifs

Les perturbations climatiques affectent à long terme la production des prairies permanentes

Les scénarios climatiques prévoient un réchauffement moyen de l'air s'accompagnant d'une augmentation de la variabilité des précipitations, avec une baisse marquée en été. Sous un climat plus chaud et plus sec, la production de fourrage de qualité ainsi que l'activité puits de carbone des prairies pourraient ainsi être altérées de manière importante et durable. La diversité des communautés végétales pourrait permettre cependant de limiter les effets négatifs du stress. L'objectif de cette étude est de comprendre la réponse des prairies à la variabilité climatique afin d'adapter les pratiques pour favoriser la récupération des espèces et ainsi maintenir à long terme les services agricoles et environnementaux rendus par les prairies.

La simulation d'un gradient de perturbation climatique estival (réduction de précipitation associée à un réchauffement moyen modéré (années 1 et 2) ou fort (année 1) : stress climatique de -156 à -249 mm) a induit le flétrissement du couvert végétal suivi par un reverdissement rapide en automne la première année. Cette réponse classiquement observée en prairie ne s'est pas accompagnée d'une récupération de la production de biomasse qui a diminué de 28 % la première année et de 25 % la deuxième année. En fauches fréquentes (4 à 6 fauches annuelles), l'effet de la perturbation climatique a été plus marqué qu'en fauches peu fréquentes (2 à 3 fauches annuelles). La présence de différents groupes fonctionnels (graminées, dicotylédones non fixatrices de N, légumineuses) au sein de la communauté végétale n'a pas limité les effets négatifs de la perturbation climatique sur la



production prairiale. En troisième année, alors que les parcelles ont reçu les mêmes précipitations, nous n'avons pas observé de récupération de la production prairiale. L'occurrence d'un printemps anormalement chaud et sec en 3^{ème} année induisant un stress climatique de -141 mm pourrait expliquer ce temps de latence.



Axe élevage

Il s'agit maintenant d'améliorer les connaissances sur les stratégies de résistance et de récupération à des stress hydriques sévères des espèces prairiales pour élaborer des mélanges plus efficaces et plus durables dans le temps. Pour cela des expérimentations en conditions semi-contrôlées doivent être menées pour comparer la capacité des espèces à accumuler des glucides non structuraux, la profondeur d'enracinement et la durée de vie des organes de survie (méristèmes aériens et racinaires).

■ Publication

Zwicke M, Alessio GA, Thiery L, Falcimagne R, Baumont R, Rossignol N, Soussana J-F, Picon-Cochard C, 2013. Lasting effects of climate disturbance on perennial grassland above-ground biomass production under two cutting frequencies. *Global Change Biology*, 19, 3435-3448.

■ Contact

Catherine Picon-Cochard (UR Ecosystème prairial)
Catherine.Cochard@clermont.inra.fr

La polyculture-élevage : un système de production durable de viande bovine ?

La polyculture-élevage (PCE) bénéficie d'une image de système de production vertueux tant au niveau environnemental qu'économique.

Dans le bassin Charolais, les fermes d'élevages bovins allaitants présentent une certaine diversité de système d'exploitation. Nous avons comparé les performances techniques, économiques et environnementales d'exploitations spécialisées « élevage » (100 % herbagères ou intégrant des cultures à destination de l'alimentation des animaux) et d'exploitations dites polyculture-élevage (vendant des bovins et des produits végétaux), issues d'un réseau de 66 fermes.

Les exploitations de PCE, vendant des bovins et des produits végétaux, sont de plus grande taille avec une même disponibilité de main d'œuvre que les exploitations bovines spécialisées (avec ou sans céréales à destination des animaux). Pour des performances animales comparables, ces exploitations de PCE font une utilisation moins efficace des intrants (engrais, aliments achetés, fuel...). Leur plus grande taille ne se traduit pas par des économies d'échelle, les charges de mécanisation par hectare de surface agricole y étant plus élevées. Ces exploitations PCE affichent des performances économiques par travailleur comparables aux spécialisées, la moindre efficacité de l'acte de production



étant compensée par les gains de productivité du travail. Cette utilisation moins efficace des intrants pénalise également leurs performances environnementales (bilan azote, émissions de gaz à effet de serre, consommation d'énergie non renouvelable) qui se trouvent inférieures à celles des exploitations spécialisées.



Axe élevage

Il existe un fossé entre l'idéal conceptuel, issu de nombreux travaux concentrés sur les processus biophysiques, et la réalité. Passer de l'échelle parcelle ou animale, à l'échelle exploitation agricole nécessite que la recherche, l'enseignement et la formation adoptent des approches systémiques et interdisciplinaires, sur le long terme et basées sur des études de terrain.

■ Publication

Veysset P, Lherm M, Bébin D, Roulenc M, 2014. Mixed crop-livestock farming systems: a sustainable way to produce beef? *Commercial farms results, questions and perspectives*. *Animal*, accepté.

■ Contact

Patrick Veysset (UMR Herbivores)
Patrick.Veysset@clermont.inra.fr

Le bien-être des vaches laitières françaises passé au crible

La garantie du bien-être des animaux d'élevage est un enjeu fort des productions animales afin de répondre aux attentes sociétales. Il est nécessaire d'identifier les problèmes majeurs de bien-être auxquels les animaux sont confrontés afin de cibler les actions correctives et d'identifier les caractéristiques des élevages et les pratiques associées à une dégradation du bien-être, permettant ainsi d'identifier des populations « à risque ». Compte-tenu des interrogations spécifiques concernant la filière laitière et de son poids économique, nous avons engagé une étude épidémiologique du bien-être des vaches laitières visant à identifier les aspects les plus dégradés de leur bien-être et les facteurs de risque associés.

Nous avons visité 131 élevages en Bretagne, Rhône-Alpes et Auvergne. Nous y avons appliqué le protocole Welfare Quality® d'évaluation du bien-être animal et nous avons relevé des informations sur les caractéristiques des élevages et les pratiques des éleveurs (« facteurs »). Onze critères ont été pris en compte : absence de faim, de soif, de maladie, de blessures et de douleurs ; confort du couchage ; possibilité de mouvements ; accès au pâturage ; comportement social, relation homme-animal envers l'homme et état émotionnel. Nous avons montré que i) les aspects les plus dégradés étaient la douleur liée à l'écornage, les maladies, l'inconfort du couchage, le comportement social, la relation homme-animal et l'alimentation ; ii) les vaches sont en meilleure santé dans les étables en aire paillée, lorsqu'elles sont propres et en bon état d'engraissement et que le renouvellement des animaux est normal, confortant le rôle de la gestion générale de l'élevage dans la maîtrise de la santé ; iii) les vaches rencontrent plus de difficultés pour se coucher et



présentent plus de blessures dans les étables à logettes ; iv) les conditions de vêlage peuvent influencer la relation homme-animal, avec des vaches approchant plus volontiers l'homme lorsqu'il n'y a pas eu d'interventions au vêlage.

Les priorités à traiter dans les plans d'amélioration du bien-être pour les vaches laitières concernent l'amélioration de la prise en compte de la douleur en élevage et du couchage des vaches et la réduction des problèmes sanitaires. Les résultats de cette enquête transversale (une visite par élevage) doivent être confortés par des travaux longitudinaux afin de mieux identifier les relations de causes à effets. La modélisation pourra permettre de synthétiser les relations déjà identifiées dans la littérature et de formaliser la quantification des effets et des interactions mis en évidence dans les enquêtes, afin de proposer un modèle global de la construction du bien-être des vaches laitières.

■ Valorisation

De Boyer des Roches A, Veissier I, Coignard M, Bareille N, Guatteo R, Capdeville

J, Gilot-Fromont E & Mounier L, 2014. The major welfare problems of dairy cows in French commercial farms – An epidemiological approach. *Animal Welfare*. Accepted.

■ Contact

Alice de Boyer des Roches (VetAgro Sup)
Alice.Deboyerdesroches@vetagro-sup.fr



Axe élevage

QuaeWork, une méthode pour évaluer la flexibilité et l'efficacité du travail en exploitation d'élevage

Les mutations qui affectent les exploitations d'élevage placent le travail au centre des préoccupations des filières et des éleveurs. Les évolutions des systèmes d'élevage, sous l'effet des filières, de la demande accrue de compétitivité et de productivité ainsi que les propres aspirations des éleveurs pour améliorer leurs conditions de travail rendent nécessaire d'évaluer conjointement deux dimensions du travail : l'efficacité et la flexibilité.



La méthode « QuaeWork » (QUAlification and Evaluation of Work in livestock farms) analyse les interactions entre la conduite d'élevage, l'efficacité et la flexibilité du travail. Elle permet à partir d'une enquête avec des éleveurs d'identifier les différents types de main-d'œuvre, de caractériser les formes d'organisation du travail (qui fait quoi) et les durées de travail au cours de l'année. L'efficacité du travail peut être estimée à partir d'indicateurs comme le temps de travail d'astreinte par unité productrice (unité gros bétail, vache, brebis...) ou produite (1000 l de lait par exemple). La flexibilité est liée aux marges de manœuvre en temps des agriculteurs pour réaliser les tâches non comptabilisées et les activités privées, une fois réalisées leurs parts de travail d'astreinte et de saison et par la variabilité des formes d'organisation quoti-

dienne du travail. Cette méthode a été mise à l'épreuve pour analyser l'organisation du travail dans différents systèmes d'élevage français ou étrangers (Vietnam et Brésil notamment). Par exemple, dans les exploitations laitières du sud du Massif central, certains éleveurs organisent leur travail en répartissant les tâches entre les différents travailleurs, en mécanisant la distribution de l'alimentation et en rationalisant l'alimentation afin d'améliorer la fonctionnalité et la productivité technique de l'élevage. D'autres éleveurs simplifient la traite et/ou l'alimentation. Ils expriment d'autres priorités que la productivité du travail : se libérer du temps quotidiennement pour profiter de leur vie de famille, prendre des week-ends, des congés, ou encore être capable de tout faire tout seul.

La méthode QuaeWork s'avère utile pour réfléchir à l'avenir des exploitations agricoles familiales, pour lesquelles les projets de vie, et pas seulement l'efficacité économique, sont au cœur des attentes : la conduite d'élevage est alors conçue pour respecter ce projet de vie. Un outil informatique est en cours d'élaboration pour opérationnaliser son usage par la recherche et le conseil agricole.

■ Valorisation

Cette méthode a été mobilisée dans plusieurs formations en France et à l'étranger. Elle a également été à la base d'outils pour le conseil en élevage (outil « Pact'Éleveurs » dans le programme Vivre l'Élevage en Picardie).

■ Publication

Hostiou, N, 2013. «Work flexibility of organic suckler sheep farms in France». *Organic Agriculture*, 3, 111-121.

■ Contact

Nathalie Hostiou (UMR Métafort)
Nathalie.Hostiou@clermont.inra.fr



Axe élevage

La compréhension de l'histoire passée du blé permettra de modéliser l'adaptation de son génome face aux contraintes environnementales futures



La comparaison des génomes d'espèces modernes permet de reconstruire les génomes ancestraux fondateurs disparus et ainsi de déceler les réarrangements chromosomiques et géniques qui ont eu lieu au cours de l'évolution en réponse notamment aux contraintes environnementales. La détection de tels réarrangements anciens et l'identification des mécanismes moléculaires causaux pourraient s'avérer déterminants dans le contexte de l'adaptation future des espèces agricoles dans le cadre du réchauffement climatique.

Nos travaux ont permis l'identification de plus de 16 000 gènes conservés (on parle de synténome) chez les céréales (riz, sorgho et maïs), constituant un génome ancestral de 7 chromosomes. Ainsi, le séquençage de ce synténome chez le blé moderne panifiable montre que son génome est issu de l'ancêtre des céréales à 7 chromosomes qui a été dupliqué en 14 chromosomes puis qui a subi 7 fusions des chromosomes ancestraux pour aboutir aux ancêtres du blé datant de moins de 5 millions d'années. Trois progéniteurs (nommés A, B et D) ont alors fusionné (on parle de polyploïdie) pour donner le blé panifiable moderne dont le génome, dit hexaploïde, est constitué de 3 jeux de 7 chromosomes.

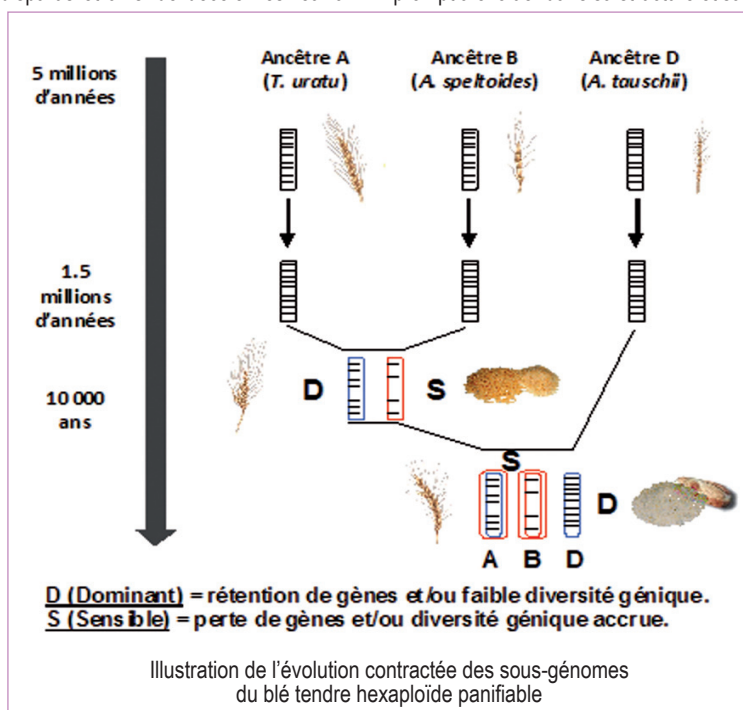
L'évolution récurrente à la fois ancienne mais aussi récente du génome du blé par duplication (ou polyploïdie) a ainsi fourni constamment des copies de gènes surnuméraires. Toutefois, nos travaux ont établi qu'une duplication totale du génome est suivie par un phénomène de diploïdisation par délétion et transposition des copies de gènes dupliqués. L'analyse du devenir, chez le blé panifiable hexaploïde, des gènes conservés chez les céréales suite à deux événements de polyploïdisation montre que cette diploïdisation n'est pas aléatoire et a lieu préférentiellement au sein du sous-génome B, dit sensible, comparativement aux sous-génomes A et D, dits dominants.

Le contenu en gènes du compartiment génomique sensible serait plus prompt à évoluer dans sa structure et sa fonction pour s'adapter aux contraintes biotiques et abiotiques. L'équipe travaille désormais sur les modifications épigénétiques et *in fine* fonctionnelles de cette fraction génomique possiblement plus efficace à répondre aux stress thermiques, hydriques et aux pathogènes.

■ Valorisation

Un outil adapté à la biologie translationnelle chez les plantes a été proposé.

La connaissance de la structure de l'ancêtre commun des génomes de céréales nous permet d'identifier avec précision les régions qui portent des gènes ayant une origine commune. Grâce à ce résultat, les informations obtenues sur la fonction biologique de gènes clés chez une espèce peuvent être transférées précisément aux espèces apparentées. Ce concept est intitulé la « biologie translationnelle ». Ainsi, un outil de biologie translationnelle entre le blé et les céréales a été développé dans le cadre de ces recherches ([http://](http://urgi.versailles.inra.fr/synteny-wheat)



urgi.versailles.inra.fr/synteny-wheat.

■ Publication

Pont C, Murat F, Guizard S, Flores R, Foucrier S, Bidet Y, Quraishi UM, Alaux M, Doležel J, Fahima T, Budak H, Keller B, Salvi S, Maccaferri M, Steinbach D, Feuillet C, Quesneville H, Salse J, 2013. Wheat synténome unveils new evidences of contrasted evolutionary plasticity between paleo- and neoduplicated subgenomes. *The Plant Journal*. 76(6):1030-44.

■ Contact

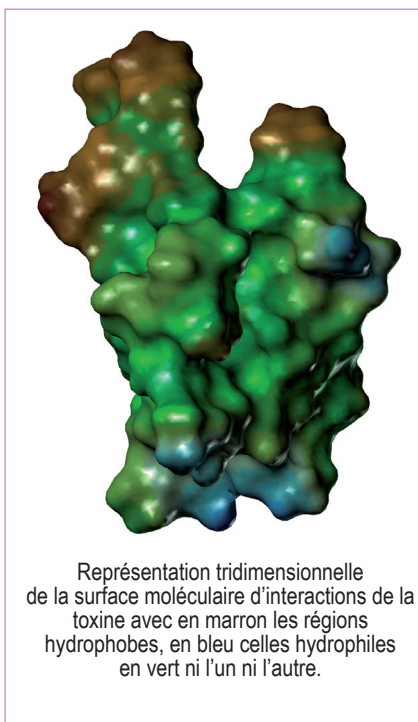
Jérôme Salse (UMR Génétique, diversité et écophysologie des céréales)
Jerome.Salse@clermont.inra.fr

La découverte d'une toxine naturelle permet d'envisager une lutte efficace contre les ravageurs des céréales



Les céréales stockées sont actuellement protégées presque exclusivement par l'emploi d'insecticides chimiques. La recherche sur la toxine PA1b a, entre autres, pour objectif la protection des céréales contre certains de ses plus importants ravageurs tels que les charançons des céréales. Le marché des insecticides biologiques reste embryonnaire, et celui des gènes insecticides a un problème d'acceptabilité en Europe. Cependant les attentes de la société pour des méthodes alternatives de contrôle des bio-agresseurs sont fortes, renforcées par la puissante poussée réglementaire actuelle. Favoriser le développement de molécules à impact moindre, voire nul, sur l'environnement et la santé humaine est donc crucial. Dans ce cadre, les albumines de légumineuses, couramment consommées par l'homme et les animaux, mais toxiques pour certains insectes ravageurs sont une classe de molécules au fort potentiel d'utilisation en bio-contrôle : ce sont les seuls inhibiteurs connus de v-ATPase qui aient un spectre d'action spécifique des insectes.

Nous avons découvert une variabilité inédite de gènes codants pour des toxines A1b dans le génome de la légumineuse modèle *Medicago truncatula*. L'étude de l'expression de cette diversité révèle aussi que *Medicago* est la seule légumineuse à ce jour à avoir utilisé cette famille de toxines non pas pour protéger ses graines, mais



plutôt ses racines et ses nodules. Parmi cette diversité, la sélection raisonnée de quelques peptides A1b synthétisés chimiquement a abouti à la découverte d'une toxine insecticide dix fois plus puissante aux niveaux moléculaire et cellulaire, que son parent présent dans les graines de pois (PA1b original). Un brevet a été déposé en 2013 pour protéger cette propriété.

Des travaux sont en cours pour identifier les partenaires de la v-ATPase nécessaires à l'accrochage de la toxine et ainsi mieux cerner le mécanisme de résistance de certains insectes et des vertébrés à PA1b. Par ailleurs, des collaborations sont en cours avec des généticiens des légumineuses (Dijon et Montpellier) pour analyser la variabilité génétique de la famille multigénique des A1b dans des espèces clef (pois), en lien potentiel avec la domestication végétale.

■ Publication

Royer, C. et al., 2013, brevet déposé le 10 décembre 2013 (réf : MJPII - F053900167/FR/BN).

■ Contact

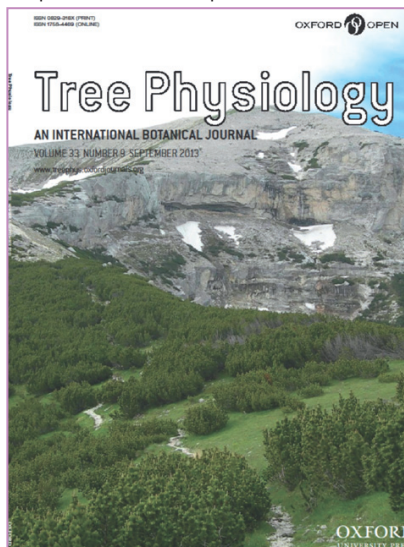
Corinne Royer (UMR Biologie fonctionnelle, insectes et interactions)
Corinne.Royer@lyon.inra.fr

Prédire la limite altitudinale des arbres à partir de leurs résistances au gel



Axe végétal

La biologie hivernale des arbres est essentielle à leur acclimatation en zone tempérée et à leurs répartitions. La résistance au gel limite ainsi leurs aires de répartition, en particulier en altitude. Cette résistance au gel concerne à la fois les cellules vivantes (lyse cellulaire), mais aussi le système vasculaire (embolie hivernale). Notre travail a cherché à définir des traits physiologiques simples pouvant rendre compte de cette double résistance et permettre de prédire la limite altitudinale des espèces arborées tempérées.



Selon les espèces, les résistances cellulaire et vasculaire au gel sont relativement différentes. Nous avons montré que la perte de conductivité hydraulique maximale (embolie hivernale) était le facteur le plus étroitement lié à la limite altitudinale. De plus,

cette embolie maximale dépend fortement du diamètre hydraulique (anatomie des vaisseaux) et de la capacité des cellules vivantes à former des composés osmotiques afin de résister elles-mêmes au gel, mais également de permettre la réparation de l'embolie des vaisseaux par pressurisation. Ces résultats nous ont permis de modéliser, à partir de trois paramètres physiologiques et anatomiques simples (le diamètre hydraulique des vaisseaux, le contenu en réserves carbonées à l'automne et l'humidité pondérale maximale des tissus), la limite altitudinale potentielle de chaque espèce étudiée.

Le suivi de traits physiologiques liés aux résistances cellulaires et vasculaires au gel apporte ainsi de nouvelles perspectives de compréhension des aires de répartition des arbres en limite altitudinale et de progression de cette limite en fonction des changements climatiques. Cette étude permet de préciser les traits physiologiques à sélectionner pour améliorer les résistances au gel des arbres de climat tempéré.

■ Publication

Charrier G, Cochard H and Améglio T, 2013 - Evaluation of the impact of frost resistances on potential altitudinal limit of trees. *Tree Physiology* 33, 891-902. doi:10.1093/treephys/tpt062.

■ Contact

Thierry Améglio (UMR Physiologie intégrative de l'arbre fruitier et forestier)
Thierry.Ameglio@clermont.inra.fr

Jusqu'où est-il possible de réduire la teneur en sel dans les charcuteries cuites ?



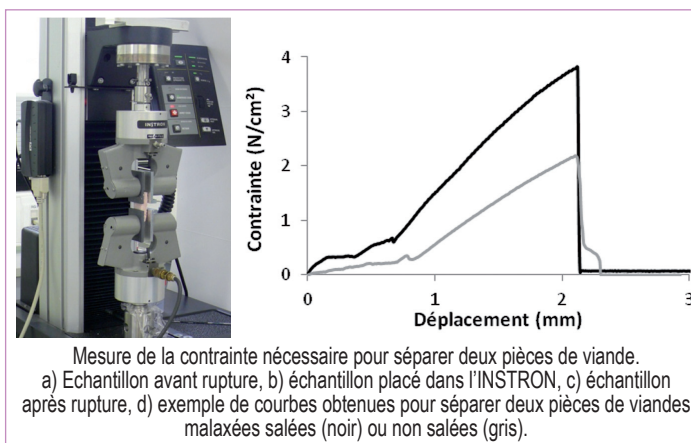
Axe produits

Pour répondre à un enjeu de santé publique, les entreprises de charcuterie ont commencé à réduire la teneur en sel dans leurs produits cuits. Mais la littérature manque d'éléments scientifiques pour répondre à la question suivante : jusqu'où peut-on diminuer la teneur en sel sans affecter la qualité du jambon cuit supérieur (fabriqué sans polyphosphate) ? Le travail s'est intéressé au traitement thermique et à deux phénomènes clés pour la qualité du jambon cuit : l'adhésion entre les muscles, qui permet d'assurer ensuite la tenue de tranche, et le transfert de masse, qui définit le rendement à la cuisson. Le transfert de masse a également été modélisé dans les conditions qui correspondent à la fabrication des produits carnés faiblement salés.

Les résultats confirment que la présence d'une faible teneur en sel améliore significativement l'adhésion de deux pièces de viande par rapport aux cas où les viandes n'ont pas été salées. Par contre, une augmentation de la teneur en sel de la viande au-delà de 0,8 % n'augmente pas la force de rupture entre les muscles, dans les conditions de malaxage douces imposées dans l'étude. L'étude sur les transferts de masse confirme qu'il faut ajouter un minimum de sel (0,8 %) pour limiter les pertes de poids à la cuisson, mais qu'un ajout plus important, jusqu'à 1,8 % de sel, n'a ensuite plus d'influence sur le rendement de la cuisson.

Il serait donc *a priori* possible, dans nos conditions de malaxage, de réduire la teneur en sel dans le jambon cuit de 1,8 à 0,8 % sans affecter, ni le rendement de l'opération, ni l'adhésion entre les muscles. Un modèle combiné de transfert de masse et d'inactivation microbienne a été développé afin de prédire, d'une part, les pertes de poids à la cuisson de produits faiblement salés et, d'autre part, leur sécurité microbiologique à l'issue du traitement thermique. Ce modèle a été validé puis utilisé pour simuler l'effet de différents scénarios de fabrication sur le rendement et la valeur pasteurisatrice des produits.

Ce travail a permis d'analyser les mécanismes responsables de l'adhésion sur des pièces de viande malaxées dans des conditions douces de laboratoire. Il demanderait à être complété par des expériences effectuées dans des conditions de malaxage plus intensives et donc plus proches de la réalité industrielle. Le modèle combiné de transfert de masse et d'inactivation micro-



bienne pourra être utilisé pour optimiser les barèmes de traitement thermique utilisés lors de la fabrication de produits de charcuterie cuite à faible teneur en sel.

■ Partenaires

Ce travail a été financé par l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du projet ANR-09-ALIA-013-01 «Na-» en partenariat avec l'Institut Français du Porc.

■ Publication

Bombrun L, Gatellier P, Carlier M, & Kondjoyan A, 2014. The effects of low salt concentrations on the mechanism of adhesion between two pieces of pork semimembranosus muscle following tumbling and cooking. *Meat Science*, 96(1), 5-13.

■ Contact

Alain Kondjoyan (UR Qualité des produits animaux)
Alain.Kondjoyan@clermont.inra.fr

Nouveaux outils pour l'analyse multi-résidus des pesticides dans les aliments ou l'environnement

Analyser la diversité des pesticides pouvant contaminer les chaînes de production des aliments requiert des méthodes à la fois sensibles – capables de détecter des faibles doses –, résolutive – ayant un fort pouvoir de séparation des substances – et multi-résidus – permettant de détecter de nombreux constituants. La chromatographie bidimensionnelle systématique (GCxGC) répond à ces exigences. Par rapport à la chromatographie monodimensionnelle classique, la GCxGC a pour principal attrait de démasquer par dizaines les composés quantitativement minoritaires en les séparant physiquement des constituants les plus abondants. Couplée à un détecteur approprié, elle permet notamment de démasquer et de quantifier les micro-contaminants des aliments. Le détecteur le plus utilisé actuellement, le spectromètre de masse à temps de vol, a un coût tel qu'il freine l'utilisation de la technique.

Nous avons évalué les performances de nouveaux détecteurs, capables de repérer certains composés organiques qui comme les pesticides comportent un ou plusieurs atomes d'azote, de phosphore, de soufre ou d'halogènes. Nous avons montré que leur utilisation constitue une alternative performante, moins coûteuse (environ 10x) et plus sensible (jusqu'à 100x) pour l'analyse des résidus de pesticides. Couplée à un détecteur à capture d'électrons ou à un détecteur à photométrie de flamme en mode phosphore, la GCxGC permet par exemple de suivre un large éventail de pesticides organochlorés ou organo-

phosphorés dans les aliments ou dans des matrices environnementales telles que l'eau.

La GCxGC offre ainsi un moyen de détecter en une seule analyse un large panel de contaminants. Elle représente une approche de choix pour suivre les conséquences de processus technologiques (cuisson par exemple) ou physiologiques (digestion par exemple) sur la sécurité chimique des aliments.

■ Partenaires

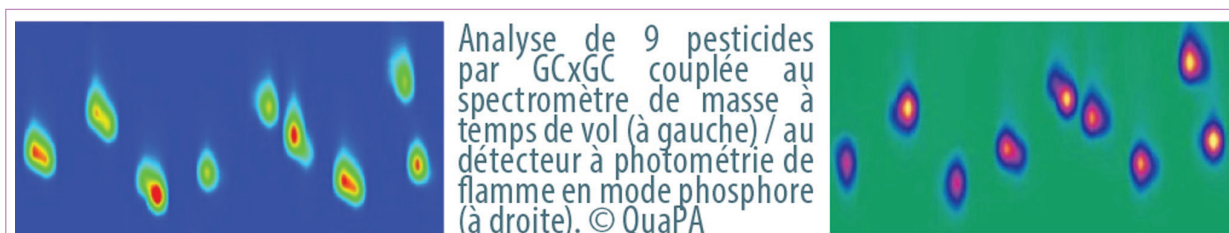
Monash University, Victoria, Australie ; Department of Environment and Primary Industries, Victoria, Australie.

■ Publication

Engel E, Ratel J, Blinet P, Chin ST, Rose G, Marriott PJ, 2013. Benchmarking of candidate detectors for multiresidue analysis of pesticides by comprehensive two-dimensional gas chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1311, 140–148.

■ Contact

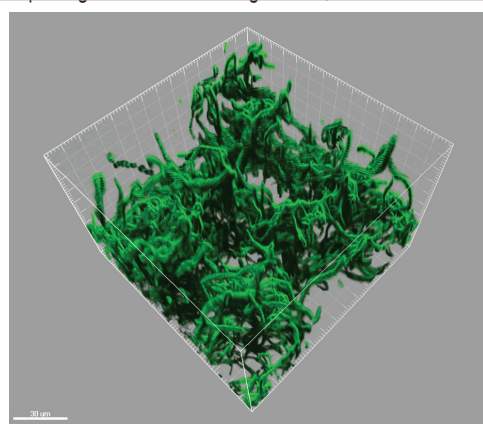
Erwan Engel (UR Qualité des produits animaux)
Erwan.Engel@clermont.inra.fr



Le dysmorphisme de *Listeria monocytogenes* affecte ses capacités de colonisation

Listeria monocytogenes est une bactérie saprophyte, pathogène invasive d'origine alimentaire, responsable d'infections sporadiques sévères chez l'Homme et les animaux. Une connaissance approfondie de la physiologie bactérienne, notamment la transition de ce micro-organisme commensal en pathogène, permettra à terme de proposer des stratégies visant à contrôler sa propagation dans la chaîne alimentaire de l'Homme.

Une variation de la morphologie de ce micro-organisme, issu d'isolats cliniques ou de l'environnement, a été maintes fois rapportée et est associée à un système de sécrétion particulier appelé SecA2. Tandis que la nécessité de ce système dans la virulence est depuis longtemps reconnue, nous nous sommes penchés sur son implication dans les processus de colonisation. L'inactivation de ce système entraîne une élongation, une



Biofilm filamenteux en 3D

autoaggrégation, une sédimentation importante des cellules bactériennes, ainsi que la formation de biofilms filamenteux peu couvrant, procurant néanmoins un avantage décisif pour la colonisation de *L. monocytogenes* en condition environnementale.

Cette variation morphologique a de profondes implications dans la physiologie et l'écologie de *L. monocytogenes*, notamment le portage asymptomatique chez l'Homme à 37°C et l'amélioration des capacités de colonisation en son absence à température ambiante en font une cible de choix pour contrôler la propagation de *L. monocytogenes* dans la chaîne alimentaire. En effet, la modulation de l'expression de ce système de sécrétion permet d'envisager de modifier le niveau de virulence mais aussi d'agir sur les capacités de colonisation de ce pathogène alimentaire.

■ Publication

Renier S, Chagnot C, Deschamps J, Caccia N, Szlavik J, Joyce SA, Popowska M, Hill C, Knochel S, Briandet R, Hébraud M, Desvaux M. 2014. Inactivation of the SecA2 protein export pathway in *Listeria monocytogenes* promotes cell aggregation, impacts biofilm architecture and induces biofilm formation in environmental condition. *Environmental Microbiology*. doi: 10.1111/1462-2920.12257.

■ Contact

Mickaël Desvaux (UR Microbiologie)
Mickael.Desvaux@clermont.inra.fr

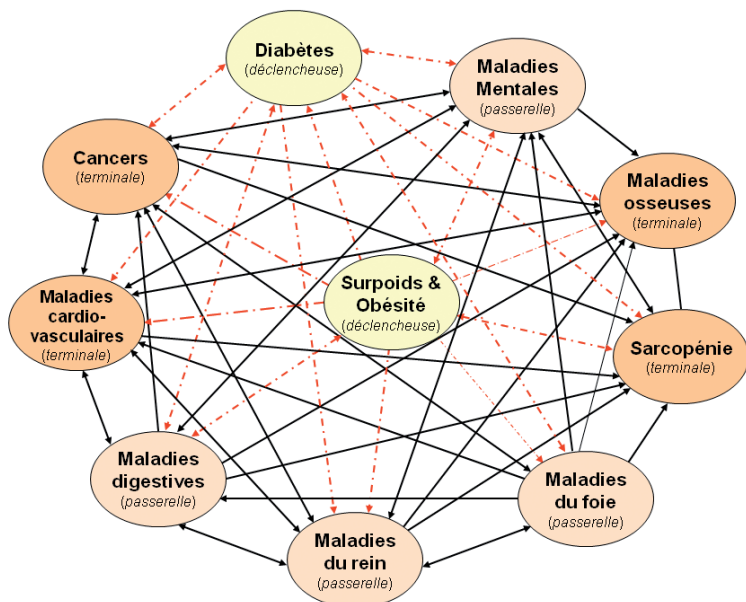
Les maladies chroniques sont d'origine multifactorielle : le diabète et l'obésité en sont les points d'entrée majeurs



Axe nutrition

L'objectif principal de la recherche en nutrition préventive est d'identifier des associations ou des liens de causalité entre le régime alimentaire, les mécanismes physiologiques dérégulés et le développement de la maladie. Une approche holistique, c'est-à-dire systématique et globale de ces associations considérées dans leur ensemble, est nécessaire pour répondre à cette question et définir les facteurs de déviation des trajectoires de santé. C'est ce que nous avons réalisé sur la base d'une revue exhaustive des études réalisées chez l'Homme pour montrer comment se font les liens entre déséquilibres métaboliques (inflammation, insulino-résistance, stress oxydant, etc.) et maladies chroniques et dans quel sens se font ces interactions complexes.

toutes les autres maladies chroniques, notamment le cancer et les maladies cardio-vasculaires (MCV), et les maladies du squelette et la sarcopénie qui peuvent être considérées comme des maladies « terminales ». Les pathologies hépatiques, rénales, digestives et mentales sont à la fois causes et conséquences des autres maladies (maladies « passerelles ») ; 2°) La mise en évidence des origines multifactorielles de toutes les maladies, la plupart résultant de déséquilibres métaboliques. Cela confirme la recommandation de consommer une alimentation riche en divers composés bioactifs permettant de lutter contre les maladies chroniques liées à une mauvaise alimentation. Nous avons aussi mis en évidence que le cancer, les MCV, l'obésité et le diabète ont été les maladies les plus étudiées. Cette tendance peut s'expliquer par une approche *a priori* sur la base de recommandations et par le fait que les cancers et MCV sont les principales causes de mortalité. A l'inverse, notre étude montre que la sarcopénie et la stéatose hépatique ont été négligées alors que beaucoup de dérégulations métaboliques peuvent les déclencher.



Relations entre les 10 principales maladies chroniques liées à une alimentation déséquilibrée sur la base d'une fouille exhaustive des données de la littérature. Les flèches rouges pointillées correspondant aux flèches en relation avec le surpoids/l'obésité et le diabète de type 2 et les autres pathologies.

Nous avons pu classer *a posteriori* les principales maladies chroniques liées à une alimentation déséquilibrée en 3 catégories : les maladies « déclencheuses », les maladies « passerelles » et les maladies « terminales ». Les stratégies nutritionnelles évitant les déviations de trajectoires de santé, axées sur la prévention de l'obésité et du diabète de type 2, doivent donc être prioritaires pour réduire la prévalence des autres grandes maladies chroniques. En termes de santé publique, l'utilisation d'outils holistiques comme le data mining (ou fouille de données) et la métabolomique peut aussi amener à mettre en place de nouvelles mesures de prévention nutritionnelle plus anticipées sur la base de l'identification de marqueurs de dérégulations métaboliques très précoces (« prognostic biomarkers ») et de la reconstitution de réseaux métaboliques modifiés suite à une intervention nutritionnelle ; ce qui ouvre d'immenses et nouvelles perspectives en nutrition préventive.

■ Publication

Fardet A, Boirie Y, 2013. Associations between diet-related diseases and impaired physiological mechanisms: a holistic approach based on meta-analyses to identify targets for preventive nutrition. *Nutr Rev.*71:643-656.

■ Contact

Anthony Fardet (UMR Nutrition Humaine)
Anthony.Fardet@clermont.inra.fr

Cette revue a conduit à deux résultats importants : 1°) la confirmation *a posteriori* du rôle central de l'obésité et du diabète de type 2 comme principaux facteurs de risque (maladies « déclencheuses ») pour le développement de

Un modèle probabiliste pour identifier les interactions entre deux agents pathogènes dans des populations réservoirs



Axe Epidémiologie

Les interactions entre agents pathogènes sont cruciales d'un point de vue médical car elles peuvent modifier la durée et la sévérité des infections. D'un point de vue épidémiologique, les interactions peuvent modifier le risque de transmission. Par exemple, le risque de transmettre la maladie de Chagas (causée par *Trypanosoma cruzi*) est accru si le malade est aussi infecté par des helminthes (*Taenia solium* pour l'homme). Comprendre les relations entre agents pathogènes, permet d'améliorer la prévention et le contrôle des maladies infectieuses.

Des modèles similaires peuvent être développés pour étudier des pathogènes ayant des caractéristiques différentes (e.g. non persistants). La prise en compte des interactions entre les agents pathogènes permet de mieux comprendre les variations du risque de transmission de ces agents. Ces interactions peuvent ainsi être incorporées dans des stratégies de contrôle des épidémies. Par exemple, chez les moustiques *Aedes aegypti*, il a été mis en évidence que la bactérie symbiotique *Wolbachia* limite la multiplication des virus de la dengue, du Chikungunya et de l'agent de la malaria (*Plasmodium spp.*). Ainsi l'introduction de cette bactérie dans certaines populations de moustiques serait une stratégie potentielle de contrôle de la propagation de ces trois agents pathogènes d'importance capitale en santé humaine.



Représentation schématique d'un hôte (un campagnol) infecté simultanément par plusieurs agents pathogènes (*Borrelia burgdorferi sensu lato*, *Bartonella spp.*, *Anaplasma phagocytophilum*, *Babesia spp.*, *Coxiella burnetii* et *Rickettsia spp.*) transmis notamment par les tiques.

Nous avons développé une nouvelle approche pour identifier des interactions potentielles entre deux agents pathogènes chez les populations de réservoirs. Nous nous sommes placés dans le cadre d'études transversales, c'est-à-dire lorsque les agents pathogènes sont détectés une seule fois chez les individus, ce qui correspond à la majorité des études de terrain. Nous avons développé une approche qui combine un modèle probabiliste et statistique. Il est construit à partir d'hypothèses biologiques explicites : agents pathogènes à transmission vectorielle, persistants et peu pathogènes chez l'hôte. Notre modèle quantifie et caractérise le sens de l'interaction potentielle et permet de prendre en compte les facteurs de confusion qui pourraient influencer les probabilités d'occurrence des agents pathogènes.

■ Publication

Vaumourin E, Gasqui P, et al., 2013. A probabilistic model in cross-sectional studies for identifying interactions between two persistent vector-borne pathogens in reservoir populations. *PLoS ONE*, 8(6), e66167.

■ Contact

Elise Vaumourin (UR Epidémiologie animale)
Elise.Vaumourin@clermont.inra.fr

Quatre événements marquants

Recherches fromagères à Aurillac : 40 ans aux services des filières fromagères traditionnelles

De la science... aux applications pour les professionnels des filières fromagères résume l'histoire du laboratoire de recherches fromagères à Aurillac. En effet, confrontés à des problèmes de qualité de leurs fromages, les producteurs de fromage d'Appellation d'Origine Contrôlée (AOC) du Massif central ont apporté à l'Inra leur concours pour créer en 1973 un laboratoire qui avait pour mission de défendre les caractéristiques des fromages AOC.



© Pierre Soissons

Le laboratoire s'est alors appliqué à isoler et caractériser des souches microbiennes (bactéries d'affinage, levures, moisissures) et à les mettre en œuvre dans les fromageries pour garantir les spécificités des fromages AOC du Massif central. Encore aujourd'hui ces souches Inra sont commercialisées par le Laboratoire Interprofessionnel de Production de ferments créé dans cette optique en 1983. Les recherches de l'unité ont ensuite eu pour objectif d'aider les filières fromagères au lait cru à concilier réglementation européenne (directive CE 1992) relative aux critères microbiologiques pathogènes et qualités gustatives de leurs fromages.

Les recherches sur les bactéries pathogènes ont nécessité la construction d'un nouveau laboratoire et d'un hall technologique fromager, inaugurés en 2008. Plus de 300 espèces microbiennes ont été inventoriées dans le microbiote du lait dont certaines peuvent être issues de la peau des trayons des vaches laitières. Ces travaux ont notamment permis de montrer que i) durant l'affinage des fromages, la dynamique de biodiversité microbienne par la diversité de molécules aromatiques qu'elle produit, est un des garants de la diversité sensorielle des fromages, ii) le lait cru offre plus de possibilités que le lait pasteurisé pour diversifier les qualités gustatives en jouant sur le régime alimentaire des animaux, iii) les ressources microbiennes des laits et

fromages sont des atouts pour lutter contre le développement de bactéries pathogènes. Ainsi, plusieurs communautés microbiennes de lait, de fromage ou de cuve en bois, sont capables de faire barrière à *Listeria monocytogenes*. Ces travaux ont donc participé à objectiver les bénéfices des fromages au lait cru associés à leur microbiote. Plus concrètement, ils ont contribué à l'argumentaire du maintien de la gerle dans l'AOP Salers, à la demande de dérogation pour le critère *L. monocytogenes* <100 ufc/g pour les fromages de type cantal et offrent de nouveaux leviers d'action par ajout des souches bactériennes antagonistes pour assurer la qualité sanitaire des fromages au lait cru. Ces travaux ont été réalisés en collaboration étroite avec les professionnels des filières fromagères, notamment dans le cadre du Pôle Fromager AOC Massif central.

L'Unité de Recherches Fromagères est donc fière d'avoir fêté ses 40 ans. Elle s'engage actuellement dans de nouvelles études de l'écologie microbienne des laits et fromages au lait cru dans l'objectif d'en garantir la qualité sanitaire et de maintenir leurs qualités sensorielles, dans le cadre d'un partenariat nouveau avec l'IUT d'Aurillac et VetAgro Sup.

■ Partenaires économiques

CNIEL, Pôle fromager AOC, partenaires RMT fromages de terroir et flores bioprotectrices (Idele, Actalia...), Chambre d'agriculture 15. Partenaires académiques : UMRH Theix, IUT Génie biologique Aurillac, UGM-PA Grignon, URTAL Poligny, Micalis Jouy-en-Josas, VetAgro Sup, Université Caen Basse-Normandie.

■ Publication

Montel MC, Buchin S, Mallet A, Delbes-Paus C, Vuitton D, Desmasures N and Berthier F, 2014. Traditional cheeses: rich and diverse microbiota with associated benefits In: Int. J. Food Microbiol. 177, p. 136-154.

■ Contact

Marie-Christine Montel (UR Fromagères)
Marie-Christine.Montel@clermont.inra.fr

La Chine s'initie aux systèmes Inra d'alimentation des ruminants

L'Inra a de longue date une grande expertise en alimentation animale, en particulier des ruminants, avec le développement de systèmes basés sur les valeurs énergétiques, azotées et d'encombrement des aliments. En Chine, l'élevage des ruminants est en forte progression mais leur alimentation est souvent peu formalisée et les responsables de ce secteur sont à la recherche d'outils de maîtrise du rationnement.



Pendant près d'un an, des chercheurs de l'Unité Mixte de Recherche sur les Herbivores (Jacques Agabriel, Dominique Pomiès et Yayu Huang) ont travaillé à l'adaptation et à la traduction en chinois des «Tables Inra 2007» d'alimentation des ruminants. Cet ouvrage de référence sur les besoins des animaux et les valeurs nutritives des aliments, coédité par les Éditions Quae et China Agricultural University Press, a été présenté officiellement le 25 novembre 2013 à Pékin en présence de représentants du Ministère Chinois de l'Agriculture, de la Direction scientifique de

la China Agricultural University et de l'Ambassade de France. Cet événement a rassemblé plus d'une centaine de participants.

Dominique Pomiès et Yayu Huang ont ensuite présenté l'ouvrage et les systèmes Inra dans 3 autres universités et dispensé une formation de deux jours sur les systèmes Inra et le logiciel de rationnement INRation, pour permettre aux universitaires et professionnels chinois de prendre en main ces outils.

La parution de cet ouvrage est une première étape dans les collaborations entre l'Inra et les scientifiques et industriels chinois concernés par l'alimentation des ruminants. L'intérêt porté par l'ensemble des interlocuteurs rencontrés laisse augurer une large diffusion des savoir-faire et outils de l'Inra. De nouvelles interventions des chercheurs français sont prévues en 2014 à Shenyang, lors du congrès annuel de la China Feed Industry Association.

■ Publication

Agabriel J, (coord.). Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins. Besoins des Animaux - Valeurs des aliments. Tables Inra 2007. Mise à jour 2010. Traduction en chinois 2013. Quae Editions - China Agricultural University Press, Versailles-Pékin. 294 p.

■ Contact

Dominique Pomiès (UMR Herbivores)
Dominique.Pomies@clermont.inra.fr

ouvrage de référence sur les besoins des animaux et les valeurs nutritives des aliments, coédité par les Éditions Quae et China Agricultural University Press, a été présenté officiellement le 25 novembre 2013 à Pékin en présence de représentants du Ministère Chinois de l'Agriculture, de la Direction scientifique de

WHEALBI et MODEXTREME, deux projets européens stratégiques pour le Centre

Lors du dernier appel à proposition du 7^e Programme Cadre de Recherche et Développement sur la bio-économie basée sur la connaissance, deux projets européens coordonnés par le Centre ont été sélectionnés en 2013 et lancés officiellement en fin 2013-début 2014. Avec des approches différentes, ces deux projets convergent autour de l'amélioration de la sécurité alimentaire, une question sociétale d'actualité car le risque alimentaire demeure élevé voir même extrême pour de vastes régions du monde.



Le projet **MODEXTREME** (MODEling vegetation response to EXTREME Events, <http://modextreme.org>), fédérant 18 organisations de 14 pays - dont 15 académiques, une organisation internationale (FAO) et deux PME - vise à mieux représenter l'impact des événements climatiques extrêmes sur les rendements des cultures et des prairies. Parmi les causes de l'insécurité alimentaire, la composante climatique joue un rôle important.

Les événements climatiques de grand impact, les extrêmes, intervenant de manière aléatoire à l'issue de modifications très complexes de la circulation atmosphérique et océanique, peuvent entraîner toute une cascade d'impacts sur les systèmes agricoles. Pour relever ce défi, MODEXTREME mobilise des experts de plusieurs disciplines (telles que la physiologie végétale, l'agronomie, la climatologie et l'informatique) afin de mieux comprendre et formaliser les impacts des extrêmes thermiques (hautes et basses températures) et pluviométriques (déficit et excès en eau) sur les grandes cultures et les prairies. La modélisation à la fois statistique et biophysique aura une place essentielle dans MODEXTREME afin d'améliorer les outils d'aide aux décideurs en rapport à la sécurité alimentaire.

Pour les céréales, le projet **WHEALBI** (WHEAt and barley Legacy for Breeding Improvement - <http://www.clermont.inra.fr/Toutes-les-actualites/Whealbi>) vise à développer une approche intégrée de la génomique aux systèmes de



cultures pour améliorer la production de blé tendre et d'orge en Europe, en particulier en adaptant les variétés au contexte des changements climatiques, incluant les situations extrêmes de stress. Ce projet associe 18 partenaires (10 académiques et 8 industries ou PME) dans 8 pays européens. Il permettra de caractériser un nombre

important de ressources génétiques (500 blés et 500 orges), à la fois par le séquençage du génome exprimé et par l'évaluation de caractères d'adaptation dans différents milieux suivant un gradient allant de l'Ecosse à Israël. Les données de séquençage permettront l'analyse des signatures de sélection, c'est-à-dire l'identification des zones du génome impliquées dans l'adaptation aux conditions de culture présentes et futures. Des outils statistiques seront développés pour faciliter et accélérer le transfert des gènes d'intérêt dans des programmes de sélection. La modélisation sera utilisée pour rechercher les meilleures combinaisons de gènes ou de traits (idéotypes) à construire en utilisant les connaissances et les outils développés. Ces idéotypes seront évalués dans des systèmes agricoles innovants, incluant des systèmes sans labour ou l'agriculture biologique.

Ces deux projets contribueront à renforcer la lisibilité des recherches du Centre dans le domaine des relations entre systèmes agricoles et changements climatiques. En particulier, les actions menées sur les cultures céréalières et les prairies permettront aux unités concernées de jouer un rôle central pour le progrès des connaissances dans ces mêmes domaines.

■ Contact

Gianni Bellocchi (UR Ecosystème prairial)
Gianni.Bellocchi@clermont.inra.fr
Gilles Charmet (UMR Génétique, diversité et écophysiologie des céréales)
Gilles.Charmet@clermont.inra.fr

Le Centre renforce son partenariat avec l'enseignement supérieur

L'année 2013 aura vu la signature de 4 conventions cadre de coopération scientifique entre l'Inra et les universités d'Auvergne et Blaise Pascal (31 janvier), l'université de Limoges (10 juillet) et VetAgro Sup (31 janvier).

Ces conventions concrétisent les collaborations existantes de longue date entre ces organismes et le Centre Inra dans le domaine de la nutrition humaine et de la microbiologie intestinale et alimentaire (avec l'Université d'Auvergne), de la génétique des céréales et de la physiologie des arbres (Université Blaise Pascal), de la génétique bovine (Université de Limoges) et sur les systèmes d'élevage herbagers et leurs produits, l'écologie prairiale et l'épidémiologie animale (Vet-Agro Sup).



Partenariat Inra - Université d'Auvergne - Université Blaise Pascal - VetAgro Sup

Elles facilitent la mise en œuvre des travaux communs, notamment dans le cadre d'Unité Mixte de Recherche (UMR) ou d'Unité Sous Contrat (USC), affichent la volonté commune des signataires de renforcer l'adossement de la

formation à la recherche et ouvrent des perspectives en matière de nouveaux partenariats (participation de l'Inra à la chaire d'excellence « ressources forestières et usages du bois » de l'Université de Limoges ; projet de plate-forme analytique sur l'imagerie *in vivo* associant notamment l'Université d'Auvergne et l'Inra ; projet d'UMR sur Aurillac entre l'unité de Recherches fromagères et l'IUT...). En Auvergne, elles ont contribué à la mise en œuvre de la politique de site en matière de recherche publique, finalisée au printemps 2013.



Partenariat Inra - Université de Limoges

L'ensemble de ces partenariats ont vocation à se développer dans les années à venir.

■ Contact

Jean-Baptiste Coulon (Président de Centre)
Jean-Baptiste.Coulon@clermont.inra.fr



Centre de Clermont-Theix-Lyon
63122 Saint-Genès Champanelle
France

Tél. : + 33 0(4) 73 62 40 00
Fax : + 33 0(4) 73 62 44 51
www.clermont.inra.fr



ALIMENTATION AGRICULTURE ENVIRONNEMENT

