



ATELIER PROSPECTIF **Recherches** **SUR LES LEGUMINEUSES**

Un panorama des dynamiques actuelles
Une discussion des sujets futurs
Conçu par l'Académie d'Agriculture de France

Judi 10 novembre
2016
AgroParisTech
16 rue Claude Bernard
75006 Paris



Préface : Pourquoi un Atelier Prospective ? Michel Candau	3
Introduction : Pourquoi un regain d'intérêt sur les légumineuses ? André Gallais, Christian Huyghe, Marie-Hélène Jeuffroy, Bernard Bourget	4
Partie 1 : Processus symbiotiques ou comment héberger de grandes populations bactériennes fixatrices d'azote dans les nodosités ?	6
Défis et perspectives pour l'utilisation de la fixation biologique de l'azote en agriculture, Peter Mergaert	6
Vers une meilleure compréhension de la mise en place de l'organe symbiotique, Sovanna Tan.....	7
BclA : transporteur ou récepteur de peptides antimicrobiens contrôlant la différenciation bactérienne ?, Quentin Barrière	7
Caractérisation de la voie de signalisation des gibberelines dans l'infestation rhizobienne, Camille Fonouni-Fabre.....	7
Partie 2 Associations d'espèces à base de légumineuse : problématiques et impacts à différentes échelles	9
Associations d'espèces à base de légumineuse : problématiques et impacts à différentes échelles, Guénaëlle Hellou	9
Associer une céréale au lupin : interactions, productivité et contrôle des adventices, Nicolas Carton.....	10
Services écosystémiques rendus par des plantes de services dans une association colza-légumineuses, Mathieu Lorin	10
Les associations de culture pour lever les principaux verrous agronomiques de la lentille en agriculture biologique, Loïc Viguié.....	10
Partie 3 : Matériel génétique : adaptation aux objectifs agronomiques et environnementaux	11
Légumineuses : Adaptation du matériel génétique aux objectifs agronomiques et environnementaux, Christian Huyghe	11
Diversité et combinaison des effets et des modes d'action des QTL de résistance à <i>Aphanomyces euteiches</i> chez le pois, Clément Lavaud	12
Biodiversité et résistances quantitatives aux maladies, Mélanie Mazurier	12
Effet de la diversité intraspécifique des couverts prairiaux sur la fonction de production, Julien Meilhac	12
Partie 4 : Systèmes de culture : trajectoires économiques et techniques	14
Freins et leviers à l'insertion des légumineuses dans les systèmes de culture, Marie-Hélène Jeuffroy	14
Les contrats de production dans les filières légumineuses à graines: un moyen d'encourager l'acquisition et le transfert de connaissances techniques? Célia Cholez	14
Quantification des flux d'azote induits par les cultures de légumineuses et étude des traits explicatifs, Maé Guinet	14
Partie 5 : Utilisation en alimentation animale : de multiples intérêts	16
Panorama des usages en alimentation animale et des enjeux de recherche, Jean-Louis Peyraud	16
Diversité et usages multiples des légumineuses tropicales, Steve Cériac	16
Des légumineuses bioactives pour améliorer la qualité du fourrage et réduire les émissions polluantes des ruminants, Vincent Niderkorn (thèse réalisée par G. Copani)	17
Partie 6 : Alimentation humaine : conception d'aliments à base ou enrichis en légumineuses	18
Pourquoi et comment produire des aliments à base de légumineuse à destination de l'alimentation humaine ?, Valérie Micard.....	18
Formulation raisonnée de cakes aux légumineuses pour contribuer à la durabilité des filières, Anne-Flore Monnet.....	18
Fermenter et structurer des protéines de pois pour améliorer leurs propriétés sensorielles, Salma Ben Harb..	19
Spécialités pastières aux légumineuses : structure multi-échelle et propriétés nutritionnelles, Karima Laleg .	19

Préface : Pourquoi un Atelier Prospective ? Michel Candau

Académie d'Agriculture de France

2016 a été déclarée année internationale des légumineuses par la 68ème session de l'assemblée générale des Nations Unies. C'est le moment de rassembler les acteurs-clés pour mettre en lumière les valeurs santé et la contribution des légumineuses à la durabilité.

La mise en valeur des légumineuses par l'Académie d'Agriculture de France s'est traduite par conception d'un événement d'un nouveau genre : un atelier prospectif.

Qu'est-ce qu'un atelier prospectif ? C'est un programme conçu par des académiciens de toutes les sections à partir des thèses en cours. Le champ des disciplines considérées est le plus large possible. Nous aborderons successivement 6 thématiques, allant de la compréhension de la fonction de symbiose, qui contribue de manière si particulière aux qualités agronomiques des légumineuses, à la multiplicité de leurs mérites pour l'alimentation humaine.

A qui est-il destiné ? A un large public, académiques, industriels, membres d'associations, étudiants, professeurs, chercheurs, de consommateurs.... chacun est invité à prendre connaissance et à discuter.

Qu'y fait-on ? Pour chacun des 6 thèmes :

- un panorama des enjeux et de l'état de l'art par un conférencier
- des résultats marquants par des doctorants
- du temps d'échange avec les participants
- une synthèse

Pour quels bénéfices ?

Au-delà d'un tour de piste étendu, l'intention est que chaque participant puisse identifier les verrous restant à lever et de préciser le panorama des recherches à venir.

Introduction : Pourquoi un regain d'intérêt sur les légumineuses ? André Gallais, Christian Huyghe, Marie-Hélène Jeuffroy, Bernard Bourget

Académie d'Agriculture de France

Il y a d'abord un regain d'intérêt pour la culture des légumineuses pour des raisons agronomiques et environnementales. Dans les zones de grande culture, il y a eu simplification des systèmes de culture, voire développement de la monoculture, et les légumineuses ont disparu (moins de 2 % des surfaces consacrées aux grandes cultures aujourd'hui). Du point de vue écologique, ces systèmes de culture sont coûteux en énergie, dépendent de quantités élevées de fertilisants azotés de synthèse, qui contribuent à l'émission de GES, en particulier le protoxyde d'azote, l'un des plus nocifs, avec les conséquences connues sur le changement climatique (notamment augmentation de la température). De plus, ces systèmes, dont l'objectif est avant tout de maximiser la production, peuvent poser à terme des problèmes de fertilité des sols. La ré-introduction des légumineuses dans l'assolement permet d'abord de maintenir une bonne fertilité des sols. Elle permet aussi de diminuer les apports de fertilisants azotés, grâce à leur capacité de fixation symbiotique de l'azote de l'air, et la fourniture d'azote à la culture suivante, ce qui permet de fabriquer des protéines sans apport de nitrates. Il en résulte alors une diminution de l'énergie consommée et de l'émission de GES. La culture de légumineuses réintroduit aussi une certaine biodiversité dans les agro-systèmes et rompt le cycle de certains pathogènes, permettant ainsi de réduire l'utilisation de pesticides, tout en augmentant le rendement des cultures suivantes. Elle est en fait un levier efficace pour une agriculture durable.

Le regain d'intérêt pour les légumineuses s'explique aussi par une augmentation des besoins en protéines pour l'alimentation animale et humaine, au niveau européen et surtout mondial (en particulier par la Chine). Pour l'alimentation animale, cette augmentation est due en partie à l'augmentation de la population au niveau mondial, et au développement d'une alimentation humaine carnée dans certains pays. De plus, la France est très dépendante de l'importation de tourteaux de soja pour la complémentation des rations alimentaires animales. Pour l'alimentation humaine, au niveau européen, une transition alimentaire est en cours vers une augmentation de la proportion de protéines végétales dans l'alimentation humaine soutenue par le Plan National Nutrition Santé. Cette proportion était devenue de l'ordre de 5 fois plus faible qu'il y a 60 ans. Or, les légumineuses à graines contribuent à une alimentation variée et équilibrée. La consommation de légumineuses a de nombreuses conséquences positives sur la santé : réduction de cancers, des risques de maladies cardiovasculaires, de diabète de type II. De plus, la production de protéines végétales a un coût environnemental plus faible que la production de protéines animales. Au niveau mondial, le développement des cultures de légumineuses devrait permettre de satisfaire les demandes de l'alimentation humaine et animale.

Face à la diversité des situations agricoles au niveau mondial, les légumineuses offrent une grande diversité d'espèces et de modes de culture. Les légumineuses fourragères et à graines peuvent être introduites dans l'assolement de différentes façons. Elles peuvent l'être d'abord en tant que culture pure, avec un large choix d'espèces. La luzerne peut sans doute être réintroduite dans les régions céréalières, mais, en l'absence d'élevage à proximité, sa valorisation doit être repensée. De ce point de vue, le pois protéagineux est sans doute plus facile à introduire. Cependant, la baisse drastique des surfaces cultivées depuis 1992 (on est passé de plus de 700 000 ha à environ 100 000 ha) est liée à une grande sensibilité de cette espèce aux facteurs limitants climatiques (fortes températures, stress hydrique) plus fréquents dans les 15 dernières années, et au développement important d'une maladie racinaire, *Aphanomyces*, qui empêche toute culture de pois pendant plus de 10 ans pour les parcelles très infestées. Le développement récent de variétés d'hiver très résistantes au gel permet d'éviter les stress climatiques de fin de cycle, fréquents chez les variétés de printemps. La féverole et le lupin d'hiver sont aussi deux légumineuses annuelles dont la culture peut être développée. La culture du soja a commencé à se développer, grâce à de nouveaux marchés visant des produits non OGM, et les

surfaces devraient rapidement croître dans des zones plus au nord que les zones actuelles, en lien avec le réchauffement climatique ; elle permettrait de développer des produits alimentaires à base de protéines végétales pour la nutrition humaine. Les légumineuses à graines peuvent aussi être introduites par la culture d'associations, par exemple l'association des protéagineux avec différentes céréales à paille (blé, orge, avoine). Ce mode de culture améliore la teneur en protéines des céréales et, notamment en agriculture biologique, il permet de faire face à différents facteurs limitants (verse, mauvaises herbes), et de produire davantage qu'en culture pure. Enfin des légumineuses, essentiellement fourragères et annuelles, peuvent être cultivées en plantes de service (sous couvert et en interculture), pour couvrir le sol, fixer de l'azote, réduire la pression des pathogènes ou alimenter les pollinisateurs.

Un effort important de recherche en amélioration des plantes doit être réalisé pour créer des variétés de différentes espèces de légumineuses adaptées à ces différents usages. Pour le pois protéagineux, espèce la plus travaillée aujourd'hui en sélection, les travaux actuels portent en particulier sur la résistance à l'ascochytose (une maladie aérienne) et à *Aphanomyces*. D'autres légumineuses annuelles sont également améliorées (par exemple, le soja, la féverole, le lupin...). En revanche, les légumes secs (haricot, pois chiche, lentille) ou les légumineuses pour plantes de service, sont très peu sélectionnés et mériteraient un investissement beaucoup plus fort afin de ne pas risquer de satisfaire les besoins pour l'alimentation humaine par de plus importantes importations. La stabilité interannuelle des rendements de toutes ces espèces doit également être améliorée. Il est aussi nécessaire de développer des recherches sur les associations, afin d'en améliorer la conduite (variétés adaptées à la culture associée, densité et date de semis, fertilisation azotée), de manière à maîtriser un peu plus qu'aujourd'hui la proportion des espèces dans la récolte. Les associations graminées-légumineuses fourragères sont aussi à développer en zone d'élevage. Pour les légumineuses destinées à l'alimentation humaine, il s'agit de rendre les protéines végétales plus attractives *via* des processus de transformation revisités.

Mais le développement de la culture des légumineuses pour l'alimentation animale pose aussi un problème d'aménagement du territoire, puisque les zones d'élevage sont devenues éloignées des zones céréalières. Afin de contribuer à la diminution de l'énergie consommée par le transport des régions de grande culture vers les zones d'élevage, il faut chercher à rapprocher l'élevage de la culture des légumineuses à graines. Deux solutions, sans doute complémentaires, existent : redévelopper les exploitations polyculture - élevage, ou avoir dans les zones céréalières des unités d'élevage au milieu des exploitations cultivant céréales et légumineuses (graines ou fourrage) et approvisionnant les unités d'élevage. Le développement de la culture des légumineuses et le réaménagement du territoire ne pourront se faire sans une politique incitative. A cet égard, le développement des CEPP ou le verdissement de la PAC offrent des perspectives intéressantes en permettant d'inclure les plantes fixatrices d'azote dans les surfaces d'intérêt écologique et dans la diversité des assolements. Le plan français en faveur des protéines végétales pour la période 2014-2020 devrait aussi contribuer à relancer les cultures de légumineuses dans notre pays, s'il est accompagné de mesures significatives.

En conclusion, la production de protéines végétales, tant pour l'alimentation des animaux que pour l'alimentation de l'homme, devient stratégique. Elle peut être assurée par la culture de légumineuses qui permet en même temps de résoudre des problèmes agronomiques et environnementaux.

Partie 1 : Processus symbiotiques ou comment héberger de grandes populations bactériennes fixatrices d'azote dans les nodosités ?

Défis et perspectives pour l'utilisation de la fixation biologique de l'azote en agriculture, Peter Mergaert

Institut de Biologie Intégrative de la Cellule, CNRS, CEA, Université Paris-Sud

La fixation biologique de l'azote est le processus de réduction d'azote gazeux (N_2) en ammoniac. Les plantes comme les animaux n'ont jamais acquis cette capacité. Toutefois, certaines bactéries et archées ont développé au cours de l'évolution un complexe enzymatique, appelé nitrogénase, qui en est capable. Certaines plantes ont tiré bénéfice de la fixation biologique de l'azote bactérienne en mettant en place des interactions symbiotiques avec ces bactéries. Les familles de plantes concernées sont relativement rares et comprennent en particulier la majorité des plantes appartenant à la famille des Légumineuses, qui forment une symbiose avec un groupe de bactéries diazotrophes du sol, appartenant aux α - et β -protéobactéries, collectivement appelées rhizobia. L'interaction entre les partenaires végétaux et bactériens mène à la formation d'un nouvel organe végétal : la nodosité. Cet organe héberge des millions de rhizobia, qui vont y fixer l'azote atmosphérique et transférer l'ammonium à la plante qui l'utilisera pour sa croissance. L'azote fourni par les rhizobia au sein des nodosités satisfait totalement les besoins en azote de la plante grâce au très grand nombre de bactéries hébergées au sein de nombreuses nodosités où s'établit un contact intime entre les cellules hôtes et les bactéries fixatrices d'azote. Les recherches qui visent la compréhension de ce processus symbiotique ont un intérêt agronomique dans la perspective d'améliorer l'efficacité de la symbiose chez les légumineuses, et à plus long terme, de transférer la capacité à fixer l'azote à des plantes cultivées non-Légumineuses. Cet objectif ambitieux permettrait d'entrevoir une agriculture réellement durable d'un point de vue environnemental par l'élimination du besoin d'engrais azotés. Effectivement, l'utilisation massive des engrais azotés par l'agriculture a actuellement des conséquences dramatiques pour l'environnement.

La formation des nodosités chez les Légumineuses est initiée par un dialogue moléculaire complexe au sein duquel les signaux moléculaires appelés facteurs Nod (NF), produits par les rhizobia, jouent un rôle clé. Ce signal NF permet la détection de l'endosymbionte et la voie de signalisation NF chez la plante hôte déclenche les processus d'organogenèse et d'infection. Les composants de cette voie de signalisation comprennent un complexe de récepteurs des NF, une signalisation intracellulaire reposant sur l'activation d'oscillations calciques nucléaires, qui à leur tour activent une cascade de facteurs de transcription spécifiques ainsi qu'une signalisation reposant sur les phytohormones et notamment les cytokinines.

Au-delà des événements de signalisation précoce permettant la reconnaissance des partenaires, l'initiation de l'infection et l'organogenèse nodulaire, l'établissement d'une nodosité fonctionnelle requiert également l'accommodation intracellulaire des bactéries sous la forme d'organites temporaires appelés symbiosomes et l'intégration métabolique de l'endosymbionte au sein de l'hôte. Suite à leur relargage au sein des symbiosomes, les bactéries vont subir une différenciation cellulaire. Ainsi, chez *Medicago*, les rhizobia vont s'allonger pour atteindre jusqu'à 10 fois leur taille initiale. En parallèle, leur génome va s'endorépliquer. Cette différenciation cellulaire irréversible ou terminale se met en place sous l'effet d'une famille de peptides antimicrobiens appelés NCR (pour *Nodule-specific Cysteine-Rich*). Ces peptides sont adressés aux bactéroïdes et sont des acteurs majeurs de la différenciation terminale des bactéroïdes. Toutefois, la différenciation terminale des bactéroïdes n'est pas la règle générale. On trouve de nombreuses Légumineuses chez lesquelles ce processus n'est pas mis en place car elles ne possèdent pas les gènes codant les NCR. Néanmoins, plusieurs expériences indépendantes suggèrent que la différenciation terminale induit un gain d'efficacité symbiotique.

Vers une meilleure compréhension de la mise en place de l'organe symbiotique, Sovanna Tan

Institut of Plant Science Paris Saclay (IPS2),

Chez les Légumineuses, la formation des nodosités fixatrices d'azote requiert l'infection des racines par des Rhizobia et l'initiation de divisions cellulaires du cortex en regard du site d'infection. Les cytokinines - hormones végétales - jouent un rôle majeur dans la mise en place des nodosités puisqu'elles sont nécessaires non seulement pour leur initiation de l'organogenèse mais aussi la différenciation des tissus qui les composent. Elles pourraient également participer au contrôle de l'infection des racines par les Rhizobia. La signalisation des cytokinines conduit à l'activation des Régulateurs de Réponses de type B (RRBs) qui sont des facteurs de transcription (FTs) contrôlant l'expression des gènes de réponse aux cytokinines. Le but de ma thèse est de comprendre par quels mécanismes les cytokinines via les RRBs régulent ces trois processus. L'expression des gènes *NSP2* (*Nodulation Signaling Pathway 2*) et *CCS52A* nécessaires à l'organogenèse des nodosités est contrôlée par les cytokinines et sont donc des cibles privilégiées de ces RRBs.

BclA : transporteur ou récepteur de peptides antimicrobiens contrôlant la différenciation bactérienne ?, Quentin Barrière

Co-auteurs : Quentin Barrière, Ibtissem Guefrachi, Benoît Alunni, Eric Giraud, Peter Mergaert, Tatiana Timchenko, Institut de Biologie Intégrative de la Cellule (I2BC), CEA/CNRS/Université Paris Sud

Au cours de la symbiose Rhizobium-Légumineuse, les bactéries peuvent subir de profondes modifications morphologiques et physiologiques (fort allongement cellulaire et polyploïdisation) imposées par leur hôte végétal. Ainsi, les plantes peuvent produire des peptides antimicrobiens appelés NCR (pour *Nodule-specific Cysteine Rich*) qui vont induire une différenciation cellulaire terminale chez le microsymbionte. Pour résister à ce stress intense, les bactéries utilisent un transporteur ABC (BclA) qui importent les peptides et ainsi diminuent leur effet perméabilisant sur les membranes. Mon projet de thèse vise à étudier le transporteur BclA, notamment via une analyse structure-fonction, afin de déterminer les résidus importants pour la fonctionnalité et la sélectivité du transporteur. Les premiers résultats semblent montrer que l'import de ces peptides n'est peut-être pas sa seule fonction de BclA.

Caractérisation de la voie de signalisation des gibberelines dans l'infestation rhizobienne, Camille Fonouni-Fabre

Université Paris Sud

L'architecture du système racinaire des légumineuses est déterminée par la croissance des racines et leur capacité à former des racines latérales et des nodosités symbiotiques fixatrices d'azote en fonction des conditions environnementales. Chez la légumineuse modèle *Medicago truncatula*, nous avons montré que les phytohormones gibbérellines (GAs) et leur voie de signalisation médiée par trois protéines MtDELLAs, jouent un rôle clé dans la régulation du développement racinaire. En conditions symbiotiques, les protéines MtDELLAs régulent positivement l'infection par les bactéries symbiotiques Rhizobia en interagissant de façon directe avec la voie de signalisation des facteurs Nod bactériens. Les phytohormones cytokinines (CKs) et leur récepteur MtCRE1 étant essentiels pour initier la nodulation, l'interaction entre les voies de signalisation GA et CK a été analysée en parallèle. Les CKs régulent le niveau de GAs bioactives en modulant l'expression des gènes de leur métabolisme de manière dépendante du récepteur aux CKs MtCRE1 et une forme activée de MtDELLA complémente partiellement le phénotype de nodulation du mutant *cre1*, indiquant que les

voies de signalisation GA et CK régulent la nodulation en étroite association.

Partie 2 Associations d'espèces à base de légumineuse : problématiques et impacts à différentes échelles

Associations d'espèces à base de légumineuse : problématiques et impacts à différentes échelles, Guénaëlle Hellou

Ecole Supérieure d'Agriculture d'Angers

La diversification des systèmes de culture en Europe via l'introduction de légumineuses annuelles se fait surtout dans le temps dans la succession culturale. La diversification spatiale via l'introduction de légumineuse en association avec une autre espèce sur la même parcelle est plus rare mais connaît aujourd'hui un fort regain d'intérêt dans le cadre de la recherche de systèmes de culture plus durables moins dépendant de l'usage d'intrants (fertilisation azotée, herbicides, fongicides) Les associations d'espèces annuelles sont définies comme la culture simultanée d'au moins deux espèces sur la même parcelle. Elles ne sont pas forcément semées et récoltées en même temps mais doivent être présentes sur la même parcelle pendant une période significative de leur croissance. Les combinaisons d'espèces sont nombreuses. On distingue les associations où les deux espèces sont récoltées et des associations où une espèce est considérée principale et la deuxième n'est pas récoltée mais dite plante de services ou plante compagne.

Plusieurs travaux dans les quinze dernières années ont montré les multiples bénéfices d'associations céréale-protéagineux (orge-pois, blé-pois, blé-féverole, triticale-lupin, lentille-blé) : des gains de production comparativement à la culture séparée des deux espèces, amélioration de la teneur en protéines de la céréale par rapport à une céréale pure, meilleur contrôle des adventices par rapport à une légumineuse seule, suppression de la verse du protéagineux grâce au rôle tuteur de la céréale, meilleur contrôle de certaines maladies et certains ravageurs comparativement aux cultures pures, économie d'N et impacts environnementaux associés. Les travaux de recherche ont cherché aussi à mieux comprendre le fonctionnement de ces associations et les interactions en jeu (partage des ressources N, de la lumière, transfert d'N, facilitation pour le P) permettant de mieux appréhender les bénéfices que l'on peut attendre et d'identifier des leviers (fertilisation, choix variétal, densité, arrangement spatial) pour atteindre différents objectifs que se fixent les agriculteurs (rendement et sa stabilité, proportion de chaque espèce dans le mélange). Une diversité de combinaisons d'espèces est aujourd'hui travaillée en lien avec différents acteurs y compris des coopératives pour la question du tri des espèces à la récolte. Plusieurs expériences à grande échelle existent et sont des cas concrets de réussite de la diversification en faisant converger les objectifs des acteurs à différentes échelles et en mettant en place des combinaisons d'innovations au niveau du système de culture et de la filière.

Les travaux se développent aussi sur l'utilisation d'association avec une plante de service et une culture principale. Différentes formes d'association sont étudiées : implantation d'une culture principale dans une légumineuse déjà implantée (ex : blé dans un trèfle), implantation d'une culture principale et d'une légumineuse en même temps et destruction de la légumineuse en cours de cycle (ex : colza-légumineuse gélive), ou implantation de la légumineuse en même temps que la culture principale et services attendus de la légumineuse après la récolte de la culture principale (ex : trèfle dans un blé). Les services attendus sont principalement la gestion des adventices et la fourniture d'azote. L'étude des interactions entre espèces dans ces associations en lien avec les traits des espèces vise à trouver des leviers permettant d'optimiser les services ou trouver des compromis entre services et sans pénaliser le rendement de la culture principale.

Les associations d'espèces ont des bénéfices majeurs à l'échelle annuelle ; des travaux commencent à aborder aussi la question de l'insertion des associations d'espèce dans les rotations et les effets combinés de la diversification temporelle et spatiale.

Une diversité de disciplines s'intéresse aujourd'hui à cet objet d'étude : agronomie, génétique (critères variétaux pour l'association), pathologie végétale, écologie (impact sur la biodiversité aérienne et souterraine), économie (impact dans les filières) et travaillant de plus en plus ensemble dans des projets collaboratifs.

Associer une céréale au lupin : interactions, productivité et contrôle des adventices, Nicolas Carton

Co-auteurs : Nicolas Carton, Guillaume Piva, Christophe Naudin, Guénaëlle Hellou, Unité de Recherche LEVA, Ecole Supérieure d'Agriculture d'Angers

La culture associée du lupin avec une céréale est une voie considérée prometteuse par les acteurs de l'Ouest de la France (agriculteurs, coopératives...) pour inciter à la production de lupin en stabilisant la productivité et en améliorant le contrôle des adventices tout en réduisant l'utilisation d'herbicides. L'étude d'un réseau de parcelles démontre qu'à conduite équivalente (bas intrants), l'association présente, comparée au lupin pur, une meilleure compétitivité sur les adventices. Cette performance est liée aux gains de biomasse et de prélèvement d'azote permis par la céréale ; de plus la production globale (lupin + céréale) est supérieure et plus stable. Nos travaux mettent en évidence la complémentarité des deux espèces pour l'utilisation des ressources (N, lumière) dès les stades précoces. De plus, le choix d'espèces (entre les céréales candidates) et variétés (au sein du lupin blanc) aux traits contrastés permet d'orienter les interactions entre lupin, céréale et adventices, ce qui ouvre des perspectives pour l'optimisation des performances.

Services écosystémiques rendus par des plantes de services dans une association colza-légumineuses, Mathieu Lorin

Co-auteurs : Mathieu Lorin, Marie-Hélène Jeuffroy, Muriel Valantin-Morison, Unité mixte de recherche Agronomie INRA-AgroParisTech-Université Paris-Saclay

L'introduction de légumineuses gélives en tant que plantes de service pourrait constituer une voie d'amélioration possible des performances du colza d'hiver via la fourniture de deux services écosystémiques : la régulation des adventices et la fourniture d'azote. En se basant sur une évaluation expérimentale, nos résultats montrent que l'introduction de légumineuses conduit à une réduction de la quantité d'adventices en automne pouvant atteindre 75% par rapport à un témoin colza seul non dés herbé. Au cours du printemps suivant, les colzas associés ont absorbé en moyenne plus d'azote qu'en culture pure du fait de la minéralisation des résidus de légumineuses mais également d'autres mécanismes de facilitation. L'identification de traits fonctionnels traduisant la compétitivité des légumineuses vis-à-vis de l'interception du rayonnement lumineux ainsi que les propriétés physico-chimiques du mulch une fois ces légumineuses détruites a permis de comprendre les performances obtenues ainsi que certains mécanismes de compétition/facilitation mis en jeu.

Les associations de culture pour lever les principaux verrous agronomiques de la lentille en agriculture biologique, Loïc Viguié

Unité mixte de recherches INRA AGIR

La lentille est le légume sec le plus consommé en France. Grâce à sa capacité à fixer le N_2 de l'air et à sa forte valeur ajoutée, elle est particulièrement intéressante dans les systèmes biologiques (AB). Néanmoins, sa production est fortement limitée par les adventices, la bruche et la verse. Notre objectif est d'étudier le fonctionnement de l'association (IC) lentille-blé pour permettre de lever ces verrous et d'augmenter la production de lentille en AB. Deux essais ont été conduits en 2015 et 2016 à l'INRA-Toulouse en micro-parcelles avec 4 variétés de lentille et 2 de blés semées en culture pure (SC) et en association (32 traitements : 4 lentilles x 2 blés x 4 densités). Les résultats montrent : 1) un meilleur rendement des IC par rapport aux lentilles SC, 2) une moindre production de lentille en IC par rapport à la SC et 3) une réduction de la verse et de l'enherbement en IC par rapport à la lentille SC même avec une faible densité de blé. Ces résultats doivent être confirmés en grande parcelle

Partie 3 : Matériel génétique : adaptation aux objectifs agronomiques et environnementaux

Légumineuses : Adaptation du matériel génétique aux objectifs agronomiques et environnementaux, Christian Huyghe

Directeur Scientifique Agriculture - INRA

Les légumineuses constituent une des familles botaniques les plus diverses. Elles sont présentes sous toutes les latitudes, et la totalité des conditions édaphiques. En France, elles ont été utilisées au cours des dernières décennies pour trois usages principaux, à savoir la production fourragère avec des espèces pérennes (luzerne, trèfles, sainfoin), la production de graines destinées à l'alimentation animale (pois, féverole, lupin, soja), la production de légumes verts (pois, haricots). Leur présence dans ces systèmes de production contribue à assurer la performance agronomique, économique et environnementale. L'amélioration génétique a suivi ses usages, en se concentrant sur l'amélioration de la production de biomasse de fourrages, de graines, de gousses vertes respectivement, sur l'amélioration de la qualité de cette biomasse (teneur en protéines et digestibilité du fourrage, teneur en protéines des graines, tendreté des graines de pois de conserverie, rectitude et absence de fil chez le haricot vert), sur la résistance aux maladies.

Pour atteindre ces objectifs, et quand ceci était possible avec le positionnement de la culture dans la rotation, un travail a été fait pour modifier le cycle de culture, avec recherche de type hiver chez pois, féverole et lupin, et modification de l'architecture de la plante (résistance à la verse, structure des tiges, croissance plus ou moins déterminée).

Le travail sur toutes ces espèces a partagé la collecte, la caractérisation et l'exploitation de la diversité génétique disponible dans les populations sauvages, et plus encore dans les populations traditionnellement cultivées, toutes ces espèces étant en effet caractérisées par une longue histoire anthropique. Elles sont par contre très contrastées en ce qui concerne leur mode de reproduction, depuis l'allogamie stricte jusqu'à la cléistogamie, leur niveau de ploïdie (diploïde ou autotétraploïde), et leur nombre de chromosomes (de $x=7$ à $x=25$).

L'amélioration génétique des légumineuses a pu profiter des travaux sur différentes espèces modèles en génétique et génomique, à savoir i) *Medicago truncatula*, espèce modèle en génétique, ayant un petit génome, une reproduction autogame et un cycle court, proche des pois, féverole et luzerne, ii) *Lotus japonicus*, et iii) le soja (*Glycine max*), dont l'importance économique a engendré des investissements importants en génomique. Ces travaux sont aujourd'hui poursuivis au travers du projet Peamust soutenu dans le cadre du PIA (Programme Investissement d'Avenir).

L'amélioration génétique des légumineuses se trouve aujourd'hui confrontée à la demande de matériels génétiques améliorés pour de nouveaux usages, conduisant à prendre en compte de nouveaux critères de sélection et/ou de nouvelles espèces. Trois points doivent être ici considérés :

- i) une utilisation croissante des espèces dans le cadre d'associations plurispécifiques, avec des céréales pour les espèces à graines ou avec des graminées fourragères pour la production de fourrages. Dans ce cas, le défi est de préciser dans quelle mesure les meilleurs génotypes en culture pure le sont aussi en association et si le poids donné aux différents critères doit rester le même, et en particulier la résistance aux maladies ;
- ii) une demande forte pour la production de légumes secs destinés à l'alimentation humaine, avec différentes intensités de transformation par les industries agro-alimentaires. Ceci conduit notamment à introduire en sélection de nouvelles espèces, comme le pois chiche ou la lentille, pour lesquelles on dispose de nombreuses populations traditionnelles issues de l'ensemble du pourtour méditerranéen ;
- iii) un développement des cultures intermédiaires et plantes de service, cultivées en compagnes de culture de rente ou entre deux cultures de rente. Il s'agit alors d'introduire de nouvelles espèces, souvent des espèces fourragères annuelles, comme la séradelle (*Ornithopus sativus*) ou le funegrec (*Trigonelle foenum-graecum*), pour lesquelles on dispose de très

peu de matériels génétiques en collection et où les objectifs d'amélioration sont d'abord une grande vitesse d'implantation, dans des conditions souvent difficiles.

Cette diversité d'usage et d'espèces doit être considérée comme un atout pour les agricultures de demain à hautes performances économiques, sociales et environnementales, et une source de résilience.

Toutefois, si on excepte le soja, le défi posé à l'amélioration génétique des légumineuses est celui de devoir répondre à une très grande diversité d'objectifs de valeur agronomique, technologique et environnementale (VATE), sur un grand nombre d'espèces, et ceci bien sûr avec des moyens contraints. Les ressources consacrées par la recherche privée sont modestes et cohérentes avec les marchés actuels et publique française sont considérables au regard de l'importance économique et raisonnable par rapport aux enjeux, la priorisation co-construite et partagée es objectifs en anticipant les améliorations génétiques nécessaires à moyen et long terme reste une nécessité absolue.

Diversité et combinaison des effets et des modes d'action des QTL de résistance à *Aphanomyces euteiches* chez le pois, Clément Lavaud

Unité mixte de recherche IGEPP

Dans un contexte d'agriculture durable, la création de variétés combinant des facteurs génétiques de résistance présente un intérêt majeur pour limiter le développement des maladies. Cette thèse contribue à cet enjeu sur une maladie majeure du pois, la pourriture racinaire due à *Aphanomyces euteiches*. Elle a permis de valider les effets des principaux locus génétiques de résistance à *A. euteiches* en conditions contrôlées et au champ, à partir de lignées agronomiques ayant introgressé un à plusieurs de ces locus par rétro-croisements assistés par marqueurs. Elle a également permis de démontrer l'effet de locus de résistance pour limiter le développement de l'agent pathogène à certaines étapes de son cycle de vie. Enfin, elle a permis d'identifier des combinaisons de ces locus permettant d'augmenter les niveaux de résistance partielle au champ, exploitables en sélection assistée par marqueurs pour l'amélioration génétique de la résistance dans les futures variétés de pois.

Biodiversité et résistances quantitatives aux maladies, Mélanie Mazurier

Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Toulouse

Afin de lutter contre les maladies racinaires et compte-tenu de l'inefficacité des produits phytosanitaires contre certaines de ces maladies comme la verticilliose de la luzerne, l'amélioration des semences est un des moyens pour maintenir et améliorer les rendements des cultures tout en préservant l'environnement. Ainsi, des gènes de résistance à *Verticillium* ont été recherchés grâce à la biodiversité naturelle présente chez la luzerne tronquée (*Medicago truncatula*), plante modèle de la luzerne cultivée. Après inoculation et évaluation de la progression de la maladie chez 246 lignées de luzerne tronquée, une analyse de génétique d'association, consistant en une association statistique entre les marqueurs génétiques des lignées et les symptômes de maladie observés, a permis d'identifier des gènes candidats à la résistance à *Verticillium*. Actuellement, le rôle de ces gènes candidats est en cours de validation. Une fois les résultats obtenus, ils seront transposables à la luzerne cultivée et permettront de favoriser la sélection de nouvelles variétés performantes et résistantes à la verticilliose.

Effet de la diversité intraspécifique des couverts prairiaux sur la fonction de production, Julien Meilhac

Unité URP3F INRA

De nombreuses études ont mises en évidence l'importance de la diversité génétique dans le fonctionnement des écosystèmes, notamment sur la production. Bien que largement décrit à l'échelle

des espèces, la plus-value de la diversité à l'échelle intraspécifique reste très peu investie. Pourtant, elle pourrait jouer un rôle important dans la performance de communautés écologiques, en particulier pour les mélanges prairiaux. Une approche expérimentale a été mise en place à l'INRA de Lusignan. Celle-ci a pour objectif la mise en évidence de l'impact de la variabilité intraspécifique sur la biomasse des espèces au sein d'un mélange. Des microparcelles, composées de sept espèces fourragères, ont été installées. Seule la variabilité génétique intraspécifique, approchée par le nombre de variétés par espèce, est variable entre microparcelles. Les résultats mettent en évidence une plus-value de la diversité intraspécifique sur l'équilibre d'abondance des espèces au sein de mélanges, et soulignent l'importance de considérer l'échelle intraspécifique dans la composition des mélanges prairiaux.

Partie 4 : Systèmes de culture : trajectoires économiques et techniques

Freins et leviers à l'insertion des légumineuses dans les systèmes de culture, Marie-Hélène Jeuffroy

Unité mixte de recherches Agronomie INRA-AgroPrisTech-Université Paris Saclay

L'analyse des freins au développement des légumineuses montre que leur marginalisation du système agricole, depuis une vingtaine d'années, est liée à un ensemble de causes existant aux différentes échelles du système sociotechnique, qui s'expliquent par une adaptation cohérente des activités de l'ensemble des acteurs du système, et qui caractérise un verrouillage de ce système (Meynard et al., 2013 ; Magrini et al., 2016). Or, les bénéfices agronomiques, environnementaux et nutritionnels des légumineuses justifient de s'interroger sur les conditions favorables à leur re-développement dans les systèmes de culture (Voisin et al., 2014). Les travaux de recherche récents montrent qu'il est indispensable de travailler simultanément sur la mise en place des conditions économiques, techniques et organisationnelles nécessaires à leur réinsertion. Face à l'impuissance des politiques publiques à organiser, de manière pérenne, les conditions favorables à ces cultures, il apparaît efficace et utile de travailler, avec les acteurs, dans des processus de conception collective et cohérente, croisant des préoccupations à l'échelle des filières et des territoires.

Les contrats de production dans les filières légumineuses à graines: un moyen d'encourager l'acquisition et le transfert de connaissances techniques? Célia Cholez

Unité mixte de recherches INRA AGIR et ADEME

Les légumineuses à graines pâtissent d'un défaut de compétitivité vis-à-vis des cultures «majeures». En particulier, le manque de connaissances techniques, un progrès génétique moindre et la faiblesse des débouchés sont avancés comme des facteurs de cette faible compétitivité, contribuant à créer une situation de verrouillage (Meynard et al., 2013 ; Magrini et al., 2016). Ce contexte questionne la capacité des acteurs de la production (agriculteurs, organismes stockeurs) et de la transformation (industries) à mieux se coordonner pour diffuser des incitations économiques et des connaissances pour favoriser un changement des pratiques agricoles (Fares et al., 2012). La coordination dans le secteur agro-industriel a été particulièrement analysée en économie des organisations, où l'étude des dispositifs contractuels occupe une place centrale (Ménard et Klein, 2004 ; Cook et al., 2008). Au travers d'une étude de cas sur la féverole en France, nous analysons le recours aux contrats de production entre un industriel et ses fournisseurs pour structurer une filière d'approvisionnement à destination de l'alimentation animale. En mobilisant les cadres théoriques de l'économie des coûts de transaction et de l'économie de la connaissance, nous montrons, qu'au-delà de véhiculer des incitations monétaires, les contrats participent aussi à créer et transférer des connaissances techniques sur la production, entre les acteurs de la filière. Nous mettons en évidence trois types de mécanismes qui seront discutés lors de cette communication, et qui invitent à considérer la complémentarité des contrats formels et des arrangements informels mis en œuvre pour piloter ces contrats.

Quantification des flux d'azote induits par les cultures de légumineuses et étude des traits explicatifs, Maé Guinet

Co-auteurs Maé Guinet, Anne-Sophie Voisin, Bernard Nicolardot, Unité mixte de recherche Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté

Dans le contexte de la transition agroécologique en faveur de systèmes de culture plus économes en intrants azotés, la réintroduction des légumineuses a un rôle majeur à jouer pour atteindre la durabilité de ces systèmes. Les objectifs de la thèse consistent à : i) quantifier la fixation symbiotique en fonction du niveau du stock d'azote minéral du sol, la minéralisation de l'azote des résidus de légumineuses après enfouissement et les pertes d'azote en dehors du système sol-plante (lixiviation, émission de protoxyde d'azote), pour 10 espèces de légumineuses aux caractéristiques morphologiques contrastées, ii) identifier les « traits de plantes » explicatifs des fonctions liées à ces flux d'azote. Pour atteindre ces objectifs, les différents flux d'azote ont été quantifiés au cours d'une expérimentation au champ avec implantation d'une culture de légumineuses en première année suivie par une culture de blé en année 2. Les premiers résultats de l'expérimentation au champ sur l'effet précédent des légumineuses sur une culture de blé seront présentés.

Partie 5 : Utilisation en alimentation animale : de multiples intérêts

Panorama des usages en alimentation animale et des enjeux de recherche, Jean-Louis Peyraud

Collège de Direction, INRA

Les légumineuses fourragères ou à graines sont bien valorisées par les animaux et concourent à une plus grande autonomie protéique et azotée (via la fixation symbiotique) des exploitations d'élevage.

Les légumineuses à graines sont très bien adaptées aux besoins alimentaires des porcs et peuvent aussi être utilisées, mais en moindre quantité, chez les volailles. Elles nécessitent toutefois l'utilisation des protéagineux nécessite souvent le recours à des complémentations avec des acides aminés de synthèse car leur protéines sont moins bien équilibrées que les protéines du tourteau de soja. Les tanins limitant la digestibilité et/ou les facteurs antinutritionnels sont aujourd'hui bien maîtrisés, soit par élimination (ou réduction sous une teneur faible sans impact) par sélection génétique soit par traitements technologiques. Si la quantité de légumineuses à graines a fortement diminué dans l'alimentation des monogastriques, ce n'est donc pas pour des raisons zootechniques mais avant tout du fait du manque de disponibilité de matière première pour la formulation des aliments.

Les légumineuses fourragères sont très bien valorisées par les animaux au pâturage ou sous forme conservée, elles sont alors de bons compagnons de l'ensilage de maïs. Les prairies multi-espèces associant graminées et légumineuses accroissent la productivité des prairies. L'association de deux graminées et deux légumineuses suffit. On dispose là d'une piste de progrès intéressante pour l'intensification écologique des systèmes de ruminants d'autant que les légumineuses fourragères permettent de réduire la lixiviation du nitrate sous prairie et les émissions de protoxyde d'azote (réduction de la fertilisation minérale). Les légumineuses fourragères pourront aussi demain contribuer à sécuriser les calendriers fourragers dans un contexte de réchauffement climatique avec les légumineuses à enracinement profond plus résistantes aux épisodes de sécheresse et les petites légumineuses qui sont aptes à maintenir leur croissance lors de fortes températures.

Mais aussi, et ce sera l'objectif des deux présentations qui vont suivre, certaines légumineuses fourragères contiennent une diversité des composés secondaires d'intérêt (tanins condensés, saponines, polyphénol oxydase (PPO), etc.) que ce soit chez les espèces tempérées ou tropicales. Ces composés peuvent contribuer à réduire les médications et améliorer la qualité des ensilages (PPO). Beaucoup d'études concernent les propriétés anthelminthiques des tannins condensés. Ceux-ci agissent par une action directe sur les parasites par la formation de complexes avec les protéines à la surface des nématodes. Les tannins peuvent aussi stimuler la réponse immunitaire de l'animal alors que les helminthes ont des actions dépressives sur le système immunitaire. Il est aussi bien établi que les tannins condensés réduisent très fortement le risque de météorisation qui reste toujours présents chez les ruminants recevant des fourrages riches en légumineuses. Toutefois l'utilisation de ces fourrages demeure très limitée en France où ils ont fait l'objet de peu d'amélioration génétique contrairement aux USA, au Canada ou à la Nouvelle Zélande. Leur culture reste difficile. Ces fourrages sont traditionnellement utilisés en foin mais peuvent être pâturés et récemment des développements industriels se sont mis en place pour produire des pellets de sainfoin qui sont commercialisés et utilisés comme alicament.

Diversité et usages multiples des légumineuses tropicales, Steve Cériac

Unité de recherches zootechniques Guadeloupe, INRA

Il y a une grande diversité de légumineuses dans les agrosystèmes tropicaux. Elles sont de type herbacé, volubile ou arbustif. En tant qu'aliment, elles sont valorisées pour leurs feuilles, leurs graines ou en plante entière comme source de protéines. Elles sont consommées par l'homme et/ou l'animal.

Les légumineuses tropicales sont plus ou moins riches d'une plus ou moins grande diversité de métabolites secondaires (tannins, saponines,...) qui impactent leur utilisation. Généralement quand ils sont présents en grande quantité, ils agissent comme sont des facteurs antinutritionnels chez les ruminants et les monogastriques. En fonction de leur nature et teneur, certains métabolites secondaires tels les tannins augmentent la disponibilité en protéines métaboliques chez les ruminants. Les tannins permettent aussi de réduire les émissions de méthane des ruminants et d'augmenter la résistance et résilience des ovins et caprins aux strongles gastro-intestinaux.

Des légumineuses bioactives pour améliorer la qualité du fourrage et réduire les émissions polluantes des ruminants, Vincent Niderkorn (thèse réalisée par G. Copani)

Unité mixte de recherches Herbivores, INRA, Vetagro Sup

Appliquée aux systèmes d'élevage, l'agro-écologie vise, entre autres, à valoriser l'agro-biodiversité et certaines régulations écologiques pour combiner production, meilleure utilisation des ressources et réduction des impacts environnementaux. Dans ce contexte, une thèse, menée dans le cadre d'un consortium de recherche international¹, avait pour objectif d'analyser les bénéfices potentiels de l'utilisation de deux légumineuses contenant des composés bioactifs (les tanins condensés dans le sainfoin et la polyphénol-oxydase dans le trèfle violet) sur les performances et les rejets polluants des ruminants. Les résultats obtenus ont montré que chaque espèce apporte des avantages différents, plutôt orientés vers la qualité du fourrage et la croissance des animaux pour le trèfle violet, et plutôt orientés vers la réduction des émissions de méthane entérique et d'azote urinaire pour le sainfoin.

¹Thèse réalisée par G. Copani et financée par la Commission Européenne (Marie Curie Initial Training Network, PITN-GA-2011-289377, "LegumePlus" project).

Partie 6 : Alimentation humaine : conception d'aliments à base ou enrichis en légumineuses

Pourquoi et comment produire des aliments à base de légumineuse à destination de l'alimentation humaine ?, Valérie Micard

Unité mixte IATE, Montpellier SupAgro

Les légumineuses sont une des sources de protéines végétales qui peuvent contribuer à réduire la part des protéines animales dans notre régime alimentaire. Bien qu'elles présentent une composition nutritionnelle d'intérêt, leur consommation traditionnelle sous forme de graines cuites reste assez confidentielle en Europe. De nouveaux produits facilitant leur préparation ont fait leur apparition sur le marché. Outre leur consommation sous forme de graines, les légumineuses peuvent également être incorporées dans certains aliments après avoir subi des transformations plus ou moins poussées. L'incorporation de légumineuses vise dans ce cas à exploiter les propriétés fonctionnelles particulières de leurs constituants et/ou à optimiser les qualités nutritionnelles du produit fini. De nouveaux produits alimentaires transformés, à base ou exclusivement faits de légumineuses sont ainsi apparus sur le marché diversifiant l'offre de produits pour le consommateur. La maîtrise de la conception de ces nouvelles matrices alimentaires, de leurs propriétés sensorielles, nutritionnelles, et d'usage, fait aujourd'hui l'objet de plusieurs programmes de recherche. Les légumineuses sont loin de nous avoir livré tout leur potentiel...

Formulation raisonnée de cakes aux légumineuses pour contribuer à la durabilité des filières, Anne-Flore Monnet

Unité mixte de recherches Ingénierie Procédés, Aliments, AgroParisTech-INRA

Parce qu'efficace du point de vue agronomique et nutritionnel, l'association céréale-légumineuse apparaît comme une option prometteuse pour des filières alimentaires plus durables. Une filière de culture et transformation associées, incluant des étapes de tri et aboutissant à la création d'aliments de grande consommation faits à partir d'un mélange de farines (ou d'une farine fabriquée à partir d'un mélange des graines) pourrait constituer un levier de relance des cultures de légumineuses pour notre alimentation. L'objectif de cette thèse est d'apporter la connaissance nécessaire à la formulation de produits céréaliers (gâteaux) faits à partir d'un mélange de farines en s'appuyant sur une démarche d'ingénierie reverse. Une telle démarche repose sur la compréhension de la structuration du produit au long du procédé et aux différentes échelles (de l'échelle macroscopique à l'échelle macromoléculaire). A ce stade, des premiers éléments de compréhension concernant l'effet de l'introduction d'une farine de légumineuse sur la structure du produit sont apportés.

Fermenter et structurer des protéines de pois pour améliorer leurs propriétés sensorielles, Salma Ben Harb

Unité mixte de recherches Génie des Matériaux et Procédés Alimentaires AgroParisTech, INRA

Proposer une offre alimentaire riche en produits végétaux constitue un des enjeux majeurs pour tendre vers un système alimentaire plus durable. Cependant un des verrous à l'introduction de protéines végétales dans notre alimentation est leurs défauts sensoriels. Aussi, ce travail vise à étudier les bénéfices sensoriels apportés par la fermentation de gels riches en protéines végétales. Deux solutions contenant 12% de protéines, constituée de 100% de pois ou d'un mélange de lait (50%) et de pois (50%), ont été fermentées par des associations microbiennes de complexité variable. Les résultats ont montré un fort potentiel d'implantation de souches de phyla différents dans les deux solutions. Des notes aromatiques spécifiques pour chaque solution fermentée ont permis de masquer la note végétale "verte" caractéristique du pois. Des gels offrant un large spectre de texture, allant de la crème dessert à une pâte "ferme", ont été également obtenus grâce à différentes stratégies de structuration des protéines.

Spécialités pastières aux légumineuses : structure multi-échelle et propriétés nutritionnelles, Karima Laleg

Unité mixte IATE INRA SupagroMontpellier

Des spaghetti ont été produits en substituant partiellement ou totalement la semoule de blé par les farines de légumineuses afin d'améliorer leur composition en protéines. Les modifications de structure obtenues et les répercussions sur les propriétés nutritionnelles des spaghetti ont été étudiées. L'accroissement de la quantité de légumineuse a engendré un affaiblissement linéaire dans la structure du réseau protéique conduisant à une amélioration de sa digestibilité *in-vitro*. De plus, les pâtes de légumineuses conservent un indice glycémique *in-vitro* aussi faible voire même plus faible que celui d'une pâte de blé. L'étude *in-vivo* a révélé une meilleure efficacité protéique des spaghetti mixtes aux légumineuses pour la croissance des rats jeunes. Les facteurs bioactifs qui se trouvent dans les graines de légumineuses ont été fortement réduits par le procédé de fabrication et de cuisson des pâtes. Les spaghetti aux légumineuses produits, enrichis en protéines, équilibrés en acides aminés ou sans gluten ont été aussi bien appréciés que des pâtes complètes ou des pâtes sans gluten du commerce. Ces spécialités pastières pourraient de ce fait, trouver une large application à l'échelle industrielle pour tous les consommateurs, notamment les séniors et les intolérants au gluten.

Cet atelier a été organisé conjointement par :



Et avec le précieux concours de :

Terres Univia

Terres Inovia

Gis Elevages demain