



1^{ères} Rencontres Francophones Légumineuses

31 mai & 1er juin 2016 - Dijon

Programme & résumés



Un évènement organisé par :



Edito

2016... Année Internationale des Légumes Secs ! Dans le contexte d'une demande mondiale croissante pour des protéines durables pour l'alimentation humaine et animale et d'un besoin d'atténuation du changement climatique, cette opportunité portée par la FAO nous a conduit à imaginer deux journées de rencontres scientifiques, techniques et professionnelles autour des questions et opportunités multiples portées par les légumineuses à graines et fourragères.

Avec l'Inra, le CIRAD, Terres Univia et Terres Inovia, nous sommes ravis de vous accueillir à Dijon pour ces **Premières Rencontres Francophones sur les Légumineuses**.

Ces Rencontres n'ont pu voir le jour qu'avec le soutien affirmé de nos quatre établissements organisateurs. Grâce à l'appui de nos nombreux financeurs publics et privés et à une participation de plus de 250 acteurs investis dans les productions ou les usages, nous espérons que chacun d'entre vous trouvera les opportunités de présentation et d'échanges qu'il attend de ces journées. Les différentes sessions traiteront en effet de l'ensemble des aspects de filières existantes ou naissantes, et les posters, pitches et visite de terrain représenteront autant d'occasions de connaître et faire connaître vos travaux. Enfin, les rendez-vous d'affaires permettront, nous l'espérons, d'entrevoir de futurs projets collaboratif sur la question des légumineuses.

Ce programme est le fruit du travail conjoint du Comité d'Organisation et du Comité Scientifique et Technique que nous remercions vivement pour l'investissement de chacun.

En espérant que vous apprécierez pleinement votre séjour en Région Bourgogne-Franche-Comté,

Bienvenue à Dijon !

Jean-Michel CHARDIGNY et Gérard DUC, au nom du Comité d'Organisation

Remerciements particuliers à:

L'Inra, en particulier dont le Centre Inra Dijon Bourgogne Franche Comté, l'UMR Agroécologie Dijon et L'UE Domaine d'Epoisses, les Départements Biologie et Amélioration des Plantes, Physiologie animale et systèmes d'élevage, Sciences pour l'Action et le Développement, les Métaprogrammes Glofood & Didit, les Directions Scientifiques Alimentation et Bioéconomie, Agriculture, le programme PSDR

Le CIRAD, Terres Inovia, Terres Univia,

L'Université de Bourgogne et l'ADEME,

Le Conseil Régional de Bourgogne Franche-Comté, ainsi que le Grand Dijon,

Les Programmes européens FEADER, UE FP7 Legato,

Et également aux entreprises et institutions partenaires : Agri Obtentions, Barenbrug, la Chambre d'Agriculture de Bourgogne Franche-Comté, la CCI Bourgogne et particulièrement Clément LEPERT, Dijon Céréales, Enterprise Europe Network, Florimond Desprez, Plan Protéines Bourgogne, les groupes Roquette, Seb, Valorex, Vitagora,

qui ont apporté leur soutien et sans qui cette manifestation n'aurait pas été possible.

Sommaire

Edito	2
Sommaire	3
Comité Scientifique et Technique	7
Comité d'Organisation	8
Programme	9
Journée du mardi 31 mai 2016.....	9
Programme.....	10
Journée du mercredi 1 ^{er} juin 2016	10
Conférences invitées	11
L'évolution des investissements de l'industrie canadienne des légumes secs (pulses)	12
La fraction protéique sera-t-elle l'avenir des cultures oléoprotéagineuses en 2030?	14
Etat des productions et utilisations en France, focus sur les légumineuses à graines	16
Efficience des symbioses dans les systèmes de production : de nouvelles conduites de culture, des inoculations et des choix de systèmes pour amplifier l'efficience des symbioses et leurs bénéfices environnementaux.	18
Atouts des légumineuses et challenges à relever.	20
Quelles complémentarités pour intensifier les usages des légumineuses.....	21
en alimentation humaine ou animale?.....	21
La diversité de composition des graines de légumineuses disponibles, au bénéfice de la nutrition humaine et animale.....	23
Le pois, espèce modèle ?	25
Des légumineuses pour refonder des systèmes de grande culture plus durables adaptés au changement climatique et permettant le développement de l'agro-écologie.....	26
La réintroduction des légumineuses fourragères dans les systèmes d'élevages : quels marchés, valeur ajoutée et besoins de réorganisation à l'échelle des exploitations et des territoires ?	28
Raisonner l'utilisation des légumineuses ligneuses dans les opérations de reboisement et/ou de réhabilitation des sols dégradés en milieu méditerranéen et tropical.....	30
Les tendances de consommation et d'utilisation des protéines végétales en agroalimentaire.....	32
Quelles innovations pour combiner productivité et valeur d'usage des légumineuses à graines dans les systèmes agricoles et agro-alimentaires ?	33
Protéines végétales : atouts et freins à lever.....	35
Les aliments au soja : une longue histoire et un bel avenir	36
Communications orales.....	37
Efficacité d'utilisation du phosphore pour la fixation symbiotique d'azote et le couplage des cycles bio-géochimiques de N et P dans les agrosystèmes avec des légumineuses	38
Effet de la co-inoculation de souches de rhizobium et PGPR sur la croissance du haricot (<i>Phaseolus vulgaris</i>) en conditions semi-contrôlées.....	39
Communication chimique chez le principal ravageur de féverole: <i>Bruchus rufimanus</i>	40
Nouvelles perspectives de luttés.	40
Face au pois, qui fait le poids ? Hiérarchiser les rendements et les quantités en protéines de légumineuses à graines en Europe, Amérique du Nord et Océanie.....	41
Modélisation de l'opération de trempage-cuisson pour maîtriser la valeur nutritionnelle des légumineuses: exemple du pois chiche ...	42
Fermenter et structurer des protéines de pois pour améliorer leurs propriétés sensorielles	43
Panorama des légumes secs dans le monde. Diversité et usages.....	44

Quels leviers génétiques mobilisables chez le pois et la féverole pour les teneurs en fractions protéiques, acides aminés, « facteurs antinutritionnels », afin d'améliorer la valeur nutritionnelle de ces graines?	45
Approches génomiques, évolutives et de sélection participative pour l'amélioration d'espèces légumineuses en Italie	46
Identification de loci génétiques d'intérêt pour la sélection de variétés résistantes aux stress multiples chez le pois et la féverole	47
Quantification des flux d'azote induits par les cultures de légumineuses et étude des traits explicatifs	48
Analyse et co-construction des conditions du développement de légumineuses à graines : approche territoriale avec les acteurs locaux	49
Comparaison des qtl de biomasse en association et en culture pure chez la luzerne	50
L'enrubannage ; une solution pour préserver les qualités nutritives des légumineuses prairiales ?	51
<i>Quels effets des matériels, de leurs réglages et de la teneur en MS au pressage sur la préservation de la valeur protéique du fourrage ?</i>	51
Gérer les compromis entre services écosystémiques rendus par des légumineuses utilisées en tant que plantes de service dans du colza d'hiver: approche fonctionnelle	52
Des légumineuses plantes compagnes associées aux cultures pour améliorer les performances agro-environnementales des systèmes de cultures à base de blé et colza ? Un projet pluri-partenaires de Recherche et Développement pour faire le point.....	53
Qualités culinaires, sensorielles et nutritionnelles des pâtes alimentaires sans gluten à base de légumineuses	54
Valoriser les associations céréale-légumineuse par la conception d'un produit nutritionnellement plus équilibré et de qualité maîtrisée : Le projet FlexiProcess	55
Etude des Freins et Leviers à l'insertion des légumineuses dans trois territoires contrastés (Bourgogne, Midi-Pyrénées, Pays de la Loire)	56
Acteurs de la chaîne de valeur des légumineuses alimentaires : Agriculture familiale, production et valorisation.....	57
Posters.....	58
Inoculation des légumineuses en France: Des inocula de qualité grâce à l'investissement de longue date de la recherche publique (INRA) et de l'institut technique chargé des légumineuses (Terres Inovia).	59
Valorisation du potentiel symbiotique et développement intégré des légumineuses adaptées aux zones potentielles de production, des régions semi arides d'Algérie.....	60
Adaptation des symbioses rhizobium-légumineuse aux contraintes environnementales	61
Diversité du choix de partenaires symbiotiques parmi une collection de pois inoculée par un mélange de souches de rhizobium	62
Effet de la double inoculation du pois chiche et de la lentille par des souches de rhizobium et de PGPR.....	63
UMT ALTER'N : Connaître les sources alternatives d'azote (légumineuses et produits résiduels organiques) pour gérer des systèmes de culture à faibles pertes azotées et moins dépendants aux engrais de synthèse	64
Sélection variétale du niébé (<i>Vigna unguiculata</i> L. walpers) : amélioration du potentiel de rendement par la combinaison de différents mécanismes de tolérance à la sécheresse.	65
Effets de la nutrition azotée et du génotype de la plante sur la résistance de <i>Medicago truncatula</i> à <i>Aphanomyces euteiches</i>	66
La levée de dormance, capacité germinative des Medics après différentes techniques de scarification (physique, chimique et mécanique).....	67
Effet de l'application des oligo-éléments (Zinc et Manganèse) sur les paramètres agronomiques et la qualité nutritionnelle de la lentille dans la zone semi-aride d'Abda, Maroc.....	68
Effet de l'application des agents chimiques anti-stress (Tébuconazole et Acide fulvique) sur les paramètres agronomiques de la lentille dans la zone semi-aride d'Abda, Maroc.....	69
Adaptation des types variétaux de pois dans différentes régions françaises : réponse du modèle AZODYN-pois	70
Interactions génotype x environnement en pois d'hiver	71
Unravelling cluster root development in white lupin	72
CLuster root development.....	72
Diversifier les variétés de pois pour répondre aux enjeux actuels.....	73
Analyse du développement végétal et du rendement de différentes lignées de pois protéagineux d'été (<i>Pisum sativum</i>) et de féveroles d'été (<i>Vicia faba</i>) cultivés comme variété unique ou en mixture avec des céréales sur une ferme biologique au Luxembourg.	74
Effets de la variété de soja et de races de bradyrhizobium sur le rendement, la teneur en protéines et la fixation biologique de l'azote, sous des conditions de croissance fraîches en Allemagne.....	75
Le manque d'information des agriculteurs luxembourgeois sur la culture de légumineuses à grains	76

La bruche, état des lieux en France : Biologie de l'insecte, Solutions actuelles limitées, Pistes de recherche.....	77
L -egume : un modele générique pour simuler la croissance et le développement de légumineuses d'architectures contrastées	78
Effet de la date de semis sur la production de luzerne l'année suivant l'implantation	79
Résultats d'essai de 3 dates de semis en été/automne 2014	79
Evaluation de lignees quasi-isogeniques de pois pour la resistance a aphanomyces euteiches au champ	80
La gestion des ravageurs des protéagineux au champ : programme de travail de Terres Inovia et partenariats	81
Désherbage mécanique des protéagineux : actions en cours.....	82
La Wallonie, terre d'avenir pour les protéines de pois	83
Le projet FlexiProcess	84
Impact de l'introduction de farine de légumineuse dans un produit céréalier courant	84
Fermenter et structurer des protéines de pois pour améliorer leurs propriétés sensorielles	85
PROLEVAL (PROtéagineux, OLEagineux, VALorisation animale) : Intégration pérenne des oléo-protéagineux français dans l'alimentation des animaux d'élevage via la chaîne alimentaire, du végétal à l'homme, dans l'objectif de répondre aux attentes sociétales.	86
Les hautes pressions dynamiques (microfluidisation):	87
Une technique innovante pour fonctionnaliser les protéines de légumineuses	87
Perception membranaire et signalisation précoce de cellules racinaires chez des génotypes de medicago truncatula contrastes pour leur réponse au stress hydrique	88
Digestibilité de la fève entière ou dépelliculée chez le poulet de chair.....	89
Évaluation des propriétés physico-chimiques de gels à base de lait de pois fermenté avec différents cocktails bactériens.....	90
Changement de menu pour les volailles.....	91
Un procédé thermomécanique spécifique appliqué à la fève remplace le tourteau de soja tout en améliorant les performances technico-économiques de volailles label.....	91
Influence de la granulométrie sur la croissance des microorganismes.....	92
Intérêt des protéines de pois disponibles dans les régions tropicales au bénéfice de la nutrition humaine	93
Les parois dans les graines de légumineuses : une source de variation qui peut affecter les valeurs d'usage	94
Caractérisation de la biosynthèse des saponines lors du développement de la graine chez le pois (Pisum Sativum) et la fève (Vicia Faba).....	95
Intérêt des variétés de fèves (Vicia faba L.) à faibles teneurs en vicine et convicine en alimentation humaine. Les variétés à faibles teneurs en vicine et convicine réduisent le risque du favisme chez l'homme hémizygote porteur d'une mutation de forte déficience en glucose-6-phosphate déshydrogénase (G6PD).....	96
Le système d'inscription et de protection des variétés de protéagineux en France	97
Inscription au Catalogue officiel, protection par COV.....	97
Isolement de gènes et abondance des transcrits de l'enzyme superoxyde dismutase (SOD) chez l'arachide (Arachis hypogaea L.)	98
Co-Conception des critères de SElection variétale des Légumineuses A Graines pour des systèmes agricoles et agro-alimentaires durables.....	99
Quelles pistes génétiques pour l'optimisation de la photosynthèse du pois protéagineux dans le cadre du changement climatique actuel ?.....	100
Le GSP : Groupe de Sélectionneurs de Protéagineux.....	101
Le projet Européen LEGATO (LEGumes for the Agriculture of TOMorrow).....	102
Rôle du métabolisme soufré dans la réponse à la sécheresse chez le pois.....	103
CRG protéagineux a grosses graines, Inra dijon	104
Diversité biologique pour le maintien du patrimoine et la recherche de performances	104
Protéagineux : des ressources génétiques à l'innovation variétale	105
Valorisation de la biodiversité du Centre de Ressources Génétiques des Protéagineux	105
Fève : des outils génétiques d'aide à la sélection	106
Effets de la nutrition azotée et du génotype de la plante sur la résistance de Medicago truncatula à Aphanomyces euteiches.....	107
La culture du soja en Belgique : Retour d'expérience.....	108

Étude des démarches des organismes stockeurs visant une agriculture durable	109
Collectif d'Agriculteurs pour la Transition Agroécologique dans le bassin de Bourg-en-Bresse grâce aux associations de cultures à base de légumineuses	110
Valoriser agronomiquement et économiquement les cultures associées dans les territoires	110
Evaluation des performances de légumineuses dans les systèmes de culture actuels bourguignons	111
Colza associé à un couvert de légumineuses gélives : Performances et conduite	112
Introduction de légumineuses dans les systèmes culture : Efficacité pour réduire la dépendance à l'azote minéral et les impacts associés	113
L'aptitude de différents systèmes de culture de légumineuses à grains comme fourrage riche en protéine dans un essai « on-farm » sur deux fermes biologiques au Luxembourg	114
Évaluation des systèmes de culture de légumineuses à grains en fonction de leur potentiel d'aliments de bétail et de leurs impacts sur le rendement du blé suivant les légumineuses en agriculture biologique dans des conditions défavorables du sol au luxemb	115
Les légumineuses en Agriculture Biologique : état des lieux et projets en cours	116
Quantifier les services éco systémiques rendus à court terme par les protéagineux au système de culture	117
Risques de fuites de nitrate par lixiviation à court et moyen terme dans les rotations céréalières incluant du pois ou du colza	118
Utilisation d'un mélange de pois et fèverole dans l'alimentation de poulets de chair : effet du décorticage et de l'extrusion sur les performances de croissance	119
Potentialités semencières des Médics en zone subhumide en vue de leur utilisation en zone steppique	120
Introduction des alternatives fourragères (légumineuses) et évaluation de leur sensibilité au Fluor dans la zone endémique de fluorose : cas de la zone semi-aride de Béni Meskine, Maroc	121
Récolte de foin de luzerne	122
Effet des heures d'intervention et du réglage de la vitesse de rotation des toupies à l'andainage sur les pertes quantitatives et qualitatives.– La Jaillière - Saint Hilaire en Woëvre (juillet 2013)	122
Introduction de légumineuses en système polyculture-élevage : quels impacts ?	123
Impacts technico-économiques de l'introduction de la luzerne dans un système polyculture - élevage bovin lait des Pays de la Loire	123
Effets du niveau d'introduction d'enrubannage de luzerne sur les performances des vaches laitières	124
Alimentation hivernale	124
Foin de légumineuses ; savoir le récolter pour préserver toutes ses qualités	125
quels effets des matériels, de leurs réglages et des conditions d'intervention sur la quantité et la qualité du fourrage récolté ?	125
Des plantes compagnes légumineuses pour contrôler les adventices sans impacter le rendement ? Une meta-analyse	126
Association lupin blanc d'hiver-triticales pour sécuriser la production du lupin et limiter la croissance des adventices	127
Diagnostic des bénéfices	127
Services fournis par les légumineuses et valorisés par les acteurs dans trois territoires : suivi de 3 observatoires de parcelles en Pays de la Loire, Bourgogne et Midi-Pyrénées	128
Intérêt des légumineuses associées à leurs micro-symbiotes dans la phytostabilisation de déblais miniers	129
Elaboration d'un outil d'intégration et de partage des connaissances pour le choix de plantes de service à associer au colza	130
La perception des consommateurs envers les légumineuses	131
Valorisation des protéagineux produits localement par l'élaboration de produits adaptés à l'alimentation humaine en vue d'une commercialisation à travers les circuits courts	132
Quelle stratégie pour la relance du secteur des légumineuses au Maroc ?	133
Quels leviers co-construire pour rendre les systèmes de culture avec protéagineux et soja plus attractifs ?	134
PSDR 4 : Un programme d'aide à la structuration des filières protéines végétales en Bourgogne-Franche Comté	135
Effet des légumineuses sur la bio accessibilité des vitamines liposolubles :	136
Quand les légumineuses diminuent l'incorporation des vitamines liposolubles dans les micelles mixtes au cours de la digestion.	136
Activité antioxydante des extraits micro-onde de différentes parties de graines de fèverole (Vicia Faba) et leur effet sur la production de l'interleukine-6	137
Pitches (inscrits au 18/05/2016)	138
Tables d'exposition (inscrites au 18/05/2016)	138

Comité Scientifique et Technique

Didier ANDRIVON	INRA	France
Paolo ANNICCHIARICO	CRA-FLC Iodi	Italie
Véronique BIARNES	Terres Inovia	France
Yvan LARONDELLE	Université Louvain	Belgique
Marie-Benoît MAGRINI	INRA	France
Valérie MICARD	Supagro	France
Jerôme PAVIE	Institut de l'Elevage	France
Corinne PEYRONNET	Terres Univia	France
Yves PRIN	CIRAD	France
Erik STEEN JENSEN - Président du CST	SLU Alnarp	Suède
Imane THAMI ALAMI	INRA Maroc	Maroc
Denis TREMORIN	Pulse Canada	Canada
Francis VALTER	Avril	France
Anne WAGNER	Tereos	France
Jacques WERY	SupAgro Montpellier	France

Comité d'Organisation

Marc ANTON	INRA	France
Stéphanie BUSSET	INRA	France
Jean-Michel CHARDIGNY	INRA	France
Gérard DUC	INRA	France
Nadia EL HOR	INRA	France
Daniel FONCEKA	CIRAD	France
Christine GIGANDON	Terres Inovia	France
Hubert HEBINGER	Terres Inovia	France
Marie-Hélène JEUFFROY	INRA	France
Hervé JUIN	INRA	France
Bernadette JULIER	INRA	France
Céline LE GUILLOU	Terres Univia	France
Marie-Benoît MAGRINI	INRA	France
Pascal MARGET	INRA	France
Zephirin MOULOUGUI	INRA	France
Sandrine PIGNON	INRA	France
Marie SOUALAH	INRA	France

Programme

Journée du mardi 31 mai 2016

Horaires	Présentations	Intervenants
8h45-9h25	OUVERTURE DES RENCONTRES	
9h25-10h45	Session 1 : Promotion politico-économique des productions.	
9h25-9h55	L'évolution des investissements de l'industrie canadienne des légumes secs.	TREMORIN Denis
9h55-10h15	La fraction protéique sera-t-elle l'avenir des cultures oléoprotéagineuses en 2030?	MUEL Frédéric
10h15-10h30	Etat des productions et utilisations en France, focus sur les légumineuses à graines.	LABALETTE Françoise
10h30-10h45	Questions	
10h45-11h15	Pauses et Pitches	
11h15-12h30	Session 2 en parallèle : Efficience des symbioses dans les systèmes de production.	
11h15-11h45	De nouvelles conduites de culture, des inoculations et des choix de systèmes pour amplifier l'efficience des symbioses et leurs bénéfices environnementaux.	PRIN Yves
11h45-12h00	Efficacité d'utilisation du phosphore pour la fixation symbiotique d'azote et le couplage des cycles bio-géochimiques de N et P dans les agrosystèmes avec des légumineuses.	DREVON Jean-Jacques
12h00-12h15	Effet de la co-inoculation de souches de rhizobium et PGPR sur la croissance du haricot (<i>Phaseolus vulgaris</i>) en conditions semi-contrôlées	THAMI ALAMI Imane
12h15-12h30	Questions	
11h15-12h30	Session 3 en parallèle : Améliorations quantitatives et qualitatives des productions.	
11h15-11h45	Atouts des légumineuses et challenges à relever.	PINOCHET Xavier
11h45-12h00	Communication chimique chez le principal ravageur de féverole: <i>Bruchus rufimanus</i> . Nouvelles perspectives de luttés.	LEPPIK Ené
12h00-12h15	Face au pois, qui fait le poids ? Hiérarchiser les rendements et les quantités en protéines d'une large diversité de légumineuses à graines en Europe, Amérique du Nord et Océanie.	CERNAY Charles
12h15-12h30	Questions	
12h30-13h45	Pause déjeuner	
13h45-15h00	Session 4 en parallèle : Amélioration des produits par les technologies et la génétique: quelles complémentarités ?	
13h45-14h15	Quelles complémentarités pour intensifier les usages des légumineuses en alimentation humaine ou animale?	GUEGUEN Jacques
14h15-14h30	Modélisation de l'opération de trempage-cuisson pour maîtriser la valeur nutritionnelle des légumineuses: exemple du pois chiche.	BRIFFAZ Aurélien
14h30-14h45	Fermenter et structurer des protéines de pois pour améliorer leurs propriétés sensorielles.	BEN HARB Salma
14h45-15h00	Questions	
13h45-15h00	Session 5 en parallèle : Diversité de digestibilité et valeur nutritionnelle de composition des graines.	
13h45-14h15	La diversité de composition des graines de légumineuses disponible, au bénéfice de la nutrition humaine et animale.	REMOND Didier
14h15-14h30	Panorama des légumes secs dans le monde. Diversité et usages.	CHAUVET Michel
14h30-14h45	Quels leviers génétiques mobilisables chez le pois et la féverole pour les teneurs en fractions protéiques, acides aminés, « facteurs antinutritionnels », afin d'améliorer la valeur nutritionnelle de ces graines ?	GALLARDO Karine
14h45-15h00	Questions	
15h00-15h30	Pauses et Pitches	
15h30-16h45	Session 6 : Ressources génétiques mondiales et sélection variétale.	
15h30-16h00	Le pois, espèce modèle ?	BURSTIN Judith
16h00-16h15	Approches génomiques, évolutives et de sélection participative pour l'amélioration d'espèces légumineuses en Italie.	ANNICCHIARICO Paolo
16h15-16h30	Identification de loci génétiques d'intérêt pour la sélection de variétés résistantes aux stress multiples chez le pois et la féverole.	PILET-NAYEL Marie-Laure
16h30-16h45	Questions	
16h45-19h45	Visite d'essais au Domaine Expérimental Inra de Bretenière / Visite de la ville de Dijon	
20h00-22h30	Buffet dînatoire	

Programme

Journée du mercredi 1^{er} juin 2016

Horaires	Intervenants	Présentations
8h45-10h00	Session 7 : Pour des grandes cultures durables.	
8h45-9h15	Des légumineuses pour refonder des systèmes de grande culture plus durables adaptés au changement climatique et permettant le développement de l'agroécologie.	WERY Jacques
9h15-9h30	Quantification des flux d'azote induits par les cultures de légumineuses et étude des traits explicatifs de 10 espèces.	GUINET Maé
9h30-9h45	Analyse et co-construction des conditions du développement de légumineuses à graines : approches territoriales avec les acteurs locaux.	JEUFFROY Marie-Hélène
9h45-10h00	Questions	
10h00-10h45	Pauses et Pitches	
10h45-12h00	Session 8 en parallèle : Les légumineuses fourragères dans les systèmes d'élevage.	
10h45-11h15	La réintroduction des légumineuses fourragères dans les systèmes d'élevage : quels marchés, valeur ajoutée et besoins de réorganisation à l'échelle des exploitations et des territoires ?	PAVIE Jérôme
11h15-11h30	Comparaison des qtl de biomasse en association et en culture pure chez la luzerne.	JULIER Bernadette
11h30-11h45	L'enrubannage : une solution pour préserver les qualités nutritives des légumineuses prairiales ?	UIJTWEAAL Anthony
11h45-12h00	Questions	
10h45-12h00	Session 9 en parallèle : Les services éco-systémiques non alimentaires.	
10h45-11h15	Raisonner l'utilisation des légumineuses ligneuses dans les opérations de reboisement et/ou de réhabilitation des sols dégradés en milieu méditerranéen et tropical.	DUPONNOIS Robin
11h15-11h30	Gérer les compromis entre services écosystémiques rendus par des légumineuses utilisées en tant que plantes de service dans du colza d'hiver: approche fonctionnelle.	LORIN Mathieu
11h30-11h45	Des légumineuses plantes compagnes associées aux cultures pour améliorer les performances agro-environnementales des systèmes de culture à base de blé et colza ? Un projet pluri-partenaires de Recherche et Développement pour faire le point.	VALANTIN-MORISON Muriel
11h45-12h00	Questions	
12h00-13h30	Pause déjeuner	
13h30-14h45	Session 10 en parallèle : Innovations sociotechniques en alimentation humaine	
13h30-14h00	Les tendances de consommation et d'utilisation des protéines végétales en agroalimentaire.	PINGEL Alexandrine
14h00-14h15	Qualités culinaires, sensorielles et nutritionnelles des pâtes alimentaires sans gluten à base de légumineuses.	LALEG Karima
14h15-14h30	Valoriser les associations céréale-légumineuse par la conception d'un produit nutritionnellement plus équilibré et de qualité maîtrisée : Le projet FlexiProcess.	MONNET Anne-Flore
14h30-14h45	Questions	
13h30-14h45	Session 11 en parallèle : Innovations pour combiner productivité et valeur d'usage	
13h30-14h00	Quelles innovations pour combiner productivité et valeur d'usage des légumineuses à graines dans les systèmes agricoles et agro-alimentaires ?	MAGRINI Marie- Benoît
14h00-14h15	Etude des freins et leviers à l'insertion des légumineuses dans trois territoires contrastés (Bourgogne, Midi-Pyrénées, Pays de la Loire).	MAWOIS Marie
14h15-14h30	Acteurs de la chaîne de valeur des légumineuses alimentaires.	LAAMARI Abdelali
14h30-14h45	Questions	
14h45-15h10	Pauses et Pitches	
15h10-16h25	Session 12 : Bénéfices nutritionnels et santé pour le consommateur	
15h10-15h35	Protéines végétales : atouts et freins à lever.	WALRAND Stéphane
15h35-16h00	Les aliments au soja : une longue histoire et un bel avenir.	JOUBREL Gwénaële
16h00-16h15	Questions	
16h15 -16h45	CONCLUSION	

Conférences invitées

L'évolution des investissements de l'industrie canadienne des légumes secs (pulses)

Denis Tremorin

Pulse Canada, Saskatoon, Canada

La croissance de l'industrie de "pulses" (légumes secs) au Canada est une bonne nouvelle pour l'industrie agricole au Canada. La production canadienne des quatre principales pulses (pois, lentilles, haricots, pois chiches) ont augmenté d'environ 1 million de tonnes au début des années 1990 à 6 millions de tonnes en 2015, une augmentation de plus de cinq fois en 25 ans.

En 2010, le Canada représentait 32% de la production de pois du monde et 38,5% de la production de lentilles du monde. Avec des exportations en pleine expansion ainsi que la production au cours des deux dernières décennies, le Canada représente aujourd'hui environ 35% du commerce mondial de pulses. Le Canada est un acteur dominant dans le commerce mondial de pois et de lentilles, ce qui représente 55% et 50%, respectivement en 2008 (l'année la plus récente des statistiques complètes de la FAO) et est le cinquième exportateur de secs et de pois chiches. En 2015, le Canada a exporté 6 millions de tonnes de pulses valant plus de 4,2 milliards de dollars. Le succès de l'industrie de pulses au Canada est grâce aux investissements astucieux des fermiers canadiens dans le développement de variétés adaptés au climat canadien.

Aujourd'hui, l'industrie de pulses du Canada répond aux besoins de plus de 150 marchés du monde entier. Toutefois, le Canada est dépendant de l'importation de pulses d'un petit nombre de pays. En 2015, 84% des pois secs du Canada ont été exportés à trois pays : l'Inde, la Chine et le Bangladesh. La même année, 74% des lentilles du Canada ont été exportés à cinq pays : l'Inde, la Turquie, les Émirats Arabes Unis, l'Égypte et le Bangladesh. Le Canada est maintenant reconnu pour être un fournisseur fiable de pulses au monde. Cependant, la consommation de pulses en Amérique du Nord et l'utilisation de pulses dans l'industrie alimentaire est basse. Il y a plusieurs désavantages de la dépendance canadienne aux marchés d'exportation : coûts et risques de transport, des possibilités limitées d'ajout de valeur, et les risques supplémentaires inhérents aux marchés d'exportation. L'augmentation de consommation en Amérique du Nord est vue comme une opportunité pour diversifier les marchés des pulses du Canada.

Depuis 2005, l'industrie de pulses du Canada a investi dans la recherche pour promouvoir les pulses comme aliments sains, nutritifs et qui sont bon pour l'environnement. En plus, le Canada fait des investissements dans la recherche de traitement des pulses en ingrédients fonctionnel pour l'industrie alimentaire, et même le développement de recettes pour les entreprises de service alimentaire. Ces investissements produisent maintenant des résultats avec le lancement de nouveaux produits avec pulses comme ingrédients.

Avec la déclaration que 2016 sera l'Année internationale des légumineuses par l'Assemblée générale de l'ONU en 2013, l'industrie canadienne des légumineuses a reconnu une grande opportunité de augmenter la connaissance mondiale des attributs bénéfiques des pulses. L'Année internationale des légumineuses a déjà réussi à rassembler des organisations, compagnies et individus pour une cause commune, et des événements sont planifier autour de monde. En Amérique du Nord, l'Année internationale a capté l'attention des médias, avec 1.6 milliards d'impression de médias depuis le début de janvier 2016 (imprimé, internet, télévision et ratio). En outre, le 6 janvier, 25 millions de personnes autour du monde ont célébré le 'Pulse Feast' à 141 banquets dans 36 pays. L'industrie internationale des pulses travaillent aussi pour assurer que l'Année internationale des légumineuses aura une contribution au futur. La développement d'une marque pour les pulses a été conçu par le

Global Pulse Confederation, American Pulse Association, US Dry Pea and Lentil Council et Pulse Canada. Cette marque sera disponible pour la promotion des pulses, et pour l'utilisation sur les produits commerciaux. Les industries canadiennes et américaines travaillent ensemble sur une campagne de marketing en Amérique du Nord. Ce campagne de marketing visent à encourager les consommateurs de essayer les pulses, et de surtout atteindre une nouvelle génération de consommateurs qui veulent trouver des moyens de consommer qui sont moins nuisibles pour leurs santés et moins nuisibles pour la planète.

La fraction protéique sera-t-elle l'avenir des cultures oléoprotéagineuses en 2030?

Etienne Pilorgé, Frédéric Muel.

Terres Inovia, Institut Technique des oléagineux, des protéagineux et du chanvre. 1 Av L. Brétignières, F-78850 Thiverval-Grignon : Courriel : e.pilorgé@terresinovia.fr

Pour soutenir les réflexions des professionnels des filières françaises des huiles et protéines végétales, une étude prospective a été menée à horizon de 15 ans (2030), visant à apporter des éclairages sur les débouchés qui tireront les productions oléagineuses et protéagineuses, et sur les pôles de croissance du secteur des huiles et protéines végétales français et européen. La réflexion s'est traduite sous la forme de 4 scénarios contrastés pour 2030 qui se font l'illustration de différentes logiques d'évolution du contexte et des enjeux majeurs, dans le jeu des contraintes démographiques, économiques et socio-politiques. Il apparaît évident que la valorisation de la fraction protéique est un aspect essentiel de l'avenir des oléoprotéagineux. Par ailleurs, la majorité des scénarios démontre que l'UE serait en mesure d'atteindre son autonomie en matières premières riches en protéines à l'horizon 2030.

Mots clés : Huiles, protéines végétales, oléagineux, protéagineux, demande alimentaire, prospective, scénarios

Cet exercice de prospective à horizon de 15 ans (2030), a mobilisé un groupe de 18 experts issus des entreprises, des organisations interprofessionnelles et des institutions de recherche et de développement, qui se sont réunis à 13 reprises. La réflexion a été organisée selon les méthodes de prospective stratégique (M. Godet 2007). Une première étape a consisté à décrire le «système prospectif», en reliant 21 éléments agro-industriel du système des huiles et des protéines, dans un contexte décrit par 13 facteurs environnementaux, ou «régulateurs». Ensuite, les différents éléments de ce système ont fait l'objet d'analyses du passé qui ont conduit le groupe de travail à expliciter les dynamiques et les tendances et de formuler des hypothèses pour 2030 (145 au total), pour chaque facteur ou variables clés. La construction de la structure de scénarios a été réalisée en utilisant "l'analyse morphologique" à partir de ces hypothèses. Ces quatre scénarios se font l'illustration de différentes logiques d'évolution du contexte et d'enjeux:

Scénario 1: « Vers le chaos »: Crise économique et politique, tensions alimentaires, compétitions et inégalités croissantes

Scénario 2: « La raison des blocs »: Politiques régionales et bilatéralisme

Scénario 3: « Confiance »: Coopération internationale pour prévenir le changement climatique

Scénario 4: « La rupture climatique »: Mesures d'économies et coopération forcée par les tensions climatiques et alimentaires

Parmi les enseignements clés de l'analyse, on retiendra notamment les points suivants:

-la croissance de la production agricole dans des conditions soutenables reste une priorité mondiale, qui dépend largement de la croissance des rendements moyens. Les évolutions liées au changement climatique peuvent être déterminantes, voir des éléments de rupture.

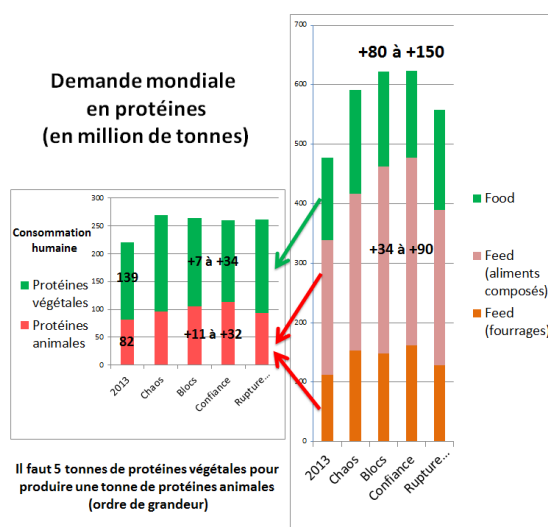
-la tension en matière de protéines relève de la quasi-certitude au niveau mondial. L'importance prise par les protéines végétales pour l'alimentation humaine, sous forme transformée ou non, varie selon les scénarios, ainsi que leurs conditions de valorisation et leurs marchés. Les rendements protéiques des différentes cultures détermineront leur compétitivité pour les utilisations de masses, notamment en alimentation animale.

-L'autosuffisance protéique de l'Europe est possible à l'horizon 2030, en bilan net. L'autosuffisance protéique de l'Europe est possible en 2030, du moins en bilan net. Sauf immigration massive, les évolutions en cours de la démographie européenne et des habitudes alimentaires, vers une alimentation moins riche en protéines animales font qu'un bilan européen déficitaire en matière de protéines végétales n'est pas une certitude à l'horizon 2030. Mais la contribution de l'Europe à la

production mondiale de protéines est une vraie question, avec des choix qui mettront en balance les équilibres économiques et environnementaux des territoires européens. L'Europe peut produire des protéines pour elle-même et pour exporter, mais sous quelle forme ? Des produits végétaux et/ou animaux (produits laitiers notamment...)? Dans quelles proportions? Le souci de générer de la valeur ajoutée comme l'évolution des besoins mondiaux devrait-il amener la production végétale à viser aussi l'alimentation humaine directement? Comment se traduira-t-il sur les équilibres de production entre protéines pour l'alimentation humaine et pour la transformation en produits animaux? Ces 4 scénarios contiennent des éléments synthétiques sur l'évolution des différentes cultures oléoprotéagineuses et protéagineuses à horizon 2030, qui reflète l'évolution de leur compétitivité. Ces éléments sont synthétisés dans le tableau suivant:

Evolutions potentielles des cultures d'ici 2030	Vers le chaos	La raison des blocs	La confiance	La rupture climatique
	SC1	SC2	SC3	SC4
MONDE				
Colza	-	++	+	-
Tournesol	-	+	+	-
Soja	++	+++	++	++
Légumineuses à graines	++	+++	++	+
EUROPE				
Colza	-	-	=	--
Tournesol	-	--	-	--
Soja	+++	+++	++	+++
Légumineuses à graines	+	+++	+++	+++

Le travail d'évaluation chiffrée des scénarios met en évidence le poids des hypothèses faites sur **l'évolution démographique, l'évolution des modes de vie et des habitudes alimentaires, et la croissance des rendements**, et montre les impasses résultant de l'extrapolation des tendances, et même de la prise en compte d'inflexions trop optimistes. Les 4 scénarios offrent dans leur déroulé un panorama contrasté des besoins **qualitatifs**, et dans leurs chiffrages des besoins **quantitatifs** en protéines:



Le jeu des quatre scénarios prospectifs se veut un cadre de réflexion pour soutenir la définition par les acteurs du secteur d'actions pré-actives visant à se préparer aux évolutions, ou proactives, visant à influencer l'avenir, en exerçant leur liberté dans les limites de leurs capacités.

Remerciements au groupe d'experts qui a participé à cette étude: H. Bewa (ADEME), P. Cerneau (Groupe Avril), JM. Chardigny (INRA), D. Chéreau (IMPROVE), F. Fine (Terres Inovia), J. Guéguen (INRA), H. Hébingier (Terres Inovia), A. Huertas (Groupe Avril / Lesieur), F. Luguénot (IN VIVO), V. Mazza (LIMAGRAIN), A. Montembault (Terrena), F. Muel (Terres Inovia), L. Ozanne (SOFIPROTEOL), C. Peyronnet (Terres Univia), X. Pinochet (Terres Inovia), T. Pouch (APCA/ Univ. Reims), M. Renard (INRA), JF. Rous (Groupe Avril). Merci également à Anne-Marie Tremblay et à Karim Ahmed Dhauouadi pour leur contribution.

Références: Combris P., 2013. Les grandes tendances de l'alimentation dans le monde : les défis de la croissance. Colloque PONAN, 29 novembre 2013, Nantes

Godet M. 2007, Manuel de prospective stratégique. Ed Dunod, Paris

INRA-CIRAD, février 2009. Agricultures et alimentations du monde en 2050 : scénarios et défis pour un développement durable. Rapport du groupe de travail Agrimonde.

De Visser C, Schreuder R., Stoddard F., 2014. The EU's dependency on soya bean import for the animal feed industry and potential for EU produced alternatives. OCL 2014, 21(4) D407

Etat des productions et utilisations en France, focus sur les légumineuses à graines

Françoise Labalette, *Terres Univia, Interprofession des huiles et protéines végétales.*

Avec les contributions d'Yvan Guiavarc'h, Nathalie Blosserville et Jean-Paul Lacampagne, (Terres Univia).

Toutes dotées de la capacité à fixer l'azote atmosphérique et d'une teneur assez élevée en protéines (de 20 à 35% du poids brut en moyenne pour les légumineuses à graines par exemple), les légumineuses contribuent largement à la ration protéique des hommes et animaux dans le monde. Avec plus de 300 millions de tonnes produites par an, le soja, s'est imposé comme première légumineuse mondiale et principale source de protéines pour les animaux d'élevage. Les protéagineux et légumes secs, dont la culture est nettement moins concentrée géographiquement que le soja, entrent significativement dans les menus de nombreuses populations mais restent loin derrière avec 50 à 60 millions de tonnes annuelles. Malgré d'indéniables atouts agro-environnementaux et nutritionnels, les légumineuses à graines ne sont introduites qu'en faible proportion dans les assolements des grandes cultures françaises (moins de 2%) comme d'ailleurs de l'Union européenne, contrastant en ce sens avec la situation de grands pays agricoles comme les Etats-Unis.

1. Production des légumineuses à graines en France?

A partir des années 80, la France a su développer des productions de légumineuses à graines (LAG) significatives largement tirées par le pois protéagineux, avec des pics à plus de 3,5 millions de tonnes par an dans les années 90. En raison d'une faible consommation en alimentation humaine, ces développements se sont faits au bénéfice quasi exclusif de l'alimentation animale intérieure. Malgré la prédominance du pois (54 % de la sole LAG en 2015), la France se caractérise par une diversité de cultures plus importante que dans les autres pays européens (féverole, soja, lupin, lentille, haricot, pois-chiche), qui constitue à la fois une force au travers des possibles adaptations régionales et une faiblesse par la dispersion des moyens qu'elle engendre. Comme dans l'ensemble de l'UE, la production de légumineuses a chuté durant la dernière décennie avant d'amorcer depuis deux ans un léger redressement (906 000 tonnes en 2015), qui devrait se poursuivre en 2016. Aux côtés des techniques de production conventionnelles qui restent majoritaires, l'essor de l'agriculture biologique et des conduites de cultures innovantes (cultures associées avec des céréales et commercialisées pour leurs graines par exemple) fait revenir les légumineuses dans des systèmes dont elles avaient été exclues, ce qui se traduit par une progression des surfaces, visible en Bio. Au cours de la même période, les rendements, des protéagineux en particulier, n'ont que peu progressé et se sont montrés plus irréguliers, en regard des autres cultures dominantes de l'assolement ; ce qui a accéléré la perte de confiance des opérateurs de l'amont et par conséquent de l'aval par manque de disponibilité.

Du point de vue des échanges en matières riches en protéines, la France reste largement déficitaire (importations massives de tourteaux de soja) y compris sur le segment des légumes secs comme la lentille par exemple.

2. Des marchés et utilisations variés

Toutes LAG confondues, et encore plus si on adjoint la luzerne deshydratée en production industrielle, l'utilisation majoritaire reste l'alimentation animale. La composition nutritionnelle et les caractéristiques technologiques des diverses productions orientent les valorisations : par exemple le soja, notamment sous forme de tourteau, entre principalement dans les formules volailles tandis que le pois se valorise dans les formules porcines plus facilement. La mise en œuvre d'une première transformation (décorticage) permet à des graines comme la fève de prétendre à des marchés à

meilleure valeur ajoutée comme la volaille ou l'aquaculture. Au cours des dernières années, des marchés en alimentation humaine ont été développés que ce soit en France (soyfood pour le soja, ingrédients protéiques pour le pois ou le lupin) ou à l'export (féverole pour l'Egypte, pois jaune pour l'Inde), avec la difficulté pour l'export de passer d'un marché d'opportunité à un marché organisé et régulier. Quant aux légumes secs, ils voient leur production augmenter selon des logiques régionales plus ou moins marquées (pois-chiche dans le sud-ouest et le sud-est, lentille dans les bassins historiques mais aussi ailleurs) et en réponse à des demandes d'approvisionnement local et de qualité en alimentation humaine où la marge de progression est élevée (moins de 2kg consommés par habitant/an).

3. Un avenir ouvert pour les légumineuses en France

Le contexte réglementaire de la Politique agricole commune (verdissement progressif des aides), sa déclinaison française au travers du plan protéines et la demande croissante en protéines végétales constituent un environnement très favorable au développement des productions de légumineuses en France. A condition bien entendu d'engager les efforts nécessaires pour les rendre durablement attractives et performantes pour tous les acteurs de la filière, consommateurs inclus.

Efficiences des symbioses dans les systèmes de production : de nouvelles conduites de culture, des inoculations et des choix de systèmes pour amplifier l'efficacité des symbioses et leurs bénéfices environnementaux.

Prin Y.^{1*}, Le Roux C.¹, Galiana A.¹, Duponnois, R.²

¹CIRAD, UMR LSTM, F-34398 Cedex 5, Montpellier, France.

²IRD, UMR LSTM, F-34398 Cedex 5, Montpellier, France.

Comme la très grande majorité des plantes, les légumineuses sont symbiotiques, et même si les quelques 17 000 espèces, regroupées en plus de 700 genres, n'ont pas été examinées dans leur grande majorité, il est considéré que toutes sont naturellement symbiotiquement associées à des champignons mycorhiziens arbusculaires, leur permettant ainsi d'améliorer leur nutrition minérale, en particulier phosphatée. Ce n'est toutefois pas cette symbiose qui a fait leur renommée, mais celle, beaucoup plus rare chez les plantes supérieures, qui se développe avec certaines bactéries du sol et leur permet de transformer l'azote de l'air en ammoniac (« fixation d'azote »). Toutefois, toutes les légumineuses ne sont pas nodulées, comme c'est le cas pour plus de 80% des espèces chez les Caesalpinioideae. C'est de la fixation d'azote que les légumineuses tirent leur richesse en protéine et leur intérêt agronomique et écologique. Les bactéries responsables, globalement appelées les rhizobiums, sont hébergées par la plante dans un organe dédié, et généralement racinaire : le nodule ou nodosité. C'est le lieu des échanges entre partenaires symbiotiques : transfert de l'azote combiné de la bactérie vers la plante et transfert de sucre issu de la photosynthèse végétale vers la bactérie. Une grande majorité des légumineuses cumulent donc deux symbioses. Enfin, certaines rares légumineuses ligneuses tropicales sont capables de cumuler une troisième symbiose : la symbiose ectomycorhizienne, améliorant ainsi encore leur nutrition phosphatée et l'assimilation d'autres éléments du sol.

Du point de vue taxonomique, la famille des légumineuses (Fabaceae), qui représente la troisième famille du règne végétal en nombre d'espèces qui la composent, est organisée en 3 sous-familles : les Caesalpinioideae (171 genres, 2251 espèces), les Mimosoideae (82 genres, 3271 espèces) et les Papilionoideae (478 genres, 13 805 espèces). C'est dans cette dernière sous-famille que se situent les légumineuses les plus cultivées dans le monde : *Vicia* (vesces, fèves, féveroles), *Lens* (lentilles), *Trifolium* (trèfles), *Pisum* (petit pois, pois cassé), *Medicago* (luzernes), *Cicer* (pois chiches), *Lotus* (lotier), *Phaseolus* (haricots), *Vigna* (niébé), *Glycine* (soja), *Glycyrrhiza* (réglisse), *Arachis* (arachide), *Lupinus* (lupins), et des ligneux comme *Robinia* (faux acacia), *Wisteria* (glycine), *Dalbergia* (palissandre). Chez les Mimosoideae on trouve certains arbres très utilisés sous les tropiques comme les *Acacias* australiens (faux-mimosa, *A. mangium*) et africains (acacias gommiers). Chez les Caesalpinioideae, on trouve principalement *Ceratonia* (caroubier) un arbre fruitier méditerranéen non nodulé.

Du fait de leurs nombreux intérêts, ces légumineuses ont fait l'objet de domestication et de dissémination parfois anciennes (4000 ans pour *Phaseolus*, 7000 à 4000 ans pour *Vicia faba* et *Lens culinaris*). En France, c'est ainsi que de nombreuses légumineuses ont une origine exotique (<http://www.ildis.org/>) : le haricot (Mexique), la fève (Asie occidentale ?), la lentille (Moyen-Orient), la luzerne (*M. sativa*, Proche-Orient), le pois chiche (Asie du Sud-Ouest), le soja (Chine), le robinier (Amérique), les faux-mimosas (Australie). Ces disséminations posent de nombreuses questions du point de vue des partenaires microbiens symbiotiques, souvent oubliés lors des disséminations et des sélections /diversifications génétiques des plantes. On peut ainsi poser la question de l'intérêt de réunir les partenaires originels, ce qui suppose de connaître la généalogie des espèces cultivées, les aires/écosystèmes d'origine, les parcours de dissémination, les plantes d'origine (« cultigènes »)... et qui est loin d'être le cas général. En remontant ces étapes génétiques et géographiques, on peut ainsi espérer retrouver les géotypes de plantes

moins impactés par la sélection/adaptation et les utiliser pour identifier, dans les sols correspondants, les partenaires microbiens potentiellement les plus efficaces pour les variétés modernes. En fonction des informations disponibles (souvent très fragmentaires), et de manière pragmatique, il pourra être judicieux de diversifier autant que possible les géotypes/variétés de plantes que l'on confrontera, idéalement, à des sols représentatifs des étapes de dissémination géographique. Cette confrontation/piégeage sera, en fonction des niveaux de productivité végétale observés, suivie d'études de diversité symbiotique et d'isollements de microsymbiotes (cultivables). Il faudra alors prendre en compte les critères éthiques de propriétés et d'usage des ressources génétiques microbiennes, et aussi les contraintes législatives locales sur l'introduction de souches microbiennes exotiques, avant d'en venir aux étapes de tests sur plantes à différentes échelles et de valorisation de ces ressources microsymbiotiques. Ces ressources microbiennes pourront également être utilisées dans de nouveaux itinéraires de sélection génétique en présence de niveaux de fertilisants réduits, pour une création variétale intégrant les symbioses.

Cette stratégie « lourde » et donc coûteuse est loin d'être la tendance générale. La très grande majorité des inoculums commercialisés se contente de prendre en compte uniquement les ressources microbiennes cultivables et effectivement disponibles dans les collections déjà existantes, capables de s'associer avec la ou les plantes ciblées. Dans certains cas, les souches sont sélectionnées à partir d'une collection spécifiquement constituée pour cela, mais selon un échantillonnage et une stratégie beaucoup plus aléatoire, par rapport à la plante ciblée.

Valoriser au mieux les symbioses, en limitant les intrants, suppose d'être capable d'apporter le ou les partenaires microbiens sélectionnés, et donc de maîtriser les inoculations : multiplier le microorganisme, le conditionner sous une forme adaptée à la conservation et à l'utilisation en plein champ ou en pépinière (« technologie de l'inoculum »), en contrôler la qualité, pureté et viabilité, et le devenir. Il faut encore s'assurer de la compatibilité des pratiques agricoles avec l'établissement et le fonctionnement symbiotique (fertilisants, pesticides,...), et corrélérer les niveaux de productivité obtenus avec la présence effective des symbioses. Il s'agit de privilégier dans les inoculums les partenaires microbiens efficaces et d'éliminer les pathogènes, et les « tricheurs » ou « opportunistes » capables de s'associer mais de manière non efficace avec la plante. Les formes d'apports classiques comprennent, en fonction du microorganisme (bactérie, champignon), la suspension liquide (dilution et épandage de cultures microbiennes dans l'eau ou dans différentes formulations), les supports solides (tourbe, perlite, vermiculite, mélanges,...), les inclusions dans les polymères (alginates), les enrobages de graines avec divers agents « collants »... En France, ces microorganismes et les supports d'inoculum éventuellement associés doivent faire l'objet d'une Autorisation de Mise sur le Marché de la part de l'ANSES. A noter que cette AMM doit également apporter la preuve du caractère fertilisant de la préparation, dans le cadre d'essais terrain.

Dans le cadre de notre exposé, nous présenterons la diversité des légumineuses et de leurs différentes symbioses, et le potentiel de ces symbioses en agroécologie. Nous illustrerons, à partir de nos travaux en zone tropicale et méditerranéenne, les stratégies d'échantillonnage et de sélection des partenaires microbiens les plus adaptés, les techniques de formulation et d'apport des inoculums et les leçons du suivi de ces inoculums au cours du temps.

Atouts des légumineuses et challenges à relever.

Xavier Pinochet et Véronique Biarnes

Terres Inovia, Avenue Lucien BRETIGNIERES, Campus de Grignon, 78850 THIVERVAL-GRIGNON

Le contexte est aujourd'hui très favorable au développement des légumineuses. Plusieurs études prospectives récentes tablent sur une augmentation importante de la demande en protéines végétales pour les 2 prochaines décennies. Les autres marchés offrent également des perspectives : amidon, ingrédients, alimentation humaine, fourrages. Outre la réponse aux demandes de ces marchés, il y a également une forte attente vis-à-vis des légumineuses pour qu'elles contribuent à la durabilité des systèmes de cultures et à la diminution de l'usage des produits phytosanitaires. Elles permettent une meilleure gestion de l'azote, avec des recours réduits à la fertilisation. Ces espèces sont des candidates intéressantes pour l'allongement des rotations. Elles sont également utiles au contrôle des adventices, soit par les couvertures du sol permises, soit par les possibilités d'alternance cultures d'hiver, culture d'été qu'elles offrent. Elles peuvent couvrir les sols durant les inter-cultures.

Pour répondre à ces attentes les légumineuses présentent l'avantage d'une diversité d'espèces permettant une adaptation à la diversité des demandes et des milieux. On dispose non seulement d'une diversité d'espèces, mais aussi à l'intérieur d'une même espèce, de types assez variés. C'est en particulier le cas pour les légumineuses à graines les plus cultivées avec à la fois des types hiver ou printemps. Cet atout important se heurte néanmoins à la question de la stabilité du rendement, condition de développement économique incontournable et qui suppose de définir précisément pour chaque type de milieu les idéo-types les mieux adaptés.

Des défis restent à relever à différents niveaux. Pour beaucoup d'espèces de légumineuses, il faut arriver à maintenir dans la durée des programmes de génétique et d'amélioration des plantes, publiques et privés, conséquents. L'INRA a choisi principalement le pois et, dans une moindre mesure, la féverole. Les efforts de l'interprofession permettent de maintenir des groupements public-privés pour d'autres espèces. Néanmoins certaines espèces restent orphelines. Un second défi est de réduire la sensibilité aux facteurs abiotiques. Les stress thermiques et hydriques sont les principaux avec de nombreuses conséquences physiologiques. Le développement de type hiver, pouvant échapper en partie à ces stress, est rendu possible par l'amélioration de la résistance au froid. Promouvoir la résistance aux bio-agresseurs, en particulier aux maladies est également un objectif important. Après une vingtaine d'années d'efforts, des résultats très encourageants ont été obtenus vis-à-vis de la maladie racinaire *Aphanomyces*. D'autres maladies sont contrôlables en faisant appel à une palette de solutions : agronomie, bio-contrôle, ou génétique. L'écologie chimique permettant des stratégies de push and pull reprend de l'intérêt et peut être une alternative à l'explosion des résistances aux pyréthrinés. Le dernier défi est l'adaptation de l'arsenal réglementaire à différents niveaux : éviter les usages orphelins, avoir des politiques publiques de soutien cohérentes et suivies dans le temps, bien placer les curseurs au niveau des exigences de qualité.

Quelles complémentarités pour intensifier les usages des légumineuses en alimentation humaine ou animale?

J. Guéguen

INRA, UR1268, Biopolymères Interactions Assemblages, F-44316 Nantes, France

Les graines de légumineuses sont utilisées en alimentation animale, principalement comme source de protéines. Même si le soja, incorporé dans les rations sous forme de farine déshuillée est la référence et domine très largement ce marché à cause de sa teneur élevée en protéines (45-50%) d'autres matières premières comme le pois (20-25% protéines) et la fèverole (30-35% protéines) sont également utilisées. Ces graines amylacées sont intéressantes à la fois pour leur apport en protéines et en énergie sous forme d'amidon. Dans ce secteur de l'alimentation animale les technologies sont en général assez simples et se résument à des opérations (1) de broyage grossier associé ou non au décortiquage, (2) de formulation par le mélange de poudres (3) de mise en forme souvent associée à des traitements thermomécaniques (granulation, extrusion...).

En alimentation humaine, ces graines sont principalement consommées sous forme de graines entières ou décortiquées, et de farines plus ou moins grossières. C'est le marché assez traditionnel des légumes secs (haricot, lentille, pois, pois chiche, fève...). Les technologies sont peu élaborées; il s'agit principalement d'opérations de nettoyage des graines, de décortiquage, de broyage (graines concassées ou farines) et de conditionnement. Des procédés innovants méritent d'être développés. Parmi ceux-ci des procédés de fractionnement ont été mis au point dans le cas de certaines graines (soja, lupin, pois, fèverole) pour produire principalement des fractions enrichies en protéines (farines, concentrats, isolats) et en outre dans le cas des graines amylacées une fraction « fibres » et une fraction « amidon ». Ces fractions enrichies sont utilisées comme ingrédients dans les formulations alimentaires pour leurs propriétés nutritionnelles et/ou leur fonctionnalité technologique. A nouveau, le soja domine ce marché. Les concentrés protéiques sont obtenus dans le cas du soja par extraction sélective des constituants non protéiques par des solvants hydroalcooliques ou par de l'eau acidifiée (concentrés à 65-75% protéines) et dans le cas des graines amylacées (pois fèverole) par séparation physique des corpuscules protéiques après un broyage ultrafin des cotylédons couplés à une ou deux étapes de turboséparation. Les isolats sont préparés pour toutes ces graines par extraction des protéines en milieu neutre ou alcalin (pH 7-8) puis concentration des protéines solubilisées par précipitation (pH 4-5) ou ultrafiltration puis séchage.

Des freins existent concernant l'utilisation de ces graines de légumineuses; ils sont à la fois liés à l'aptitude des matières premières à la transformation (facilité de décortiquage, de broyage, de séparation), à certaines limites de performances en nutrition animale et à certains défauts de fonctionnalités et de goût des protéines en alimentation humaine.

La qualité du décortiquage et du broyage, qui sont les premières étapes de transformation dans la plupart des usages influe fortement sur les caractéristiques nutritionnelles et /ou fonctionnelles des farines obtenues. Par exemple, la séparation des téguments (6-12% de la graine) en éliminant des fibres et des tanins permet d'accroître la qualité nutritionnelle de la farine pour les monogastriques. La granulométrie de la farine gouverne en partie la digestibilité des constituants, mais aussi l'efficacité du fractionnement par turboséparation et l'extractibilité des protéines.

Or on observe une variabilité interspécifique de l'aptitude au décortiquage et au broyage. La liaison téguments-cotylédons, les propriétés visco-élastiques des tissus et la dureté des graines sont liés à la structure de la graine et aux propriétés des parois cellulaires et des polysaccharides non amylacés qui les composent. Le décortiquage, bien maîtrisé pour la plupart des graines de légumineuses, ne nécessite pas d'effort particulier d'amélioration génétique à l'exception de quelques espèces comme le pois chiche (type Kabuli); par contre, la variabilité inter et intraspécifique de l'aptitude au broyage mériterait d'être explorée en fonction de paramètres

histologiques, de morphologie cellulaire (taille des cellules, épaisseur des parois) ou composition des parois à l'interface téguments-cotylédons. Des résultats préliminaires obtenus sur 4 génotypes de pois montrent que la susceptibilité au broyage s'accroît avec la taille des cellules cotylédonaires.

Outre leur effet sur l'aptitude au broyage, les parois cellulaires sont un facteur déterminant de la qualité nutritionnelle des graines. En constituant une barrière aux enzymes digestives, elles limitent la digestibilité des macronutriments, protéines et amidon. Cela est préjudiciable aux performances en alimentation animale mais plutôt bénéfique en nutrition humaine. En synergie avec le caractère résistant à l'hydrolyse de l'amidon, lié à sa structure cristalline et à sa teneur plus élevée en amylose, cet effet « barrière » des parois explique en partie le plus faible indice glycémique des produits à base de légumineuses amylacées comparé à ceux dérivés de céréales. Les données de la littérature convergent aussi pour attribuer à ces fibres internes d'autres effets bénéfiques pour la santé (hypcholestérolémiant, tolérance au glucose...) et des propriétés techno-fonctionnelles intéressantes (capacité de rétention d'eau, d'huile). L'ensemble de ces résultats montrent l'importance des enjeux technologiques et nutritionnels de travaux sur la variabilité structurale et de composition de ces fractions fibres externes et fibres internes et sur leur mécanisme de biosynthèse.

Concernant les protéines, il s'agit d'une fraction complexe constituée de plusieurs familles présentant elles-mêmes en leur sein un grand polymorphisme et qui possèdent des propriétés nutritionnelles et techno-fonctionnelles intrinsèques et diverses. Dans le cas du pois, les protéines de réserve (type globulines 11S, 7S) possèdent une bonne digestibilité chez le porc et le poulet alors que certaines albumines sont résistantes à l'hydrolyse. On trouve en particulier dans les protéines résistantes, les inhibiteurs tryptiques et les lectines. A l'exception de ces facteurs antinutritionnels pour lesquels les efforts de génétique ont permis d'en réduire la teneur chez le pois, on a trop peu exploité la variabilité de la composition protéique pour améliorer les performances nutritionnelles et fonctionnelles des graines et des fractions protéiques dérivées. Le rapport entre les principales familles de protéines (rapports globulines/albumines, 11S/7S,...) est important à considérer mais le polymorphisme au sein de chaque famille doit aussi être pris en compte dans certains cas. Ainsi des travaux sur le haricot montre que le degré d'hydrolyse (DH) de la phaséoline, protéine 7S majeure de la graine, varie fortement après cuisson ($57\% < DH < 96\%$) en fonction de l'isoforme considérée. Ces résultats ouvrent la voie à des perspectives d'amélioration de la qualité nutritionnelle de cette graine, compte tenu de la variabilité génétique existante.

Concernant les propriétés techno-fonctionnelles, les études ont montré, comme dans les exemples précédents sur les propriétés nutritionnelles, des différences importantes de propriétés émulsifiantes, moussantes, gélifiantes entre les familles de protéines mais aussi entre les isoformes d'une même famille. De tels travaux méritent d'être intensifiés pour améliorer les valeurs d'usages de ces protéines en mobilisant les connaissances acquises sur le protéome des graines de légumineuses et sur leur variabilité génétique. En appui de ces travaux, il paraît aussi important d'engager des recherches sur les précurseurs de «goût de pois» pour en explorer la variabilité génétique et en réduire les effets négatifs.

En résumé, de fortes complémentarités existent entre génétique et technologie pour améliorer la qualité d'usages des légumineuses. Quelques orientations majeures se dégagent sur la structure des parois en lien avec le broyage et les performances nutritionnelles, sur les protéines et leur polymorphisme au regard de leur susceptibilité à l'hydrolyse et de leurs propriétés techno-fonctionnelles, sur les précurseurs de mauvais goût. Pour certaines espèces et pour des applications spécifiques en alimentation animale où les graines sont consommées crues, la réduction de la teneur en facteurs antinutritionnels (inhibiteurs tryptiques, lectines, phytates..) pourrait aussi être explorée

La diversité de composition des graines de légumineuses disponibles, au bénéfice de la nutrition humaine et animale.

Didier Rémond

INRA Clermont Ferrand

Une vingtaine de variétés de graines de légumineuses est utilisée de façon significative en nutrition humaine et animale. En raison de leur teneur élevée en protéines ces graines jouent un rôle très important dans les différentes filières de production animale. Leur utilisation est toutefois largement dominée par le soja, et plus particulièrement par le tourteau issu de sa trituration pour l'extraction d'huile. L'utilisation des protéagineux les plus utilisés (pois, lupin féverole) représente moins de 3 % du tonnage des aliments composés des porcs, bovin et volaille (contre environ 15% pour le tourteau de soja). Seulement 10% du soja consommé en France est produit sur le territoire, ce qui rend l'élevage dépendant de l'importation de cette source de protéines. En nutrition humaine les graines de légumineuses sont souvent considérées dans les pays occidentaux comme 'l'aliment du pauvre'. En raison de leur richesse en nutriments ils jouent cependant un rôle prépondérant pour les populations des pays à faible revenu où la malnutrition protéino-énergétique est un problème majeur. Dans un contexte d'augmentation de la population mondiale, et de possible tension sur les ressources en protéines alimentaires, leur utilisation dans les pays occidentaux connaît cependant un important regain d'intérêt. Dans un objectif d'alimentation durable, les légumineuses métropolitaines ont très certainement une carte importante à jouer (directement ou indirectement par le biais des productions animales). La diversité de composition des graines est un atout pour relancer leur consommation dans les différentes productions animales, mais aussi en alimentation humaine, en jouant sur leur complémentarité et leurs effets spécifiques sur la santé.

Caractéristiques des différentes graines

Les graines de légumineuses les plus utilisées pour l'alimentation humaine sont les haricots, les lentilles, les pois, les pois chiches, et les fèves. En alimentation animale on a plutôt recours au soja, au pois, à la féverole, et au lupin. La principale caractéristique de ces graines est leur teneur élevée en protéines (20-40%). Ces protéines sont généralement riches en acides aminés indispensables et en particulier en lysine, mais elles sont relativement pauvres en acides aminés soufrés et en tryptophane. Les graines de légumineuses peuvent se répartir en deux groupes. Le premier groupe correspond à des graines riches en amidon (40-50%) et pauvres en matières grasses (1-3%), c'est le groupe le plus important et il rassemble le pois, la féverole, les haricots, le pois chiche et les lentilles. Le second groupe correspond à des graines plus riches en matières grasses et contenant peu d'amidon. Ce groupe rassemble notamment le lupin et le soja qui contiennent respectivement 10 et 20% d'huile. Les graines de légumineuses constituent également une source importante de fibres, ainsi que de minéraux (fer, zinc, calcium. ...).

Beaucoup de légumineuses (surtout les variétés tropicales) contiennent des facteurs antinutritionnels tels que les inhibiteurs de protéases, les lectines, les saponines, l'acide phytique, des alcaloïdes et des tanins. Présents en grande quantité ces composés peuvent entraîner une réduction de l'ingestion, de la digestion des aliments ou de l'absorption des nutriments, ce qui peut réduire les performances de croissance en élevage. Les lectines (hémagglutinine) à des niveaux élevés peuvent provoquer des diarrhées et la mort. L'effet de la présence de ces facteurs antinutritionnels est surtout marqué chez animaux monogastriques et l'homme, il l'est moins chez les ruminants pour lesquels l'activité microbienne dans le rumen peut inactiver certains composés toxiques tels que les inhibiteurs de protéases. Il est également plus marqué en élevage qu'en alimentation humaine qui est généralement très diversifiée, contrairement aux rations des animaux d'élevage. Enfin il faut noter que la plupart de ces facteurs antinutritionnels peuvent être inactivés par un traitement thermique. Chez l'homme des doses modérées de certaines de ces facteurs

antinutritionnels pourraient même avoir des effets bénéfiques pour la santé (prévention des maladies cardiovasculaire ou des cancers).

Intérêt en nutrition animale

Les légumineuses riches en amidon peuvent être utilisées en l'état en alimentation animale, par contre celles qui sont riches en huile, à l'exception du lupin, doivent être triturées pour en extraire l'huile et les rendre compatible aux recommandations de rationnement des animaux d'élevage. Contrairement aux graines de soja qui contiennent de fortes quantités d'inhibiteur de protéase, responsable d'une importante réduction de la digestibilité des nutriments, les autres graines telles que le pois, la féverole et le lupin peuvent être utilisées crues. Cependant en raison de sa forte teneur en protéines et de son très bon équilibre en acides aminés indispensables, le soja sous la forme de tourteau (dans lequel les facteurs antinutritionnels sont en grande partie inactivés) bénéficie d'une grande polyvalence, ce qui explique son usage prépondérant dans les rations très concentrées des animaux jeunes à forts potentiel de croissance. Chez le porc, le pois peut se substituer au tourteau de soja, sous réserve de régimes équilibrés en acides aminés digestibles (et notamment en tryptophane). Chez les volailles, pois et féverole peuvent également être incorporés jusqu'à 15-20% dans les régimes, mais ne sont généralement intégrés que dans des formules à concentration azotée moindre telles que celles des volailles à croissance lente et des pondeuses. Pour les poissons, les graines de légumineuses représentent des sources de protéines intéressantes pouvant se substituer partiellement aux farines de poissons. Chez les ruminants, les protéines des graines crues sont très solubles et dégradables dans le rumen, ce qui limite leur valeur azotée. Cette dégradabilité peut cependant être fortement abaissée par des traitements tels que la trituration, l'extrusion ou le toastage. Chez ces animaux l'équilibre en acides aminés est moins crucial que pour les monogastriques sachant que plus de la moitié de l'apport en acides aminés est lié à la biomasse microbienne générée dans le rumen. Le soja, sous forme de tourteau, est la graine de légumineuse la plus utilisée dans le monde pour la nutrition des herbivores, mais la pratique montre que le pois, la féverole et le lupin peuvent être introduites de manière significative dans les rations des ruminants sans pénaliser les performances.

Intérêt en nutrition humaine

En nutrition humaine, les graines de légumineuses font partie des féculents, à ce titre elles peuvent être présentes dans chacun de nos repas, avec une consommation minimale recommandée de 2 portions (60-80 g) par semaine. Un de leurs atouts est leur faible index glycémique. Les études récentes confortent l'intérêt des légumineuses, en mettant en évidence de nouvelles propriétés, notamment des fibres (solubles et insolubles) et des constituants bioactifs. L'effet hypocholestérolémiant des fibres solubles des légumineuses a été clairement démontré. Quant aux fibres insolubles, leur fermentation conduit à un composé, le butyrate, qui explique en partie l'effet des graines de légumineuses dans la prévention des cancers colorectaux. De plus ces graines contiennent une grande variété de phytomicronutriments ayant des propriétés antioxydantes ou anticarcinogènes, chaque variété possédant une spécificité propre dans ce domaine. En raison de leur forte teneur en protéine, les graines de légumineuse constituent une alternative intéressante aux protéines animales. Même si leur équilibre en acides indispensables n'est pas aussi bon que celui de ces dernières, leur combinaison entre elles, ou avec des céréales, peut permettre d'assurer un apport protéique de qualité. Au-delà de la composition en acides aminés, les graines de légumineuses présentent une très bonne digestibilité, les facteurs antinutritionnels qui pourraient affecter cette digestibilité étant efficacement éliminés par la cuisson. Enfin pour chacune des variétés, la séparation technologique des principales protéines (albumines et globulines) produit des fractions de composition en acides aminés très contrastées. Cette diversité permet d'envisager la recombinaison d'ingrédients protéiques de qualité optimisée (enrichis en acides aminés spécifiques, possédant un rôle signal ou fonctionnel particulier), utilisable dans la formulation de produits alimentaires destinés à des populations ciblées, telles que les personnes âgées ou les sportifs, y compris dans les gammes de produit sans gluten.

Le pois, espèce modèle ?

J. Burstin, N. Tayeh, A. Klein, J. Kreplak, F. Jacquin, S. Alves-Carvalho, C. Aluome, S. Carrère, J. Gouzy, C. Cruaud, P. Wincker, D. Brunel, M. Falque, M-C. Le Paslier, G. Aubert

INRA, UMR1347 Agroécologie, BP 86510, 21000 Dijon, France

Dès avant la découverte par Gregor Mendel des lois de la génétique il y a près de 150 ans, le pois a été un modèle pour les généticiens et les physiologistes des plantes. De nombreuses mutations modifiant le développement des plantes, y compris des mutations affectant la symbiose fixatrice d'azote ont été décrites et cartographiées. De même, l'analyse des variations de caractères d'intérêt agronomique a permis de localiser de nombreuses régions chromosomiques impliquées dans les variations de ces caractères. En s'appuyant sur d'importantes ressources génétiques générées ces dernières années, nous avons notamment identifié des régions génomiques contrôlant les composantes du rendement, la qualité des graines et la tolérance à divers stress. Mais malgré son rôle historique significatif dans la découverte des lois de l'hérédité, le pois était jusqu'à récemment une espèce orpheline de la génomique. Les clés pour déchiffrer l'impressionnante diversité phénotypique présente dans cette espèce ont longtemps manqué. Sous l'impulsion des projets nationaux et internationaux ambitieux et grâce aux innovations technologiques et informatiques récentes, ces clés sont aujourd'hui disponibles. Les ressources génomiques et post-génomiques produites sont utilisées dans le cadre de différents projets (en particulier le projet d'Investissement d'Avenir PeaMUST) ayant pour objectif le développement de cette culture aux multiples atouts environnementaux et nutritionnels.

Références :

Tayeh N, Aubert G., Pilet-Nayel M-L, Lejeune-Hénaut I, Warkentin TD and Burstin J (2015) Genomic Tools in Pea Breeding Programs: Status and Perspectives. *Front. Plant Sci.* 6: 1037.

Tayeh N, Aluome C, Falque M, Jacquin F, Klein A et al. (2015) Development of two major resources for pea genomics: the GenoPea 13.2K SNP Array and a high-density, high-resolution consensus genetic map. *The Plant Journal* 84: 1257–1273.

Tayeh N, Klein A, Le Paslier M-C, Jacquin F, Houtin H, et al. (2015) Genomic Prediction in Pea: Effect of Marker Density and Training Population Size and Composition on Prediction Accuracy. *Front. Plant Sci.*, 6:941.

Alves-Carvalho S, Aubert G, Carrère S, Cruaud C, Brochot A-L et al. (2015) Full-length de novo assembly of RNA-seq data in pea (*Pisum sativum* L.) provides a gene expression atlas and gives insights into root nodulation in this species. *The Plant Journal* 84:1–19.

Des légumineuses pour refonder des systèmes de grande culture plus durables adaptés au changement climatique et permettant le développement de l'agro-écologie.

Jacques Wery

*Montpellier SupAgro (Chaire AgroSYS et UMR System) - 2 Place Viala 34060 Montpellier Cedex 2
France - jacques.wery@supagro.fr*

S'il est une cause susceptible de fédérer les énergies de la recherche et des professionnels des filières et des territoires agricoles en France et dans le monde c'est bien celle de la re-conception de systèmes agricoles durables. Ceci suppose de penser, de conduire et d'évaluer les systèmes de culture et d'élevage et leur trajectoire dans un espace à quatre dimensions fixant des objectifs de performances économiques, environnementales et sociales ainsi que les institutions nécessaires pour appuyer ces transitions (Magrini et al., 2015). Le changement climatique est un élément incontournable qui fixe à la fois le contexte de ces dynamiques (évolution du climat et besoin d'adaptation des systèmes) et les objectifs de l'axe environnemental (réduction des gaz à effet de serre et séquestration du carbone). Dans la plupart des pays il faut en même temps accroître la quantité et la diversité des productions alimentaires tout en réduisant les intrants biophysique des systèmes de culture compte-tenu de leur empreinte environnementale sur l'eau, la biodiversité et la consommation énergétique. Dans tous les cas le travail est une variable incontournable des performances économiques et sociales ce qui a conduit dans les systèmes de grande culture à une mécanisation de toutes les opérations culturales sur laquelle il n'y aura pas de retour en arrière.

Les travaux de recherche en agro-écologie et les pratiques des agriculteurs en agriculture biologique, de conservation ou intégrée convergent tous sur l'idée que cette re-conception de systèmes de culture plus durables repose sur deux piliers incontournables : la qualité du sol et la diversification des successions culturales et plus particulièrement par les légumineuses. Force est de constater cependant qu'en dépit des qualités indéniables de ces cultures (Schneider et Huyghe, 2015) leur contribution aux assolements de grande culture reste depuis 30 ans cantonnée dans la plupart des systèmes à quelques % de la surface cultivée en céréales. Et si nous faisons fausse route dans la façon de considérer ces « merveilleuses légumineuses » et leur contribution à des systèmes de culture plus durables ? Pour ouvrir le débat nous proposons de changer de point de vue en repensant l'innovation et l'accompagnement institutionnel des légumineuses autour de 5 principes que nous illustrerons sur l'exemple du pois chiche et de la luzerne en France.

1. Remettre la symbiose à sa place. Les légumineuses sont uniques dans les espèces cultivées, grâce à leur capacité à fixer l'azote de l'air par la symbiose avec des bactéries (rhizobium), ce qui leur permet de ne pas être en situation de carence en azote une fois les réserves de la graine et l'azote minéral du sol consommés (Voisin et Gastal, 2015). Ceci implique que la contribution majeure de cette symbiose à la réduction des engrais azotés dans les systèmes de culture est d'introduire dans les successions une culture qui peut accumuler autant d'azote que des céréales sans aucun apport d'engrais azoté. Une légumineuse introduite dans une rotation colza-blé-orge peut ainsi permettre de réduire d'un quart l'utilisation moyenne annuelle d'engrais en maintenant le même rendement sur ces 3 cultures. La légumineuse peut aussi apporter une deuxième fois de l'azote à la culture qui la suit mais cela ne leur est pas spécifique car on le doit principalement à l'azote résiduel des pailles et des racines. Par ailleurs les effets assez systématiquement positifs des légumineuses sur le rendement des céréales suivantes sont tout autant attribuables à la rupture des cycles des bioagresseurs et des adventices qu'à cette fourniture d'azote (Jeuffroy et al., 2015).

2. Les services attendus des légumineuses sont pour beaucoup dépendants de leur productivité en biomasse. Comme le montrent de nombreux travaux de recherche le potentiel de fixation d'azote d'une culture de légumineuse à l'échelle de son cycle est surtout dépendant de sa capacité à produire de la biomasse qui conditionne la demande en azote et donc l'activité des nodosités (Gregory et al., 2000). Passer d'un semis traditionnel de printemps à un semis d'automne peut par exemple permettre à une même variété de pois chiche de fixer 2 à 10 fois plus d'azote en situation de déficit hydrique (Beck et al., 1991). De même la contribution des légumineuses à la couverture des sols ou à leur enrichissement en matière organique passe par l'établissement de couverts à forte production de biomasse et dont l'indice de récolte en azote n'est pas trop élevé, ce qui disqualifie par exemple le pois chiche au profit de la lentille ou de la fève.

3. Penser l'innovation dans la succession culturale plutôt que dans la culture de légumineuse. Pour des raisons économiques et agronomiques les légumineuses resteront encore pour longtemps plus limitées que les cultures « établies » sur les marchés et dans les institutions. On peut donc faire l'hypothèse qu'elles se développeront d'autant plus dans les systèmes de culture qu'elles auront été pensées non pas en tant que culture en compétition avec une autre mais comme leviers de rupture vers plus de durabilité dans ces systèmes (Wery et Alhawat, 2008). Outre leur contribution à la limitation de l'utilisation des engrais azotés, voire phosphatés, la plus value des légumineuses doit se construire aussi par exemple dans la réduction de l'utilisation des herbicides comme le montre la luzerne dans les systèmes en bio ou l'intérêt du pois chiche pour introduire une culture de printemps dans des successions dominées par les cultures d'hiver.

4. Abandonner le paradigme de l'espèce modèle. Depuis 30 ans tous les plans de développement des cultures de légumineuses en France et en Europe ont mis l'accent sur le choix d'une espèce ou d'un petit nombre d'espèces en essayant de l'adapter par la génétique et la conduite des cultures à la diversité des régions, des exploitations et des filières, et en se centrant par ailleurs sur l'alimentation animale. Au moment où on met en avant la diversification des services attendus des légumineuses (alimentation humaine, plantes de couverture...) et l'adaptation au local qu'implique l'agro-écologie, l'alternative serait dans une R&D valorisant la diversité de la vingtaine d'espèces de légumineuses à graines adaptées à la culture en France appuyée par une recherche accélérant les transferts entre espèces par les outils modernes que sont par exemple la sélection génomique et la modélisation des systèmes.

5. Penser l'innovation aux interfaces systèmes alimentaires – systèmes agricoles. En trente ans les légumineuses ont été regardées successivement pour leur capacité à produire des protéines pour les systèmes d'élevage, pour leur contribution à la limitation des impacts environnementaux des systèmes céréaliers et plus récemment pour leur contribution à l'innovation dans les produits et systèmes alimentaires. L'exemple des pâtes aux légumineuses suggère par exemple que l'innovation pour plus de durabilité pourrait émerger plutôt d'une approche systémique allant du champ à l'assiette.

Beck, D.P. et al., 1991. *Agronomy Journal* 83 : 334 - 341.

Gregory P.J. et al., 2000. Pp 335-346 in « Linking Research and Marketing Opportunities for Pulses in the 21st Century » R. Knight (Ed.). Kluwer Academic Publishers (The Netherlands).

Jeuffroy M.H. et al., 2015. Pp 139-223 in Schneider et Huyghe, 2015.

Magrini M.B. et al., 2015. Pp 339-413 in Schneider et Huyghe, 2015.

Schneider A. et C. Huyghe, 2015. *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables*. Editions Quae, Versailles. 473 p.

Voisin A.S et F. Gastal, 2015. Pp 79-138 in Schneider et Huyghe, 2015.

Wery, J. et Ahlawat, I.P.S., 2008. Pp 820-836, in Karkwal, M.C. (Ed.) *Food Legumes for Nutritional Security and Sustainable Agriculture*. Vol. 1.: Indian Society of Genetics and Plant Breeding (India).

La réintroduction des légumineuses fourragères dans les systèmes d'élevages : quels marchés, valeur ajoutée et besoins de réorganisation à l'échelle des exploitations et des territoires ?

Jérôme Pavie

IDELE Institut de l'Elevage, Route d'Epinay, 14310 Villers Bocage

Une utilisation ancienne, mais une place variable au cours du temps

Les légumineuses constituent une grande famille botanique dans laquelle se distinguent deux catégories : les légumineuses à graines et les légumineuses fourragères. Ces dernières sont cultivées pour leurs parties aériennes tiges et feuilles, et plus particulièrement pour la richesse en protéines de leurs feuilles. Cette qualité les destine particulièrement à l'alimentation des herbivores et en première place celle des ruminants qui peuvent les consommer sous toutes leurs formes possibles pâturées ou fauchées.

Les légumineuses ont été depuis longtemps une composante des systèmes d'élevage et un pivot de l'agriculture. Leurs origines, et leurs premières utilisations cultivées, seraient localisées à l'est de la Méditerranée, au Proche Orient. La luzerne et certains trèfles auraient ainsi trouvé leur place dans les « proto systèmes d'élevage » dès le 4^{ème} millénaire avant JC (Bellon S, 1993).

Longtemps considérés comme indispensables aux systèmes d'élevage pour la production de fourrages riches en protéines mais aussi pour leurs rôles agronomiques et leurs capacités à fixer l'azote atmosphérique et contribuer ainsi à l'enrichissement naturel des sols, les légumineuses fourragères ont entamé un déclin régulier en Europe dès les années 1960. En France, leurs surfaces en cultures pures (luzerne, sainfoin, trèfle violet...) sont ainsi passées de plus de 3,3 millions d'hectares en 1960 à environ 365 000 ha aujourd'hui.

Cette réduction est un des effets de la révolution fourragère enclenchée dans les années 60. Elle est liée à deux changements majeurs : l'introduction des engrais azotés peu coûteux et aux effets spectaculaires et le développement d'un modèle fourrager basé sur le maïs ensilage parfaitement cohérent avec la disponibilité de tourteau de soja (Delaby *et al*, 2016).

Cependant, depuis le début des années 2000, les légumineuses fourragères semblent retrouver un intérêt et apparaissent même comme une réponse à de nouveaux enjeux. Le changement de contexte de production avec la mondialisation, la variabilité du prix des intrants (en lien avec celui de l'énergie), une demande mondiale en protéines végétales et animales forte (conséquence de l'augmentation de la population mondiale et de l'élévation du niveau de vie des pays dits émergents) constituent une partie des facteurs explicatifs. Les systèmes d'élevage se trouvent bousculés, fragilisés économiquement, avec des coûts de production qui augmentent et une rémunération de ses acteurs qui ne se maintient qu'au prix d'une productivité humaine de plus en plus élevée. Il faut y ajouter ceux liés à l'environnement avec le constat des impacts négatifs de certaines pratiques agricoles autour des modèles les plus productifs et les conséquences déjà ressenties du réchauffement global qui imposent des adaptations.

Tous ces éléments de contexte, ont conduit à réfléchir à une nouvelle forme de production agricole, plus en phase avec les aspirations et les demandes de la société. Il s'agit de concevoir une agriculture à la fois plus respectueuse de l'environnement, de la qualité des produits, du bien-être animal, mais toujours apte à satisfaire les besoins d'une population mondiale en augmentation. L'ambition est donc aujourd'hui de produire plus en produisant mieux. C'est que les concepts d'agro écologie ou de triple performance visent à mettre au point.

Une redécouverte des intérêts des légumineuses, perceptible dans les systèmes fourragers des éleveurs

Dans ce contexte, l'intérêt des éleveurs pour les légumineuses ressurgit. Leurs motivations sont principalement d'ordre économique : réduction des coûts de production, recherche d'autonomie face aux intrants et la variabilité des cours des matières premières, mais aussi parfois d'ordre agronomique (allongement de rotation, amélioration des sols) ou environnementaux : traçabilité non OGM, réponse aux aléas climatiques et recherche de sécurisation des systèmes fourragers, réduction des apports de fertilisants...

La grande diversité des légumineuses est aujourd'hui pour eux un atout face à ces enjeux. Si trois espèces dominent aujourd'hui le marché des légumineuses fourragères : luzerne, trèfle blanc et trèfle violet, il existe pourtant d'autres espèces comme les sainfoins, les lotiers, la minette, ... que l'on regroupe sous les termes de "légumineuses secondaires" ou encore de "petites légumineuses". L'utilisation de ces espèces dans les prairies temporaires est aujourd'hui le plus souvent réservée à des mélanges multi-espèces dans lesquels la recherche de diversité dans les composants du mélange est présentée comme un atout permettant de renforcer les

potentialités agronomiques et zootechniques de ces mélanges. La "grande famille" des légumineuses est riche d'une diversité importante tant du point de vue de l'adaptation des espèces à des contextes pédoclimatiques diversifiés que de leurs utilisations potentielles dans les systèmes fourragers. Cette diversité peut s'avérer pertinente à mobiliser dans les prairies d'association ou multi-espèces (Pierre P *et al*, 2016).

Ainsi, l'augmentation de la part des légumineuses dans les mélanges prairiaux, est passée de 11% sur la campagne 2004/2005 à 30% sur la campagne 2014/2015 (source GNIS, 2015). Selon les données publiées par Agreste en 2006, près de 70% des prairies temporaires semées seraient des mélanges de graminées et légumineuses (Huyghe et Delaby, 2013). Ce phénomène qui traduit clairement la redécouverte des intérêts agronomiques et zootechniques des légumineuses, s'accompagne également du développement des productions fourragères annuelles, notamment les méteils qui associent des céréales à une légumineuse (vesces/pois) et de l'émergence de nouveaux mélanges protéagineux/protéagineux (pois protéagineux/féverole) destinés à être ensilés. On peut enfin constater un regain d'intérêt et de questionnements autour des légumineuses annuelles moins connues utilisées dans les mélanges fourragers de courte durée ou en interculture (trèfle incarnat).

En Europe, en dehors des principales espèces de légumineuses fourragères utilisées (luzerne, trèfle violet, trèfle blanc), il existe aussi une grande diversité d'espèces qui peuvent présenter un intérêt pour les besoins de l'élevage de demain : luzernes annuelles, trèfle de Micheli, d'Alexandrie, de perse....

Autant de solutions, de compositions et de combinaisons possibles pour s'adapter aux attentes des éleveurs pour leurs prairies temporaires (contexte pédoclimatique, durée de la culture, mode d'exploitation).

Des difficultés persistantes, surtout d'ordre technique

Cependant la culture des légumineuses fourragères et leur place dans les systèmes d'élevage se heurtent encore à quelques difficultés techniques. Lorsqu'il s'agit de cultures pures pluriannuelles, les soles disponibles restent souvent limitées dans les exploitations d'élevage et conduisent à une reconception possible du système fourrager et des choix culturels. Pour la luzerne et d'autres espèces, les interrogations demeurent sur les techniques de récoltes efficaces, sans oublier les limites liées à l'hydromorphie ou l'acidité de certains sols qui rendent ces cultures hasardeuses. Les interrogations des éleveurs portent également sur la pérennité, l'efficacité de la fixation symbiotique selon les conditions de production, la gestion optimale de la fertilisation, les implantations et surtout sur les compositions de mélanges prairiaux incorporant des légumineuses. Le questionnement autour des prairies multi espèces renvoie également à la sociabilité des espèces, leurs capacités à cohabiter et à maintenir des proportions importantes et contributrices pour chacune d'entre elles. Un sujet de recherche qui reste entier.

Un intérêt économique variable, difficile à mesurer

Les approches économiques sur l'intérêt de réintroduire des légumineuses fourragères ont principalement été conduites par simulations. Pour les exploitations de grandes cultures leur réintroduction permet de réduire les coûts de fertilisation azotée ainsi que de phytosanitaires. Elles donnent de la robustesse aux systèmes (Bossis *et al*, 2016). L'intérêt économique est souvent positif mais fortement dépendant de la mise en place de contrats de production stables ou d'organisation collectives assurant un débouché vers des systèmes d'élevage. En exploitations d'élevage, les différentes études portant sur la réintroduction des légumineuses montrent une incidence neutre à positive et directement liée au prix du correcteur azoté acheté, des rendements obtenus, et de la marge dégagée par les cultures qu'elles remplacent. Cependant, la plupart de ces études ne prennent pas en compte les arrière-effets sur les cultures suivantes, les éventuels effets sur la qualité sanitaire de la ration et la santé du troupeau, sur la composition du lait.

Un développement qui devra être accompagné par une politique publique volontariste

Le regain d'intérêt que connaissent aujourd'hui les légumineuses fourragères auprès des éleveurs semble s'inscrire comme une réponse à de nombreux enjeux agronomiques, zootechniques, environnementaux et sociétaux si nous persistons dans un modèle de production agro écologique. Cependant, les obstacles techniques existent, tout comme la difficulté au changement de la plupart des éleveurs. Par ailleurs, l'intérêt économique de leur réintroduction reste limité et fragile, principalement conditionné par le prix relatif des intrants de substitution. Pour assurer un développement massif des légumineuses fourragères, il faudra des messages clairs à destination des éleveurs, les confortant dans leurs choix et leurs évolutions. Les leviers majeurs résident sans doute dans la reconnaissance officielle des atouts environnementaux de ces cultures. Une reconnaissance possible au sein du second pilier de la PAC à condition d'accepter de rémunérer les services écosystémiques des légumineuses fourragères.

Raisonner l'utilisation des légumineuses ligneuses dans les opérations de reboisement et/ou de réhabilitation des sols dégradés en milieu méditerranéen et tropical

Duponnois, R.^{1*}, Thioulouse, J.², Baudoin, E.¹, Le Roux C.³, Galiana A.³ & Prin Y.³

¹IRD, UMR LSTM, F-34398 Cedex 5, Montpellier, France.

²Université Lyon 1, CNRS, UMR5558, Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive, F-69622 Villeurbanne, France

³CIRAD, UMR LSTM, F-34398 Cedex 5, Montpellier, France.

Dans de nombreuses régions du globe, l'impact anthropique sur l'environnement naturel s'est rapidement accru au cours du siècle dernier (croissance démographique, expansion agricole, etc) et combiné aux aléas climatiques (longues périodes de sécheresse, pluies irrégulières, etc), a abouti à une diminution significative des ressources naturelles terrestres. Il en résulte que 1/3 de la superficie des terres émergées du globe est menacé par la désertification (UNEP-WCMC, 2002). Ce processus de désertification est accéléré par la déforestation du milieu (14 millions d'ha de forêts sont détruites chaque année) particulièrement exacerbée dans les zones tropicales et méditerranéennes (FAO, 2000). Outre la perte de biodiversité végétale et animale, la paupérisation du couvert forestier se traduit par une aggravation des phénomènes d'érosion (éolienne et hydrique) qui appauvrissent le sol en éléments chimiques (phosphore, azote) mais altèrent également la diversité génétique et fonctionnelle des communautés microbiennes du sol. Or il est maintenant parfaitement connu que ces microorganismes jouent un rôle majeur dans le fonctionnement des sols et dans la structuration de la strate épigée (productivité et structure de l'écosystème végétal). Parmi les composantes de la microflore du sol figurent les champignons mycorhiziens et les bactéries fixatrices d'azote (Rhizobia) qui de part les associations symbiotiques contractées avec les plantes, ont une influence fondamentale dans la dynamique spatio-temporelle des écosystèmes végétaux.

Compte tenu de cet état d'urgence, de nombreux programmes de reboisement ont été entrepris dans les zones tropicales et méditerranéennes en utilisant des essences forestières à croissance rapide (Ex : Eucalyptus, Pins exotiques, Acacias australiens) qui présentent généralement des capacités remarquables d'adaptation aux conditions drastiques du milieu (carences minérales des sols, irrégularité des précipitations, etc). Dans les années 70, des plantations expérimentales ont été mises en place en Afrique de l'Ouest afin d'évaluer le potentiel d'arbres fixateurs d'azote (Ex : Acacias australiens) dans la production de biomasse ligneuse (Ex : bois à usage domestique) ou dans leur utilisation dans l'établissement de haies brise-vent. Les espèces issues du Nord/Ouest de l'Australie ont été choisies du fait des similitudes entre le climat de cette partie du continent australien à celui rencontré au Sahel. Par exemple, l'espèce d'Acacia australienne, *A. holosericea*, a montré de réelles capacités d'adaptation aux conditions environnementales du Niger en ayant une croissance rapide couplée à un faible taux de mortalité.

En établissant des symbioses bactériennes et mycorhiziennes, ces essences ligneuses disposent des adaptations nécessaires et suffisantes pour pouvoir croître sur les sols très ingrats appauvris en minéraux. Il est alors possible également d'améliorer la composition des cortèges rhizobiens et mycorhiziens associés à l'arbre introduit afin d'augmenter les performances de ce type de plantation en termes de production de biomasse mais également de limitation des phénomènes d'érosion. De nombreuses expériences ont clairement montré que la mycorhization contrôlée ou l'inoculation de souches de rhizobia performantes pouvait améliorer significativement la croissance de l'arbre (Duponnois et al, 2005 ; 2007).

La performance de ce type d'introduction a généralement été évaluée en termes de production de biomasse mais son impact sur certaines caractéristiques du milieu (Ex : caractéristiques microbiennes des sols) a généralement été ignorée et reste encore à l'heure actuelle peu décrite dans la littérature scientifique. Or, l'introduction de ces essences exotiques a fréquemment été justifiée par la nécessité de reboiser le milieu mais aussi de le réhabiliter afin de permettre aux essences natives de recoloniser le milieu. Cette re-appropriation des zones dégradées par la flore locale est assujettie à des teneurs appropriées en éléments bio-disponibles pour la plante (Ex : phosphore, azote) mais aussi à la présence dans le sol de symbiotes fongiques et bactériens dont l'abondance et la diversité constituent des paramètres fondamentaux dans la productivité et la stabilité de la strate végétale épigée. Toutes modifications des caractéristiques chimiques et microbiologiques du sol pourraient ainsi ralentir ou même annihiler le processus de recolonisation du milieu par la flore locale. Or il a été démontré que ces espèces exotiques induisaient de profondes modifications dans la composition de la microflore du sol susceptible de menacer la régénération naturelle des espèces endémiques du milieu d'introduction (Boudiaf et al., 2013).

Cette communication a pour objectifs d'établir un état des lieux sur la distribution géographique des introductions d'acacias d'origine australienne, (ii) de montrer qu'une gestion appropriée des symbiotes microbiens associés peut améliorer de manière spectaculaire leur croissance dans leur aire d'introduction mais également (iii) de montrer les risques potentiels de ces introductions sur la composition des communautés de symbiotes microbiens et les éventuels risques pour la conservation des ressources végétales du milieu.

Références

- Boudiaf, I., Baudoin, E., Sanguin, H., Beddiar, A., Thioulouse, J., Galiana, A., Prin, Y., Le Roux, C., Lebrun, M. & Duponnois, R. (2013). The exotic legume tree species, *Acacia mearnsii*, alters microbial soil functionalities and the early development of a native tree species, *Quercus suber*, in North Africa. *Soil Biology and Biochemistry*, 65: 172-179.
- Duponnois, R., Founoune, H., Masse, D. & Pontanier, R. (2005). Inoculation of *Acacia holosericea* with ectomycorrhizal fungi in a semi-arid site in Senegal: growth response and influences on the mycorrhizal soil infectivity after 2 years plantation. *Forest Ecology and Management*, 207: 351-362.
- Duponnois, R., Plenchette, C., Prin, Y., Ducouso, M., Kisa, M., Bâ, A.M. & Galiana, A. (2007). Use of mycorrhizal inoculation to improve reforestation process with Australian *Acacia* in Sahelian ecozones. *Ecological engineering*, 29: 105-112.
- FAO, 1990-2000, dans WWF, UNEP, WCMC et GFN (2004) Living planet report 2004, WWF: Gland
- UNEP-WCMC (2002) World Atlas of Biodiversity. Disponible sur <http://stort.unep-wcmc.org/imaps/gb2002/book/viewer.htm>

Les tendances de consommation et d'utilisation des protéines végétales en agroalimentaire.

Pingel A. INVEJA –

Terrena Directrice R&D et marketing stratégique

INVEJA, issu de la fusion de 2 entités du groupe TERRENA a pour objectif de sélectionner, produire et transformer des matières premières végétales en ingrédients nutri-fonctionnels à destination des industries agroalimentaires.

- **Les attitudes des consommateurs face aux produits riches en protéines végétales**
 - Dans les pays riches, baisse de la consommation de viande amorcée depuis les années 80. Quels sont les leviers qui font passer les mangeurs des pays développés d'une alimentation riche en protéines animales vers une alimentation plus variées en sources protéiques ?
 - Comment expliquer d'un point de vue sociologique la tendance du flexitarisme ?
- **La perception des consommateurs français et dans le monde vis-à-vis des protéines végétales**
 - Pour les français, les aliments d'origine animale restent considérés comme les principales sources protéiques. Néanmoins les protéines végétales leur sont jugées complémentaires. Les principales raisons d'achat des protéines végétales sont: la curiosité et pour des raisons nutritionnelles. Elles renvoient une image positive pour la santé, indispensables pour tous, eco-respectueuses et qualitatives.
 - Elles restent cependant mal connues sauf auprès des végétariens. Les principaux freins d'achat: pour des raisons de goût, de non habitude de consommation et de confiance dans ces produits
- **L'utilisation des protéines végétales dans les applications agroalimentaires dans le monde:**
 - Les protéines végétales sont de plus en plus utilisées dans toutes les catégories de produits alimentaires pour leurs fonctionnalités et leurs qualités nutritionnelles, ainsi que pour leur coût
 - Des différences subsistent sur l'origine de la protéine alimentaire en fonction des applications ciblées ainsi qu'en fonction des pays utilisateurs.
 - Le champion de la protéine végétale est le soja à l'exception car celui-ci utilisé de façon traditionnelle en Europe et Amérique du Nord dans les produits de boulangerie mais d'autres sources de protéines émergent pour des raisons de goût, de fonctionnalité, d'allergénicité et de défiance des consommateurs vis-à-vis des OGM.

Synthèse réalisée grâce aux éléments fournis par Jean-Louis Lambert sociologue et économiste de l'alimentation, l'étude de perception des protéines végétales par les consommateurs français conduite par le GEPA ainsi que des informations issues de la base de données Mintel.

Quelles innovations pour combiner productivité et valeur d'usage des légumineuses à graines dans les systèmes agricoles et agro-alimentaires ?

Marie-Benoît Magrini, INRA, et Anne Schneider, Terres Inovia.

Avec les contributions Mathieu Godet (Terres Inovia), Nathalie Blosseville et Françoise Labalette (Terres Univia).

Contacts : mbmagrini@toulouse.inra.fr, a.schneider@terresinovia.fr

Malgré leurs atouts agro-environnementaux et nutritionnels, les légumineuses à graines sont peu présentes dans les assolements des grandes cultures françaises (moins de 2%) et leurs usages réduits. Elles sont de moins en moins utilisées dans l'alimentation animale (de plus de 3 million de tonnes utilisées à la fin des années 1980 à moins de 500 000t aujourd'hui) et très peu développées dans l'alimentation humaine (les français en consomment moins de 2 kg/an/hab, un niveau de consommation parmi les plus faibles au monde). Si l'on souhaite mieux exploiter leurs atouts au sein de systèmes agricoles et alimentaires durables, il est indispensable de mieux cerner les spécificités de ces productions et produits, et de combiner un ensemble d'innovations à la fois techniques, de produit, organisationnelles et institutionnelles pour lever les freins actuels à leur production et usages (Magrini et al. 2016, 2015)..

4. Pourquoi n'y a-t-il pas plus de légumineuses cultivées en France alors qu'elles ont des intérêts pluriels ?

L'analyse détaillée des dynamiques socio-économiques du secteur replacé dans l'historique de la PAC (Magrini *et al.* 2015) montre clairement qu'un choix politique historique peut avoir des conséquences de très long terme, au-delà des effets de court terme visés, et que les effets s'imbriquent et s'auto-renforcent, nécessitant une approche systémique du changement. En effet les accords commerciaux d'après-guerre entre les États-Unis et l'Europe ont profondément impacté l'assolement des productions végétales françaises en défaveur des légumineuses. Le lancement du premier plan protéines à partir de la fin des années 1970 a permis le développement rapide des protéagineux, essentiellement du pois protéagineux, en France et en Europe, mais aussi du soja, notamment en Italie et en France. Mais cet effet n'a été que temporaire, le différentiel de compétitivité avec les espèces majeures (céréales majoritaires ou cultures industrielles) s'est accru pour l'agriculteur en défaveur des légumineuses, surtout en agriculture conventionnelle.

5. Enclencher et favoriser la transition

La transition vers plus de durabilité nécessite un engagement collectif et une approche systémique (Elzen et al. 2004). Si l'on veut que les légumineuses contribuent à produire plus de protéines végétales en France, alors il est nécessaire de soutenir un ensemble d'innovations, portées par des réseaux d'acteurs divers, de l'amont à l'aval. La mutualisation de différents débouchés (en alimentation animale, humaine et à l'export) peut contribuer à conforter des volumes plus importants et relancer des investissements sur ces espèces. Cette relance nécessite aussi de mieux organiser les filières.

Comme le système actuellement dominant est basé sur la maîtrise des intrants (sélection de variétés améliorées, application d'engrais et de produits phytosanitaires), on constate une frilosité de la production agricole à investir des cultures qui semblent « plus compliquées » à conduire et aux performances « plus variables ». Or l'ensemble des connaissances acquises jusqu'à présent sur les légumineuses (Schneider and Huyghe 2015) montre notamment que leur nutrition azotée, basée sur un processus biologique, nécessite d'être mieux pris en compte dans la conception et la gestion des systèmes de culture pour qu'ils soient multi-performants.

Si l'on veut utiliser les légumineuses dans les systèmes de grandes cultures comme source d'azote

pour la croissance des productions végétales (utile pour la durabilité de l'agriculture française), alors il est indispensable de favoriser :

- la réappropriation par le conseil agricole et les agriculteurs de compétences spécifiques sur le fonctionnement et le pilotage de systèmes incluant ces cultures
- la mobilisation de tous les acteurs pour imaginer et mettre en œuvre les leviers adéquats selon les situations.

6. Etablir des leviers efficaces et « durables »

Puisque la société, les politiques et certains acteurs agricoles souhaitent effectivement avoir cette source d'azote et de protéines en grandes cultures, l'INRA, l'interprofession et l'institut technique liés aux légumineuses annuelles proposent de cibler plusieurs leviers d'action :

- (i) Des innovations à l'amont pour renforcer le conseil technique : la priorité reste la conception et le pilotage des systèmes de cultures avec légumineuses. Les moyens doivent être basés sur l'accès facilité aux connaissances et leur co-appropriation pour pouvoir alors les adapter à chaque contexte.
- (ii) Des innovations à l'aval pour des produits agro-alimentaires à base de légumineuses attractifs pour le consommateur.
- (iii) Des innovations organisationnelles pour créer une mobilisation effective avec des synergies entre les acteurs des filières : coordination et accords, co-investissement (dont l'amélioration variétale, pour laquelle la taille réduite des programmes de sélection privés limitent la force du levier et creuse l'écart avec les autres cultures), partage de la prise de « risque » du changement, visibilité des marchés, donner un prix à la durabilité (marché carbone, affichage environnemental ou autre mécanisme), segmentation et gestion coordonnée des flux collectés.
- (iv) Des innovations institutionnelles : dont la mise en œuvre de nouvelles normes et recommandations qui favoriseront la production et l'usage de ces cultures.

Elzen, B., Geels, F. W., & Green, K. (Eds.). (2004). *System innovation and the transition to sustainability: theory, evidence and policy*. Edward Elgar Publishing.

Magrini, M.-B., Anton, M., Cholez C., Corre-Hellou, G., Duc, G., Jeuffroy, M.-H., Meynard, J. M., Pelzer, E., Voisin, A.-S., Walrand, S., 2016, Why are grain-legumes rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits? Analyzing lock-in in the French agrifood system., *Ecological Economics*, 126 : 152-162.

Magrini M.-B., Thomas A., Schneider A., 2015. Analyses multi-enjeux et dynamiques socio-économiques des systèmes de production avec légumineuses. In : *Schneider et Huyghe 2015 : Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables*. Éditions Quæ, Versailles, 473 pages.

Protéines végétales : atouts et freins à lever

Stéphane Walrand

INRA, Centre de Clermont-Fd/Theix, swalrand@clermont.inra.fr

Au niveau mondial, les protéines végétales représentent 65 à 70% des protéines destinées à l'alimentation humaine. On trouve parmi ces protéines une vingtaine d'espèces végétales incluant les céréales, les légumes et légumineuses, les racines et tubercules et les fruits. Dans les régions économiquement développées, les individus consomment de l'ordre de 100 à 120 g de protéines par jour, dont 35 % seulement proviennent des protéines végétales. Dans ces conditions, les problèmes de carence d'apport en protéines ou en acides aminés essentiels ne se posent généralement pas. L'utilisation de sources végétales pourrait néanmoins permettre de limiter la consommation d'aliments d'origine animale tout en apportant d'autres nutriments d'intérêt. Dans les pays à faible revenu, les habitants consomment 40 à 50 g de protéines par jour dont 83 % proviennent des protéines végétales ; la qualité devient alors un problème sensible. Il est à noter cependant que d'ici 2020, la consommation de viande dans les pays en développement augmentera en moyenne de plus 40% par rapport au niveau du début des années 1990.

La valeur alimentaire d'une protéine est définie par leur capacité à fournir des acides aminés pour les besoins de l'organisme pour la croissance et le renouvellement des protéines corporelles. La capacité des protéines alimentaires à assurer les besoins en protéines de l'organisme dépend donc de deux phénomènes dépendants. Le premier est la biodisponibilité de la protéine, c'est à dire la proportion des acides aminés disponibles après les processus de digestion et d'absorption et accessibles pour les phénomènes métaboliques tissulaires. Le second est l'efficacité de ces acides aminés à être utilisés pour répondre aux besoins spécifiques des tissus de l'organisme. La plupart des protéines animales (viande, œuf, lait) sont de bonne qualité alimentaire comme le montre le calcul du PDCAAS (protein digestibility corrected amino acid score qui rend compte de la composition en acides aminés essentiels et de la digestibilité). En effet ces protéines sont caractérisées par un score proche ou supérieur à 100% alors que les protéines végétales présentent des scores plus faibles. Ces valeurs sont dues aux déficiences en certains acides aminés essentiels, la lysine dans le cas des céréales, les acides aminés soufrés pour les légumineuses. La complémentarité entre les sources protéiques végétales doit donc être prise en considération afin d'améliorer le profil en acides aminés essentiels de l'aliment au regard des besoins humains. Cette complémentarité protéique, dont les répercussions nutritionnelles ont été très peu étudiées jusqu'ici, peut être atteinte par exemple par un mélange de protéines végétales comme des protéines de céréales et de légumineuses, ou encore par un mélange de protéines végétales et de protéines animales. Concernant la digestibilité, il existe un effet majeur des procédés de transformation sur la digestibilité des protéines de source végétale. Les traitements thermiques ou thermomécaniques mais aussi la fermentation permettent d'augmenter significativement le PDCAAS. Ces améliorations de la digestibilité s'expliquent à la fois par l'inactivation de certains facteurs antinutritionnels mais aussi par l'effet des procédés sur la structure globulaire des protéines en facilitant l'accès aux sites de protéolyse.

L'émergence de nouveaux produits alimentaires sources de protéines végétales représente un marché conséquent, intéressant fortement l'industrie agroalimentaire au niveau national et international. Le développement de ces nouveaux aliments devra prendre en considération les projections sur l'accroissement de la population mondiale, l'amélioration du niveau de vie des pays émergents mais aussi les contraintes nutritionnelles et environnementales. Au niveau national, ces nouveaux produits pourraient associer des légumineuses riches en protéines avec des céréales, en cohérence avec les consommations traditionnelles nationales.

Les aliments au soja : une longue histoire et un bel avenir

Gwénaële Joubrel

*Directrice Scientifique, Sojaxe (association française des fabricants d'aliments au soja) -
g.joubrel@sojaxe.com*

Alors qu'en Asie, les aliments au soja (tofu, tonyu ou jus de soja) sont consommés depuis plusieurs millénaires, ils ne sont arrivés en Occident qu'à la fin du 19^{ème} siècle. L'intérêt nutritionnel du soja (*Glycine max*) réside essentiellement dans sa richesse en protéines de bonne qualité nutritionnelle, et en lipides présentant un profil intéressant : faible teneur en acides gras saturés, majorité d'acides gras insaturés, dont une bonne proportion d'acides gras poly-insaturés.

L'une des raisons historiques de leur consommation en France est l'absence de lactose et de protéines de lait, permettant leur consommation chez des personnes présentant une intolérance à ce sucre ou une allergie aux protéines de lait. Ces caractéristiques expliquent le développement initial de boissons et de desserts fermentés de type « yaourts », ou de desserts texturés de type « crèmes dessert ». A l'origine, ces produits se présentaient comme des alternatives aux produits laitiers. Aujourd'hui, au-delà de toute problématique de santé, et du fait même de leurs caractéristiques nutritionnelles, ces produits sont consommés par des personnes en bonne santé qui cherchent à équilibrer leur alimentation, notamment à augmenter leur consommation en protéines végétales, souvent minoritaires dans notre alimentation, ou à diminuer leur consommation d'acides gras saturés et de cholestérol.

Avant d'en arriver à la situation actuelle, l'histoire occidentale et notamment française des aliments au soja n'a pas été de tout repos : après une période pendant laquelle il faut bien dire que la communication paraît les aliments au soja de vertus multiples pour la santé, ils ont traversé une période plus sombre, ponctuée notamment par le rapport de l'Afssa en 2005. Celui-ci, portant initialement sur les compléments alimentaires concentrés en isoflavones, a conduit à des recommandations de limitation de la consommation des aliments au soja pour certaines populations : les femmes à risque de cancer du sein et les enfants de moins de 3 ans. Même si l'Afssa reconnaissait déjà l'intérêt nutritionnel des aliments au soja, et même leur intérêt vis-à-vis de la santé cardiovasculaire, le doute était semé...

Avec plus de 2000 publications scientifiques par an, l'effet des aliments au soja fait partie des sujets les plus étudiés. Au cours des 10 dernières années, de nouvelles études scientifiques ont été publiées, apportant des résultats rassurants vis-à-vis de leur consommation chez l'enfant. De plus, fin 2015, l'EFSA a publié un rapport dont les conclusions sont favorables quant à l'incidence de la consommation d'isoflavones vis-à-vis du risque de cancer du sein.

Une page de l'histoire des aliments au soja se tourne donc : dans le contexte actuel où l'alimentation occidentale typique conduit le plus souvent à des apports excessifs en lipides et en graisses saturées, les atouts nutritionnels des aliments au soja justifient pleinement leur place au sein d'une alimentation diversifiée, contribuant à l'équilibre alimentaire et à la santé.

Même si leur consommation est relativement récente en France et encore modeste, elle se démocratise et s'intègre aux habitudes alimentaires des Français sans les bouleverser : les aliments au soja permettent de diversifier l'alimentation, sans se substituer de manière exclusive aux autres sources de protéines.

L'impact environnemental plus favorable des protéines végétales, dont le soja, les désigne de manière évidente comme l'une des solutions au défi que nous avons à relever pour nourrir plus de 9 milliards de personnes en 2050.

Communications orales

Efficacité d'utilisation du phosphore pour la fixation symbiotique d'azote et le couplage des cycles bio-géochimiques de N et P dans les agrosystèmes avec des légumineuses

J.J. Drevon^{1*}, L. Amenc¹, A. Bargaz², D Blavet³, O. Domergue⁴, C. Pernot¹ & M. Lazali⁵

¹INRA Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols & des Agroécosystèmes, 1 Place Viala, F34060, Montpellier, France. [*drevonjj@supagro.inra.fr](mailto:drevonjj@supagro.inra.fr)

²IRD Eco&Sols, 1 Place Viala, F34060, Montpellier, France

³Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Biosystems and Technology, PO Box 103, SE-230 53 Alnarp, Sweden.

⁴Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes, Campus International de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5, France.

⁵Université de Khemis Miliana, Route Theniet El Had, Soufay 44225 Ain Defla, Algérie.

Diminuer les engrais minéraux et produit phytosanitaires issus de la pétrochimie, devient essentiel pour la sécurité alimentaire et l'impact environnemental de la production agricole. Ceci implique de nouvelles orientations pour la sélection des légumineuses, en particulier dans les systèmes culturaux de production de grains. La faible disponibilité du phosphore dans près de 40% des terres cultivables de la planète limite le rendement des légumineuses, d'autant plus quand leur croissance dépend de la fixation symbiotique de N₂ (FSN). En conséquence notre objectif est d'accroître l'efficacité d'utilisation du phosphore (EUP) pour la FSN, et sa contribution au couplage des cycles bio-géochimiques de N et P par un cercle vertueux de fertilité qui serait associé à l'usage de symbioses à forte EUP pour la FSN. Cette hypothèse est étudiée dans le cadre de la stratégie de recherche interdisciplinaire du grand projet fédérateur FABATROPIMED d'Agropolis-Montpellier, dont l'objectif global est d'accroître les bénéfices écosystémiques des légumineuses pour les systèmes céréaliers, par une ingénierie des interactions entre les micro-organismes des sols et les légumineuses pour acquérir et utiliser plus efficacement l'azote et le phosphore. Les activités *in campo* de cette stratégie seront présentées selon une approche participative avec des géotypes de légumineuses contrastant en EUP pour la FSN dans des agroécosystèmes représentant diverses situations agroclimatiques et socioécologiques en zones méditerranéennes ou tropicales.

Mots clés (autres que dans le titre): fixation symbiotique de N₂, intensification écologique, phytate, rhizobia, rhizosphère.

Effet de la co-inoculation de souches de rhizobium et PGPR sur la croissance du haricot (*Phaseolus vulgaris*) en conditions semi-contrôlées

El Attar I1,2; Diouf B1; Thami Alami I2 and Aurag J1

1Laboratoire de Microbiologie et de Biologie moléculaire, Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université Mohammed V, BP 10 14, Rabat, Maroc.

2Institut Nationale de la Recherche Agronomique (INRA), B.P.415, Rabat, Maroc

La culture et la productivité du haricot vert au Maroc dépend en grande partie de la fertilisation chimique. Afin de diminuer l'utilisation des engrais chimiques nous préconisons leur remplacement, au moins partiellement, par des biofertilisants bactériens capables de contribuer efficacement à la nutrition et la croissance de cette légumineuse. Cette approche vise l'établissement d'un système biologique durable permettant la nutrition du haricot en s'appuyant sur la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique et la solubilisation des phosphates inorganiques.

La première partie de ce travail a consisté à évaluer le potentiel de certaines souches de rhizobactéries et de rhizobium isolés des nodules du haricot à mettre en œuvre un certain nombre d'activités biologiques potentiellement bénéfiques pour les plantes (effet PGP). Le deuxième volet a été dédié à une expérimentation sous serre pour examiner l'effet de différents inoculums bactériens sur la nodulation et la croissance du haricot vert. Les quatre meilleures souches de PGPRs et les trois isolats de rhizobium les plus efficaces ont été utilisés comme inoculums simples ou combinés. Trois traitements en phosphate ont été testés: 80 et 40 unités de phosphate soluble et 200ppm de phosphate insoluble (roche phosphatée broyée).

La récolte des plantes et les mesures des différents paramètres ont été effectuées 42 jours après le semis. Il a été montré que certaines combinaisons bactériennes présentent un effet positif sur la croissance du haricot, et que les résultats variaient en fonction du type de phosphate apporté.

Ainsi, sous des conditions optimales de fertilisation phosphatée (80 unités), la combinaison MS 2.T9/T1P21 était la plus efficace avec le haricot (amélioration de la nodulation et des poids secs des parties aériennes et racinaires). D'autre part, la même souche de rhizobium (MS 2.T9) combinée avec une autre rhizobactérie (M131) n'améliore que la nodulation et ce quelque soit la dose de phosphate soluble appliquée. Cependant pour les plantes de haricot fertilisées avec de la roche phosphatée, les meilleurs résultats ont été obtenus avec les combinaisons de souches contenant le rhizobium MS 4.11.

Mots clés autres que dans le titre : Inoculation, haricot, rhizobium, PGPR, solubilisation du phosphate

**Communication chimique chez le principal ravageur de féverole: *Bruchus rufimanus*.
Nouvelles perspectives de lutttes.**

Ené Leppik

La Bruche de la féverole est, en Europe, un ravageur important de la fève. Les larves endommagent les graines et diminuent leur valeur commerciale. Peu de connaissance porte sur la biologie et l'écologie de Bruche vis-à-vis de sa plante-hôte. Pour comprendre le rôle des signaux sémio-chimiques impliqués dans la colonisation de la plante-hôte, nous avons après avoir étudié le comportement de l'insecte, prélevé les composés organiques volatils (COV) émis par la féverole dans les conditions du champ. Les COV émis aux différents stades phénologiques de la plante ont été collectés par la technique de la SPME et identifiés en GC-MS. Les premiers résultats montrent qu'il est possible de développer un attractif pour ces insectes sur la base des COV identifiés.

Face au pois, qui fait le poids ? Hiérarchiser les rendements et les quantités en protéines de légumineuses à graines en Europe, Amérique du Nord et Océanie

Charles Cernay*, David Makowski & Elise Pelzer

UMR Agronomie, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval-Grignon, France

*Charles Cernay (Charles.Cernay@grignon.inra.fr)

Une augmentation de la production de légumineuses à graines permettrait à l'Union Européenne de réduire ses importations de soja tout en diversifiant ses systèmes céréaliers. Le pois (*Pisum sativum*) et, plus récemment, le soja (*Glycine max*) sont les légumineuses à graines les plus cultivées en Europe. Les autres espèces de légumineuses à graines sont cultivées sur des surfaces plus faibles. Une comparaison des rendements et des quantités en protéines d'une large diversité de légumineuses à graines peut aider les agronomes et les décideurs à identifier des espèces candidates à cultiver en Europe. Nous comparons le rendement et la quantité en protéines de 22 espèces de légumineuses à graines au pois. Nous réalisons une méta-analyse de données expérimentales issues de 61 articles en Europe mais également en Amérique du Nord et en Océanie—ces deux régions cultivant plus de légumineuses. Les données sont issues d'expérimentations en champ dans lesquelles au moins deux espèces de légumineuses à graines sont cultivées sur un même site durant une même saison culturale avec des mêmes traitements expérimentaux. Au total, 2 196 rendements d'espèce*site*saison culturale*traitement expérimental sont collectés. Les données sont analysées à l'aide de modèles linéaires mixtes qui permettent de hiérarchiser les rendements et les quantités en protéines des espèces de légumineuses par rapport au pois, et d'analyser l'incertitude dans les classements. La méta-analyse montre que la féverole (*Vicia faba*) et le soja présentent des rendements moindres et similaires au pois en Amérique du Nord et en Europe, respectivement. La féverole présente un rendement et une quantité en protéines supérieurs au pois en Océanie. Dans toutes les régions, le pois chiche (*Cicer arietinum*), la lentille (*Lens culinaris*), le haricot (*Phaseolus vulgaris*) ainsi que certaines espèces de lupin (*Lupinus* spp.) présentent des rendements moindres que le pois. Les mêmes résultats sont retrouvés avec les quantités en protéines, à l'exception de certaines espèces de lupin qui présentent des quantités en protéines similaires et supérieures au pois. Certaines espèces de gesse (*Lathyrus* spp.) et de vesce (*Vicia* spp.) en Amérique du Nord et en Océanie présentent des rendements et des quantités en protéines similaires et supérieures au pois, mais ces espèces ne sont pas comparées au pois en Europe. Bien que la féverole et le soja présentent des rendements et des quantités en protéines potentiellement intéressants en Europe, d'autres expérimentations agronomiques sont nécessaires pour les comparer à d'autres espèces de légumineuses peu cultivées.

Modélisation de l'opération de trempage-cuisson pour maîtriser la valeur nutritionnelle des légumineuses: exemple du pois chiche

A. Briffaz*, C. Mestres, N. Achir & P. Bohuon
aurelien.briffaz@cirad.fr
tél: +33 4 67 61 59 13

Les légumineuses telles que le pois chiche sont souvent pré-trempées (étape souvent longue) afin de lessiver les molécules indésirables comme certains facteurs antinutritionnels. Plusieurs phénomènes ayant un impact majeur sur les propriétés organoleptiques et nutritionnelles de la graine prennent place durant le procédé de cuisson à l'eau, dont la gélatinisation de l'amidon en fonction du couple teneur en eau/température, et la dégradation thermique des vitamines. L'étendue de ces phénomènes dépend fortement des conditions de cuisson et doit être contrôlée pour une maîtrise de la qualité. Par le biais d'une démarche couplée expérimentale et de modélisation, l'opération de trempage-cuisson du pois chiche a été optimisée afin de maximiser sa valeur nutritionnelle tout en garantissant un degré suffisant de cuisson et un temps réduit de préparation.

Dans ce projet, la variété de pois chiche *Tyson* a été étudiée pour des températures et temps de trempage dans les gammes respectives de [15-25°C] et [12-24h] et pour des temps de cuisson à 100°C dans l'intervalle [20-60 minutes]. La teneur initiale en vitamines B9 du pois chiche étudié est de 149.7 ± 5 µg/100g (base sèche). Le modèle traduit correctement les cinétiques de teneur en eau, de gélatinisation de l'amidon ainsi que de dégradation de la vitamine B9 du pois chiche au cours du trempage-cuisson et observées expérimentalement. À la fois les temps de trempage et de cuisson ont montré un impact majeur sur la susceptibilité à la dégradation de la vitamine B9. Les conditions optimales de trempage-cuisson identifiées par le modèles sont les suivantes : 20°C/18h puis 100°C/30 min, avec un taux de rétention vitaminique maximum de 67% et un degré de cuisson suffisant égal à 85%

Cette approche mécanistique peut être facilement adaptée à une large gamme de légumineuses subissant des pertes nutritionnelles ou d'autres phénomènes physicochimiques critiques pour sa qualité au cours de sa transformation (dénaturation des protéines, destruction de facteurs antinutritionnels...). Elle aboutit à l'obtention de simulateurs permettant véritablement de contrôler la valeur nutritionnelle des légumineuses au cours du procédé. De telles stratégies de recherche représentent d'excellentes opportunités pour promouvoir l'utilisation ainsi que la consommation de légumineuses à haut potentiel nutritionnel.

Fermenter et structurer des protéines de pois pour améliorer leurs propriétés sensorielles

S. Ben Harb, F. Irlinger, A. Saint-Eve, M. Panouillé, P. Bonnarne, I. Souchon
UMR GMPA, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval-Grignon, France

Proposer une offre alimentaire riche en produits végétaux appréciés par les consommateurs est un des enjeux majeurs permettant de tendre vers un système alimentaire plus durable. Dans ce contexte, ce travail vise à étudier les bénéfices sensoriels apportés par la fermentation de gels riches en protéines végétales. En effet, des défauts d'arôme, de saveur ou de texture ont été mis en évidence suite à l'incorporation de teneurs élevées en protéines végétales dans les aliments, et en particulier de protéines de pois. Ces défauts sont un réel frein à l'acceptabilité des produits par les consommateurs. L'utilisation de ferments microbiens, composés de bactéries et de champignons, offre potentiellement un fort potentiel enzymatique de transformation, et ainsi permet d'améliorer l'arôme des produits.

Deux types de solutions contenant 12% de protéines et 10% d'huile de colza ont été étudiées : i) la première est constituée de 100% de protéines de pois et ii) la deuxième est constituée d'un mélange de protéines de lait (50%) et de pois (50%). Sur la base des connaissances de la matrice (composition et pH) et des propriétés fonctionnelles des micro-organismes en particulier d'origine fromagère (protéolytique, aromatisante, désamérisante, texturante..), 55 souches microbiennes ont été sélectionnées. La stratégie raisonnée d'assemblage de ces souches s'est basée d'une part sur la répartition équilibrée selon leur groupe phylogénétique (firmicutes, eucaryotes, proteobacteries et actinobacteries), mais aussi sur la connaissance experte des fonctions cibles aromatiques recherchées. La croissance et l'abondance des micro-organismes dans les solutions de pois après 3 jours de fermentation à 28°C ont été évaluées sur milieux de culture spécifiques et en étudiant les gènes de l'ADNr 16S par méta-barcoding. Le potentiel aromatique des consortia a été cartographié par un panel sensoriel à l'aide de la méthode Check-All-That-Apply (CATA). En parallèle de la sélection des micro-organismes et de leur association, différents types de gélifications, thermique, acide ou enzymatique, ont été testés.

Les résultats de cette étude ont montré un fort potentiel d'implantation des souches pour la solution mixte comme pour la solution végétale. Des notes aromatiques spécifiques pour chaque solution ont été générées permettant de masquer la note végétale "verte" caractéristique du pois. Ainsi, deux consortia microbiens ont pu être sélectionnés sur la base de notes torréfiées, fruitées pour la solution végétale, et de notes fruitées/lactiques pour la solution mixte. Des structures de gels offrant un large spectre de texture (crème dessert à pâte "ferme") ont été également obtenus par les trois types de gélification étudiés. Cette étude a donc permis de sélectionner des groupes spécifiques de souches, capables de coloniser et de produire des arômes d'intérêt dans des produits à base de pois. Cela montre le fort potentiel des procédés de fermentation pour la conception de produits alimentaires innovants.

Projet VEGALIM - financement Carnot Qualiment

Mots clés: Fermentation, bactéries lactiques, levures, moisissures, micro-organismes, gels

Panorama des légumes secs dans le monde. Diversité et usages.

Michel Chauvet

INRA, UMR-AMAP, Montpellier

Les légumes secs font partie des premières plantes domestiquées dans tous les continents. Ils se substituent largement les uns aux autres dans l'alimentation. Mais ils se caractérisent aussi par le grand nombre des espèces concernées, et la diversité des formes et des couleurs entre les cultivars. De plus, certains ont été utilisés tantôt pour l'alimentation humaine, tantôt pour l'alimentation animale.

Leur histoire a longtemps été obscurcie par l'ambiguïté des noms populaires, qui sont fréquemment passés d'une espèce à une autre, et par les tergiversations des botanistes. C'est ainsi que l'origine américaine des *Phaseolus* n'a été reconnue qu'à la fin du XIXe siècle. Le mungo, *Vigna radiata*, n'a vu son nom scientifique stabilisé qu'en 1954. Quant aux diverses espèces appelées doliques, il n'en reste plus aucune d'importance dans le genre *Dolichos*.

Pour ce qui est des usages, les légumes secs partagent plusieurs caractéristiques :

- ils sont riches en protéines, et peuvent largement remplacer la viande.
- nombre d'entre eux demandent à être détoxifiés, ce qui se fait par trempage, par fermentation ou par cuisson. Pour améliorer leur digestibilité, on élimine souvent le tégument des graines, ce que les Indiens pratiquent pour des nombreuses espèces avec le dal.
- on trouve un peu partout des mets qui associent légumes secs et céréales, ce qui est nutritionnellement excellent.

Dans le même temps, les divers peuples ont élaboré des cultures culinaires très diversifiées. La communication illustrera ces divers thèmes au travers de quelques exemples.

Pour en savoir plus : site Pl@ntUse, <http://uses.plantnet-project.org/fr>

Mots clés autres que dans le titre : ethnobotanique histoire *Phaseolus Vigna Dolichos*

Quels leviers génétiques mobilisables chez le pois et la féverole pour les teneurs en fractions protéiques, acides aminés, « facteurs antinutritionnels », afin d'améliorer la valeur nutritionnelle de ces graines?

Gallardo Karine, Duc Gérard, Aubert Grégoire, Marget Pascal, Le Signor Christine, Burstin Judith
*Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, 17 rue Sully, BP 86510, 21065
Dijon cedex, France*

Au cours des 30 dernières années, des progrès génétiques de réduction des teneurs en certains facteurs « anti-nutritionnels » ont été obtenus chez le pois et la féverole qui améliorent leur valeur nutritionnelle en alimentation animale ou humaine et qui se sont traduisent par des inscriptions variétales (exemple des tanins, inhibiteurs tryptiques, vicine et convicine). Des marqueurs moléculaires sont disponibles pour aider à la sélection sur ces caractères.

Pour aller plus loin dans l'amélioration des caractéristiques nutritionnelles des graines de ces légumineuses, notamment pour davantage de digestibilité des protéines, le levier de la sélection variétale pourrait s'appuyer sur une diversité génétique naturelle ou induite pour la composition en fractions protéiques et en acides aminés révélée dans des travaux récents. Des marqueurs moléculaires permettant d'aider à la sélection de ces caractères sont déjà disponibles. Nous décrirons cette variabilité disponible et les outils de sélection mobilisables pour mieux adapter les matières premières à différents usages alimentaires.

Mots clefs autres que dans le titre : *Pisum sativum*, *Vicia faba*, protéines, fractions protéiques, acides aminés, tanins, antitryptiques, vicine et convicine

Approches génomiques, évolutives et de sélection participative pour l'amélioration d'espèces légumineuses en Italie

Paolo Annicchiarico*, Luciano Pecetti, Massimo Romani, Nelson Nazzicari, Barbara Ferrari
Conseil pour la recherche agricole et l'analyse de l'économie agricole – Centre de recherche pour les productions fourragères et laitières (CREA-FLC), Lodi, Italie

La mission du CREA-FLC est d'améliorer les légumineuses fourragères et à graines pour l'alimentation du bétail dans les systèmes conventionnels et biologiques italiens. Sa recherche pour l'amélioration des cultures, qui est financée par plusieurs projets internationaux (LEGATO, REFORMA, COBRA, GENALFA) et nationaux, met l'accent sur la luzerne, le pois, le lupin blanc, le soja et, dans une moindre mesure, la féverole et diverses espèces de trèfle. Ici, l'on anticipe des résultats sur trois stratégies innovatrices qui sont à l'attention de notre recherche.

La sélection génomique exploite l'information de milliers de marqueurs pour prédire la valeur génétique pour des caractères liés au rendement de nouveaux matériaux génétiques. La technique du génotypage par séquençage (*genotyping-by-sequencing*, GBS) peut générer des nombres élevés de marqueurs SNP pour un coût nettement inférieur par point de données par rapport aux plates-formes SNP Arrays, ce qui élargit les possibilités d'adopter cette stratégie dans la sélection végétale. Nous montrons des résultats sans précédent pour le rendement en graines du pois en considérant de différents matériaux et environnements-cibles, et pour le rendement en fourrage de luzerne non-dormant et semi-dormant. Dans toutes ces études, le GBS a confirmé sa capacité à fournir un grand nombre de marqueurs, tandis que la sélection génomique a montré des valeurs d'*accuracy* d'intérêt pratique pour son adoption dans les schémas de sélection.

Les schémas de sélection en bulk pour des cultures autogames comme le pois impliquent que de la sélection naturelle a lieu dans des lignées ségrégantes cultivées en présence d'une compétition intra-familiale. En revanche, l'ordinaire schéma de *single-seed descent* (SSD) n'implique aucune sélection (ou une sélection très limitée) jusqu'à l'obtention des lignées avancées. Des phases tardives de sélection en *bulk* peuvent être exploitées pour isoler des lignées avancées d'élite pour une sélection supplémentaire, ou bien pour obtenir des mélanges évolutifs à introduire en tant que tels dans la culture. Nos résultats préliminaires indiquent une plus grande capacité de la sélection en *bulk* de produire des lignées à rendement élevé pour des environnements semblables à ceux où le matériau ségrégant a évolué, par rapport au SSD. Cet avantage et le moindre coût de la sélection en *bulk* peuvent compenser l'avantage du SSD de pouvoir effectuer plus d'une génération par an.

Les approches de sélection participative (*farmers' participatory plant breeding*, PPB) se sont révélées utiles pour la sélection végétale dans les pays en développement. Leur utilité dans des régions à agriculture avancée est inconnue, et doit faire face aux complexités découlantes d'un nombre élevé de lignées en sélection et de caractères enregistrés. Nous avons développé une approche PPB pour le pois ciblée aux systèmes biologiques italiens, basée sur un index de sélection établi en fonction de la priorité des caractères attribuée par les agriculteurs. Cette approche a été comparée avec la sélection par des *breeders* (basée sur la priorité des caractères attribuée par six améliorateurs) et avec d'autres procédures de sélection, en utilisant 315 lignées pures évaluées dans des expériences répliquées dans le nord et le centre de l'Italie. Les résultats préliminaires indiquent un avantage du PPB sur la sélection des améliorateurs pour la capacité de sélectionner les lignées à rendement plus élevé (évaluées dans des environnements d'épreuve indépendants).

Mots clés: amélioration génétique, luzerne, pois, sélection génomique, sélection participative

* Auteur correspondant - Adresse: CREA-FLC, viale Piacenza 29, 26900 Lodi, Italie
Tél: 00390371404751; Email: paolo.annicchiarico@entecra.it

Identification de loci génétiques d'intérêt pour la sélection de variétés résistantes aux stress multiples chez le pois et la féverole

Marie-Laure Pilet-Naye^{1,2*}, Grégoire Aubert³, Pascal Marget⁴, Judith Burstin³, Isabelle Lejeune-Hénaut⁵

¹ UMR IGEPP, INRA, Agrocampus Ouest, Université Rennes 1, 35650 Le Rheu, France

² UMT PISOM, INRA, Terres Inovia, 35650 Le Rheu, France

³ UMR Agroécologie, INRA, Université de Bourgogne, Agrosup Dijon, CHU Dijon, CNRS, 21065 Dijon, France

⁴ Domaine Expérimental d'Epoisses, INRA, 21110 Bretenières, France

⁵ USC Institut Charles Viollette-AFP, INRA, Université Lille 1, 80203 Péronne, France

Marie-laure.pilet@rennes.inra.fr; 02.23.48.57.08

Le développement des cultures de légumineuses à graines en France est fortement impacté par l'irrégularité des rendements, due à de multiples stress biotiques et abiotiques. La création de variétés combinant des facteurs génétiques de résistance ou tolérance aux stress multiples représente un enjeu majeur pour la production durable de légumineuses. Les travaux réalisés dans le WP2 du projet PeaMUST visent à identifier, valider et comparer les locus et fonctions des gènes contrôlant la résistance à trois stress majeurs du pois et de la féverole (gel, pourriture racinaire, bruche), pour la sélection assistée par marqueurs de variétés multi-résistantes. Ils sont réalisés par un consortium de 13 partenaires publics et privés français (4 unités INRA, Agri-Obtentions, Biogemma, Florimond-Desprez, GEVES, KWS-Momont, Limagrain Europe, RAGT-2n, Terres Inovia et Unisigma).

Chez le pois, des QTL (Quantitative Trait Loci) de tolérance au gel et de résistance à la pourriture racinaire due à *Aphanomyces euteiches* ont été identifiés avec précision sur le génome par cartographie génétique. Une approche de génétique d'association a également permis d'analyser la diversité des QTL de tolérance au gel au sein d'une collection de ressources génétiques. Des lignées quasi-isogéniques aux principaux QTL ont été produites par rétrocroisements assistés par marqueurs dans plusieurs lignées agronomiques. L'évaluation des lignées a permis de valider l'efficacité de plusieurs combinaisons de QTL pour limiter la sensibilité du pois à chaque stress.

Chez la féverole, des ressources génomiques et biologiques ont été générées pour l'identification de locus de résistance à la bruche, à la pourriture racinaire et de tolérance au gel. A partir de quatre lignées de féverole, des marqueurs SNP ont été développés en masse par séquençage d'ADNc et trois populations de lignées recombinantes ont été créées permettant de combiner les locus de résistance ou tolérance aux stress étudiés. Une collection de ressources génétiques a été constituée en vue de l'étude de la résistance aux stress multiples par génétique d'association.

L'analyse génétique comparative de la résistance ou tolérance aux trois stress étudiés chez le pois et la féverole permettra d'appréhender la diversité des déterminants génétiques impliqués et d'identifier des marqueurs et gènes de fonction d'intérêt pour la création de variétés de légumineuses résistantes aux principaux stress.

Mots-Clés : Gel, bruche, *Aphanomyces*, QTL, NILs, RILs

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

Maé Guinet¹, Anne-Sophie Voisin¹, Bernard Nicolardot¹

¹Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

mae.guinet@dijon.inra.fr

0687647198

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. Peu de références sont actuellement disponibles sur les intérêts agronomiques et écologiques des différentes espèces, notamment à l'échelle de la rotation. Dans ce cadre, notre objectif général consiste à mieux quantifier les flux d'azote impliqués au cours et après culture de légumineuses, et ce pour une gamme élargie d'espèces. Notre travail expérimental portera donc sur la caractérisation des flux d'azote induits dans le sol et dans les cultures de légumineuses aux caractéristiques morphologiques contrastées en parallèle de la mesure des déterminants de ces flux. Les objectifs spécifiques consisteront 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), 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 qui a été menée en 2014-2015 et sera reconduite sur la campagne 2016-2017. En parallèle, les traits des plantes, notamment racinaires, seront caractérisés plus finement au cours d'expérimentations conduites en conditions contrôlées. Les premiers résultats de l'expérimentation au champ sur l'effet précédent des légumineuses sur une culture de blé seront présentés.

Mots clés : Légumineuses, fixation symbiotique, effet précédent, pertes d'azote, traits de plante.

Analyse et co-construction des conditions du développement de légumineuses à graines : approche territoriale avec les acteurs locaux

Marie-Hélène Jeuffroy^{1*}, Guénaelle Corre-Hellou², Marie-Benoit Magrini³, Elise Pelzer¹

¹ UMR Agronomie INRA, AgroParisTech, Université Paris Saclay, 78850 Thiverval-Grignon, France

² Unité de Recherche LEVA, SFR 4207 QUASAV, Univ Bretagne Loire, Ecole Supérieure d'Agricultures (ESA), 55 rue Rabelais 49007 Angers, France

³ INRA, UMR AGIR, INRA-INP-ENSAT, 31326 Castanet-Tolosan, France

* auteur correspondant

jeuffroy@grignon.inra.fr

0683702427

Malgré les nombreux bénéfices environnementaux rendus par les légumineuses, insérées dans les systèmes de culture, et bien que la gamme des espèces et des modes d'insertion disponibles soit très large, les surfaces de légumineuses ont drastiquement diminué en France depuis plusieurs décennies. Pourtant, ces espèces présentent des qualités nutritionnelles importantes pour l'alimentation humaine, notamment ces qualités nutritionnelles sont complémentaires d'autres aliments fréquemment consommés.

En mobilisant trois cadres scientifiques, nous avons analysé, avec les acteurs de trois territoires français, les conditions du redéveloppement de ces espèces dans les systèmes de production. Les trois territoires (situés en Bourgogne, Pays de Loire, et Midi-Pyrénées) ont été choisis pour leur diversité d'espèces de légumineuses ayant a priori un intérêt pour les acteurs économiques locaux, et pour l'implication des acteurs locaux dans la mise en place de solutions technico-économiques pour relancer ces cultures.

Tout d'abord, nous avons mobilisé la théorie des transitions agroécologiques pour identifier, à travers des enquêtes auprès de divers acteurs, (a) les obstacles au développement de ces cultures et (b) les principaux leviers techniques et socio-économiques qui devraient être étudiés en priorité pour déverrouiller le système actuel.

Ensuite, nous avons mobilisé le cadre de l'étude des services écosystémiques, dans le but de quantifier les services fournis par différentes légumineuses dans les champs des agriculteurs des trois territoires d'étude. Cette étape avait pour but (1) de représenter la variabilité des services observés, notamment ceux liés aux effets précédents des légumineuses, peu connus par les acteurs, (2) de tenter de la relier aux performances de la légumineuse, (3) de partager, avec les acteurs locaux, cette vision des services fournis, afin de mieux les valoriser dans les conseils techniques fournis aux agriculteurs.

Enfin, en mobilisant le cadre agronomique des systèmes de culture, nous avons conçus, avec les acteurs locaux, et évalué des systèmes de culture incluant des légumineuses fourragères ou à graines, adaptées aux conditions locales et compatibles avec les débouchés identifiés dans les territoires.

Nous montrons ainsi qu'il est essentiel de combiner des innovations techniques, organisationnelles et économiques, à différents niveaux du système alimentaire, et conçues avec les acteurs concernés, pour organiser le développement des légumineuses.

Mots clés : Légumineuses, déverrouillage, services écosystémiques, conception, systèmes de culture, débouchés.

Comparaison des qtl de biomasse en association et en culture pure chez la luzerne

Bernadette Julier, Amel Maamouri, Adrien Guérin, Philippe Barre, Sabrina Delaunay, Gaëtan Louarn
URP3F, INRA, CS80006, 86600 Lusignan, France

L'intérêt agronomique et environnemental des associations fourragères graminées – légumineuses est bien établi mais la sélection des légumineuses fourragères est presque toujours menée en culture pure. Dans une étude précédente, nous avons montré qu'il existe de la variabilité génétique chez la luzerne pour la production de biomasse, et que la performance des génotypes en association ne pouvait pas être déduite de leur performance en culture pure (Julier et al, 2014). Nous avons alors voulu mieux connaître le déterminisme génétique de la production de biomasse chez la luzerne, à la fois en culture pure et en association. Une descendance de 200 génotypes F1 a été obtenue par le croisement de deux génotypes parentaux de luzerne (H1 et G4) contrastés pour leur morphogenèse aérienne. L'étude a porté sur la biomasse et la hauteur des plantes, deux composantes du rendement fourrager qui sont aussi des caractères qui conditionnent les interactions de compétition entre plantes dans un peuplement. La biomasse et la hauteur ont été évaluées dans deux conditions de culture en micro-parcelles (association avec de la fétuque élevée et culture pure) pendant 8 coupes consécutives. Les données phénotypiques indiquent une large variabilité entre individus pour les deux caractères dans toutes les coupes. La corrélation entre les caractères mesurés en association et en culture pure est positive (Figure) mais la grande variabilité autour de cette corrélation indique que certains génotypes sont relativement plus performants soit en association, soit en culture pure. Une carte génétique de chaque parent a été construite avec des marqueurs moléculaires SSR et DArT, à l'aide du logiciel TetraploidMap. Des QTL ont été trouvés chez chaque parent et sur chaque groupe de liaison (GL). Les QTL étaient pour la plupart communs à l'association et à la culture pure (GL1 chez H1, GL1, 2 and 4 chez G4) mais certains QTL étaient spécifiques de l'association (GL 3 and 7 chez H1, GL 6 chez G4). Ces résultats indiquent un contrôle génétique partiellement commun pour la biomasse et la hauteur en association et en culture pure et soulignent aussi un contrôle génétique spécifique de la performance en association. Pour créer des variétés de luzerne productives à la fois en culture pure et en association, les QTL communs aux deux conditions et les QTL spécifiques de l'association pourraient être utilisés.

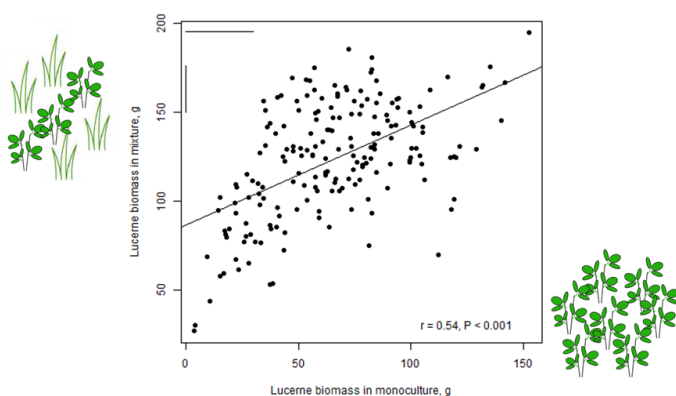


Figure : production de biomasse de la luzerne en culture pure et en culture associée (g/plante). Chaque point représente un génotype de la population de cartographie

Remerciements

Nous remercions la région Poitou-Charentes (projet Expoleg-AV, 2011-2014) et le programme ARIMNET (projet REFORMA, 2012-2016) pour leur soutien financier.

**L'enrubannage ; une solution pour préserver les qualités nutritives des légumineuses prairiales ?
Quels effets des matériels, de leurs réglages et de la teneur en MS au pressage sur la préservation de
la valeur protéique du fourrage ?**

Uijtewaal A. , Deleau D.

*ARVALIS - Institut du végétal, Service Agronomie – Economie – Environnement,
Station expérimentale de La Jaillière, 44 370 La Chapelle Saint Sauveur, France*

La récolte des légumineuses en foin s'avère délicate (Cabon, 1982) bien qu'il soit possible de réduire les pertes (Crocq, 2014). Nécessitant une teneur en MS plus faible, l'enrubannage permet de sécuriser la récolte sur le plan climatique. Malgré un coût de chantier supérieur au foin et à l'ensilage, il offre la possibilité de conduire de petits chantiers ainsi qu'une certaine souplesse d'utilisation.

En conservation par voie humide, sous l'action des enzymes (protéases) de la plante et des bactéries clostridiennes, les protéines sont solubilisées (protéolyse). En excès dans le rumen, elles sont peu valorisées par l'animal. L'azote en excès est excrété, entraînant une baisse des performances animales ainsi qu'une augmentation des rejets azotés. L'intensité de la protéolyse est régie par plusieurs facteurs dont le plus important semble être la teneur en MS du fourrage (Uijtewaal et al. 2016). En 2015, Arvalis-Institut du Végétal a montré qu'après 210 jours de conservation, la teneur en N soluble d'un enrubannage de luzerne à 43 % MS était de 69 % N total contre 48 % lorsque la luzerne était pressée à 67 % MS. Amyot en 2003 a mis en évidence le lien fort entre la teneur en azote soluble et la Dégradabilité Théorique (DT) des protéines dans le rumen. Entre les modalités 67 et 43 % MS, l'augmentation de Dégradabilité Théorique (DT) de la MAT induit une diminution respective des valeurs PDIN et PDIE de 18 et 36 g/kg MS. En équivalent tourteau de soja 48 (350 €/t), la compensation de cette baisse induit un surcoût de 40 € t MS.

A teneur en MS donnée, l'élévation de la densité est synonyme d'une meilleure évacuation de l'air et assure un démarrage rapide des fermentations permettant de stabiliser le fourrage et de préserver sa qualité. Les presses à balles rondes de type chambre variable permettent aujourd'hui d'atteindre des densités élevées de l'ordre de 180 à 200 kg MS/m³ (Uijtewaal et al., 2016) favorables à la bonne conservation. De plus, près de 30 % des presses détenues par les CUMA en 2015 sont équipées de système de hachage du fourrage (Uijtewaal et al., 2016). Ces systèmes permettent d'accroître la densité des balles (Borreani et Tobacco, 2006. Bisaglia, 2001) et leur effet bénéfique sur la conservation de luzerne par mise à disposition des sucres solubles aux bactéries lactiques a été rapporté par plusieurs auteurs (Amyot, 2008, Borreani et Tobacco, 2006).

Enfin, la bonne conservation du fourrage reste conditionnée au maintien de l'intégrité du film plastique. L'avantage est ainsi donné à l'enrubannage sur le site de stockage. L'enrubannage au champ, en chantier décomposé ou combiné, se révèle moins adapté du fait du risque de perforation. L'avènement du liage plastique laisse présager une amélioration de la résistance mécanique

Sources :

- Amyot A. (2008) : « Effet du hachage, de la teneur en matière sèche et du stade sur la qualité de l'ensilage de luzerne en balles rondes », Rapport de recherche, IRDA, 51p.
- Bisaglia C., Tabacco E., Borreani G. (2011) : « The use of plastic film instead of netting when tying round bales for round baled silage », *Biosystems Engineering*, 108, 1-8.
- Borreani G., Tabacco C. (2006) : « The effect of a baler chopping system on fermentation and losses of wrapped big bales of alfalfa », *Agronomy Journal*, 98, 1-7.
- Cabon G. (1982) : « Les pertes en cours de récolte et de conservation de la luzerne et du trèfle violet ». *Fourrages*, 90, 161-172
- Crocq G., Sorin S., Protin P.V. (2014) : LUZFIL - La luzerne en Pays de la Loire : réussir la récolte pour une valorisation optimale en élevage bovin lait, 6 pages
- Uijtewaal A., Chapuis S., Crocq G., Lepée P. (2016) : « Quoi de neuf en matière de récolte et de conservation des légumineuses fourragères ? ». Journées AFPP des 21 et 22 mars 2016

Gérer les compromis entre services écosystémiques rendus par des légumineuses utilisées en tant que plantes de service dans du colza d'hiver: approche fonctionnelle

Lorin M*, Jeuffroy M-H, Valantin-Morison M

UMR 211 Agronomie, INRA AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval-Grignon, France

L'introduction de légumineuses gélives en tant que plantes de service dans du colza d'hiver présente un potentiel intéressant pour fournir une diversité de services écosystémiques (Cadoux et al. 2015, Valantin-Morison et al. 2014; Lorin et al. 2015 & 2016). Parmi eux, la régulation des adventices durant l'automne ainsi que l'amélioration de la nutrition azotée du colza, notamment *via* la restitution au printemps d'une partie de l'azote absorbé et/ou fixé par les légumineuses, constituent deux des services particulièrement étudiés et offrent des perspectives intéressantes pour réduire l'utilisation d'intrants chimiques. Toutefois, le choix de l'espèce ou du mélange d'espèces le plus approprié est délicat du fait de la diversité des fonctions et des traits impliqués et des possibles antagonismes entre services. Nous proposons ici de présenter une approche visant à construire les profils fonctionnels de ces légumineuses candidates afin d'identifier des espèces ou des mélanges d'espèces qui assureraient ces deux services.

A partir d'une expérimentation analytique, nous avons comparé sept espèces de légumineuses, associées au colza, dans le but de (i) quantifier le potentiel de ces espèces pour fournir les deux services étudiés, (ii) expliciter les fonctions remplies par les légumineuses qui le permettent, (iii) identifier les traits fonctionnels des légumineuses qui les expliquent. Nous avons ainsi déterminé expérimentalement les profils fonctionnels de ces légumineuses candidates, en identifiant les traits explicatifs des services fournis, permettant ainsi de caractériser le potentiel des légumineuses candidates pour les délivrer.

Nos résultats montrent que les traits fonctionnels liés à la compétitivité des légumineuses durant l'automne (explicative du potentiel de régulation des adventices), vitesse de croissance en hauteur et surface foliaire unitaire, s'opposent fortement aux traits explicatifs du potentiel de restitution azotée des légumineuses au printemps (caractéristiques physico-chimiques des mulchs). Ces profils permettent ainsi de différencier les espèces les plus adaptées à une croissance rapide (en terme de biomasse et de surface foliaire) mais dont les résidus présentent des profils physico-chimiques peu favorables à une minéralisation rapide (pois, féverole), aux espèces dont le potentiel de croissance est faible mais dont les profils physico-chimiques sont favorables à une restitution rapide de l'azote (gesse, vesce, lentille). La construction de mélanges d'espèces dont les profils fonctionnels sont complémentaires constitue donc un moyen intéressant d'aboutir à des compromis entre les services recherchés. Nos travaux mettent en évidence des mélanges prometteurs à condition de maîtriser les relations de compétition entre légumineuses au sein du mélange.

Des légumineuses plantes compagnes associées aux cultures pour améliorer les performances agro-environnementales des systèmes de cultures à base de blé et colza ? Un projet pluri-partenaires de Recherche et Développement pour faire le point.

M. Valantin-Morison¹, V. Verret¹, M. Lorin¹, A. Gardarin¹, S. Médiène¹, E. Pelzer¹,
S. Minette², C. Naudin³, F. Celette⁴

1 : UMR Agronomie INRA-AgroParisTech : avenue Lucien Bretignière F-78850 Thiverval-Grignon

2 : AGRICULTURES & TERRITOIRES - Chambre d'Agriculture Poitou-Charentes - INRA les Verrines - BP6 –
F- 86600 Lusignan

3 : Groupe ESA (École Supérieure d'Agriculture d'Angers) - UR LEVA (Légumineuses, Écophysiologie
Végétale, Agroécologie) - SFR 4207 QUASAV - 55 rue Rabelais - BP 30748 – F-49007 Angers Cedex 01

4 : ISARA LYON - Unité AGE (Agro-écologie & Environnement/Agroecology & Environment) ; AGRAPOLE
- 23 rue Jean Baldassini - F - 69364 LYON CEDEX 07

L'implantation de légumineuses «plantes de services» (PS) apparait comme une solution pertinente pour réduire l'utilisation d'intrants chimiques (Valantin-Morison et al., 2014 ; Cadoux et al., 2015). Le principe est de valoriser les services rendus par ces plantes via la régulation naturelle des bioagresseurs et la fixation d'azote, ce qui permettrait de réduire la dépendance vis-à-vis des pesticides et des engrais azotés de synthèse. Des partenaires de la Recherche et du Développement participent à un projet CASDAR, « Alliance » qui vise à étudier ces associations pour deux cultures majeures de nos assolements : le blé tendre d'hiver et le colza d'hiver. Les espèces de légumineuses implantées sont détruites par le gel lorsqu'elles sont implantées avec le colza et choisies gélives (Féverole, Gesses, Vesces communes et pourpres, lentilles...) ou sont détruites par un herbicide lorsqu'elles sont associées au blé en automne ou enfin maintenues après la récolte lorsqu'elles sont implantées sous couvert de blé au printemps (Trèfles blanc, Incarnat, violet, Minette, vesce velue). Au cours de ce travail nous avons (i) mieux caractérisé le fonctionnement des associations d'espèces : dynamique de compétition et facilitation aérienne et souterraines entre espèces, recyclage des nutriments (Lorin et al., 2015) (ii) mieux caractérisé certains traits fonctionnels des légumineuses plante de services en lien avec les fonctions mesurées (Lorin et al. dans ce congrès) (iii) caractérisé les services de limitation de la croissance des adventices, d'augmentation de la production, de ré-utilisation de l'azote fixé (Verret et al., dans ce congrès) (iv) progressé dans la définition de plusieurs itinéraires techniques du colza associé ou du blé associé au printemps en AB et dans la faisabilité des blé associés en automne ou au printemps en agriculture conventionnelle. L'évaluation multicritère des performances de durabilité de ces conduites sera achevée prochainement. Enfin, nous créons des outils pour aider au choix des espèces à associer en PS et pour mieux fertiliser les cultures de rentes (Médiène et al., dans ce congrès). La démarche générale de ce projet couple à la fois de l'expérimentations en parcelles agriculteurs, ou en conditions semi-contrôlées et le recours à de la modélisation qualitative qui hybride de la connaissances scientifique et experte. Le partenariat de ce projet permet aujourd'hui de produire mutualiser et transmettre à la profession et aux structures de formation (Lycées agricoles et enseignement agricole supérieur) des connaissances scientifiques sur les services rendus, des références techniques précises, des outils de choix ou d'évaluation agro-environnementale.

Cadoux, S., Sauzet, G., Valantin-Morison, M., Pontet, C., Champolivier, L., Robert, C., Lieven, J., Flénet, F., Manganot, O., Fauvin, P., Landé, N., 2015. Intercropping frost-sensitive legume crops with winter oilseed rape reduces weed competition, insect damage, and improves nitrogen use efficiency. OCL 22, D302. doi:10.1051/ocl/2015014

Lorin, M., Jeuffroy, M-H., Butier, A., Valantin-Morion, M., 2015. Undersowing winter oilseed rape with frost-sensitive legume living mulches to improve weed control. European Journal of Agronomy 71, 96-105.

Valantin-Morison, M., David, C., Cadoux, S., Lorin, M., Celette, F., Amossé, C., Basset, A., 2014. Association d'une culture de rente et espèces compagnes permettant la fourniture de services écosystémiques. Innovations agronomiques 40, 93-112.

Qualités culinaires, sensorielles et nutritionnelles des pâtes alimentaires sans gluten à base de légumineuses

Karima Laleg (UMR IATE, Montpellier), Denis Cassan(UMR IATE Montpellier) , Cécile Barron(UMR IATE, Montpellier), Sylvie Cordelle (CSGA, Dijon), Pascal Schlich(CSGA, Dijon) Stéphane Walrand (UMR 1019, Clermont-Ferrand) et Valérie Micard (UMR IATE, Montpellier)

La semoule de blé dur est la matière première utilisée en France pour la production des pâtes alimentaires. Le processus de pastification comprend les étapes successives d'hydratation, de malaxage et d'extrusion (suivi ou pas d'une étape de séchage). La structure de la pâte alimentaire cuite consiste en un ensemble compact constitué d'un réseau viscoélastique de protéines de gluten enserrant des granules d'amidon, limitant leur gonflement durant la cuisson. Cette structure spécifique est à l'origine du faible index glycémique des pâtes alimentaires et est responsable de leurs qualités culinaires et organoleptiques appréciées par le consommateur. Malgré ces qualités, les pâtes alimentaires au blé demeurent nutritionnellement pauvres en lysine, acide aminé indispensable. Leur consommation peut également engendrer des désordres métaboliques chez les intolérants au gluten. Certaines spécialités pastières disponibles sur le marché sont fabriquées à partir de céréales sans gluten (riz, maïs, millet, quinoa et amarante). Ces pâtes sans gluten demeurent néanmoins pauvres en protéines (8% s 12-13% poids sec pour une pâte classique au blé dur). Les légumineuses, grâce à leur composition nutritionnelle (richesse en protéines, en lysine et en fibres) et leur faible index glycémique, représenteraient une alternative avantageuse pour la production de spécialités pastières sans gluten. Des spaghettis sans gluten fabriquées exclusivement à partir de farines de légumineuses (fève, lentille ou black gram) ont ainsi été produites ; leurs propriétés culinaires, sensorielles et nutritionnelles ont été caractérisées et comparées à celle d'une pâte de blé (classique, ou complète) et à celle d'une pâte sans gluten du commerce. Les résultats obtenus démontrent de l'intérêt nutritionnel de pâtes aux légumineuses notamment pour la population intolérante au gluten.

Mots clés autres que dans le titre : pâtes riches en protéines, digestion in vitro de l'amidon et des protéines, facteurs anti-nutritionnels, fève, lentille, haricot mungo, structure multi-échelles de l'aliment.

Valoriser les associations céréale-légumineuse par la conception d'un produit nutritionnellement plus équilibré et de qualité maîtrisée : Le projet FlexiProcess

A-F. Monnet (1,2), M-H. Jeuffroy (2), C. Michon (1)

(1) UMR Ingénierie Procédés Aliments, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 91300 Massy, France

(2) UMR Agronomie, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval-Grignon, France

Les associations céréale-légumineuse au champ présentent des performances agronomiques et environnementales prometteuses, notamment pour la transition agroécologique. Néanmoins, la gestion des cultures associées pose des questions techniques et logistiques qui freinent leur développement actuel. Du point de vue nutritionnel, le mélange des deux types de graines (ou farines) au sein d'un produit alimentaire a pour conséquence de fournir une protéine de meilleure qualité que celle fournie par chaque espèce séparément. Un moyen de favoriser le développement des cultures de légumineuses pourrait donc être de créer une synergie avec la filière céréalière en produisant des aliments de grande consommation à partir de mélanges de farines. L'objectif du projet FlexiProcess est d'étudier la fabrication de produits céréaliers de cuisson, les cakes, enrichis en farine de légumineuse, en prenant en compte les impacts des opérations amont sur la qualité des farines. Des échanges entre des chercheurs experts aux différents niveaux de la filière (sélection variétale, agronomie, 1^{ère} transformation) ont permis l'identification des sources et types de variabilité des farines mixtes blé-légumineuse. Une liste des caractéristiques des farines à étudier pour évaluer leur influence sur le comportement au cours de la fabrication et sur les propriétés finales des cakes (structure, moelleux, qualité nutritionnelle,...) a été établie. Les méthodes de caractérisation existant pour les farines de blé ont été listées et font l'objet d'adaptations pour les farines de légumineuse et les farines mixtes. En parallèle, l'impact de l'introduction de farine de légumineuse sur le comportement de la pâte et sur les propriétés du cake est étudié. Plusieurs caractéristiques des farines et plusieurs facteurs de procédé ont été identifiés comme impactant les propriétés de la pâte et des cakes. L'appréciation et l'acceptabilité de ce type de produit ainsi que le comportement au cours de la digestion seront abordés dans un deuxième temps, dans le cadre d'une collaboration avec d'autres partenaires du projet. La gestion de l'ensemble des informations générées par le projet (propriétés des farines, données composition et procédé, caractérisation structurale, sensorielle et nutritionnelle du produit) par une démarche de modélisation sera engagée afin d'apporter des connaissances quant aux modalités d'innovations couplées (au champ et en première et seconde transformation) ainsi qu'à la définition de méthodes simples de caractérisation de ces farines et d'outils d'aide à la formulation de produits enrichis.

Remerciements à : C. Assor-Antoine, S. Berland, D. Blumenthal, J. Delarue, G. Duc, R. Garcia, S. Le Feunteun, V. Lullien-Pellerin, M.B. Magrini, V. Micard, I. Souchon, L. Rakotozafy, A. St Eve, S. Walrand (participants au projet FlexiProcess).

Mots-clés : filières alimentaires durables, protéines végétales, étude de la seconde transformation, gâteaux moelleux, innovations couplées

**Etude des Freins et Leviers à l'insertion des légumineuses dans trois territoires contrastés
(Bourgogne, Midi-Pyrénées, Pays de la Loire)**

Marie Mawois - Unité de Recherche 'Légumineuses, Ecophysiologie Végétale, Agroécologie' (UR LEVA), Univ Bretagne Loire, Ecole Supérieure d'Agricultures (ESA), 55 rue Rabelais, BP 30748, 49007 Angers Cedex, France. m.mawois@groupe-esa.com, (0033)2 41 23 55 13

Marion Casagrande - Département 'Agroécologie et Environnement', ISARA-Lyon (membre de l'Université de Lyon), 23 Rue Jean Baldassini, 69364 Lyon, France

Geneviève Nguyen - UMR 1248 (INRA/INPT) AGIR « AGroécologie, Innovations, teRritoires », Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées, Institut National Polytechnique – Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse (INP-ENSAT), BP 32607, 31326 Castanet-Tolosan Cedex, France.

La diversification des cultures via l'insertion de légumineuses est souvent présentée comme un levier d'action pour accroître la durabilité des systèmes de production agricole. Or, si la diversité des espèces et de leurs modes d'insertion dans les systèmes de culture offre une gamme variée de productions et permet de s'adapter aux conditions pédoclimatiques locales, la quasi-disparition des légumineuses des systèmes agricoles actuels interroge sur leur compatibilité avec le fonctionnement des exploitations agricoles.

Dans cette étude, nous nous intéressons aux freins et leviers à l'insertion des légumineuses dans des exploitations de trois territoires contrastés (Midi-Pyrénées, Bourgogne, Pays de la Loire). Le choix de ces territoires a été déterminé par leur diversité pédoclimatique, et l'intérêt manifesté des organismes économiques et territoriaux locaux pour les légumineuses. Par ailleurs, les débouchés et les usages visés par ces organismes sont de natures différentes : alimentation humaine en Midi-Pyrénées, alimentation animale dans le cadre d'un rapprochement entre polyculture et élevage au sein des exploitations agricoles en Pays de La Loire ou dans le cadre de filières locales en Bourgogne. Des enquêtes ont été menées dans chaque territoire auprès d'environ 40 individus représentatifs de la diversité des profils d'agriculteurs et d'exploitations. Ces enquêtes visaient à analyser les déterminants agronomiques, sociologiques et économiques des pratiques d'insertion de légumineuses dans les exploitations agricoles en vue d'identifier les freins et leviers mobilisés par les agriculteurs.

Les résultats issus des enquêtes ont permis de mettre en évidence que quel que soit le territoire, le principal levier pour l'introduction de légumineuses dans les territoires est lié à la présence de débouchés en lien avec les prix de vente pratiqués (niveau et stabilité) relativement à la culture principale (blé, maïs,...).

Cependant ces 3 études montrent également que ce levier n'est pas suffisant et qu'il est nécessaire d'agir simultanément sur d'autres freins et leviers. Un certain nombre de freins et de leviers relevant d'aspects agronomiques, sociologiques et économiques ont pu être identifiés. Ceux-ci ne s'expriment pas et n'ont pas la même importance selon :

- Le type d'exploitation agricole : grande culture vs polyculture élevage, bio vs conventionnel
- Les cultures et leur valorisation : culture de vente vs autoconsommation
- Les territoires et leurs dynamiques : OPA, industriels, réseaux

Ainsi ces enquêtes permettent de souligner l'importance de territorialiser les politiques d'aide à la relance des légumineuses qui doivent s'insérer dans des logiques d'usage de ces productions pour les territoires.

Mots clés autres que dans le titre : Légumineuses; exploitations agricoles; territoires; freins et leviers

Acteurs de la chaîne de valeur des légumineuses alimentaires : Agriculture familiale, production et valorisation

Abdelali LAAMARI, Agro-Economiste
Centre Aridoculture, INRA-Settat

L'objectif global du projet Initiative Marocco -Indienne pour le développement des légumineuses alimentaires est de contribuer aux efforts d'amélioration de la production des légumineuses alimentaires et par conséquent les revenus des ménages. Cette recherche est l'une des composantes de ce projet qui s'est intéressée à l'analyse de l'offre et des performances économiques de ces cultures à travers une analyse monographique et une caractérisation des systèmes de production à base des légumineuses. Pour y parvenir un échantillon de 500 exploitations a été élaboré et conduit dans cinq sites agro-écologiques représentatifs du bour favorable et de l'aride.

D'après l'enquête les légumineuses occupent une place importante dans les régions de Rabat-Zaïer, Meknès-Taounate, Chaouia, Tadla-Azilal et Abda avec des proportions respectives de 31, 30 et 25, 20 et 13% de la superficie exploitée. Cette proportion est loin d'être la meilleure pour assurer une rotation raisonnable et permettre le repos de la terre cultivée. Au niveau de ses zones on trouve des proportions importantes pour la lentille à Rabat-Zaïer avec 46% de la SAU légumineuse. Dans la région Meknès-Taounate, c'est la fève qui est la plus cultivée avec 58% de la SAU légumineuses. A Abda et Chaouia on trouve le petit pois et le pois chiches avec des parts respectives de 56% chacune. Dans le Tadla on trouve la lentille et le petit pois avec des parts respectives de 37 et 34% de la SAU des légumineuses.

L'intégration des exploitations agricoles au marché est très limitée. Même pour celles des régions comme Elgara, ou Sbit. Cette intégration a été compromise par la politique agricole conduite par le Maroc depuis 1994. Le libre-échange et l'ouverture des frontières ont permis aux importateurs des légumineuses alimentaires de régler l'offre et la demande selon leurs convenances. Cette situation s'est traduite par une de faibles performances économiques et un recul de la part de ces cultures dans le système de production. Toutefois, la part des légumineuses dans le revenu est considérable et peut, en moyenne atteindre 23% (toutes régions confondues). Cette contribution est plus élevée dans la région de Tadla, ce qui n'est pas le cas à Abda.

Mots clefs: Légumineuses, système, valorisation, marché, politique

Posters

Inoculation des légumineuses en France: Des inocula de qualité grâce à l'investissement de longue date de la recherche publique (INRA) et de l'institut technique chargé des légumineuses (Terres Inovia).

C.Revelin¹, X.Pinochet², A.Penaud², J.C.Cleyet-Marel³, A.Hartmann¹.

- 1 INRA, UMR Agroécologie Dijon 17 rue Sully, 21000 Dijon
- 2 TERRES INOVIA, DOERE, Avenue L.Bretignières, 78850 Thiverval-Grignon FRA
- 3 INRA UMR LSTM TA A82/J, Campus international de Baillarguet Cedex 05 34398 Montpellier

Nous sommes les héritiers d'une communauté scientifique française, qui, des années 60 aux années 80, a, non seulement mis en évidence l'intérêt dans certains sols de l'inoculation des légumineuses, mais s'est aussi préoccupée de la qualité des inocula et des techniques d'inoculation proposées aux agriculteurs. Ceci a été particulièrement le cas pour la luzerne, le lupin et le soja.

Le premier travail a été de sélectionner des souches de *Rhizobium* efficaces et adaptées aux conditions des sols français ainsi qu'aux variétés (/génotypes) cultivées. En effet, ces souches ont été choisies pour ne présenter que pas ou peu d'interactions avec les génotypes. Ainsi, la souche choisie reste très efficace pour la fixation symbiotique de l'azote quel que soit le génotype choisi par l'agriculteur.

Des normes de qualité ont été établies en concertation avec les premiers industriels qui se sont lancés dans ces productions. Plusieurs critères ont été définis :

- 1) La souche est fournie chaque année par l'INRA, garantissant ainsi sa conformité à la souche choisie, sans dérive pénalisante.
- 2) L'efficacité de la souche fournie est vérifiée chaque année par des expérimentations en serre
- 3) L'inoculum produit doit être monoxénique, sans contaminant, et doit satisfaire une norme de concentration.
- 4) L'industriel doit fournir régulièrement des courbes de dynamiques de concentrations sur 18 mois lors de stockages à plusieurs températures : 4°C et à température ambiante (20°C).
- 5) Chaque année des inocula obtenus par sondage à partir des productions de l'année sont testés au champ en concertation entre l'INRA et le CETIOM (Terres Inovia aujourd'hui)

Au début, la technique d'inoculation a été l'enrobage de la graine avec un inoculum sur tourbe, puis dans les années 80 sont apparus les micro-granulés, puis dans les années 90 les inocula liquides avec un adjuvant adhésif permettant ainsi d'éviter des pertes lors des opérations de semis. A chaque fois, l'INRA, en collaboration avec le CETIOM pour le soja, a testé et promu ces innovations avec une exigence de qualité et d'efficacité pour les agriculteurs. Aujourd'hui, des graines pré-inoculées avec les *Rhizobium* sont d'ores et déjà commercialisées pour certaines espèces.

Actuellement, avec la relance de la culture des légumineuses, l'augmentation des surfaces de soja, pois, féverole, lupin, lentilles, pois chiche, de nouveaux besoins et de nouvelles innovations apparaissent. Par exemple, la sélection de génotypes pour de nouvelles espèces comme le fenugrec, doit être réalisée en présence du partenaire bactérien adapté pour maintenir une symbiose optimale. L'INRA et Terres Inovia souhaitent réaffirmer leur engagement dans une politique d'innovation et de qualité au service des agriculteurs, et relancent leurs activités en concertation étroite.

Valorisation du potentiel symbiotique et développement intégré des légumineuses adaptées aux zones potentielles de production, des régions semi arides d'Algérie.

Ouzzane Abdelhakim¹, Irekti Hocine¹, Bekki Abdelkader²

1- Division Sol et Gestion des Espaces Agricoles - INRA.Algérie

2- Laboratoire des Biotechnologies - UST.Oran Algérie

Au niveau mondial, la demande en besoins alimentaires est en constante augmentation ce qui se répercute sur les prix des denrées. La fixation biologique de l'azote peut contribuer significativement, d'une part, à la réduction des coûts de production et d'autre part, à l'augmentation de la production des légumineuses alimentaires et fourragères.

Les rhizobiums (Rhizobia), du fait de leur innocuité vis-à-vis de l'environnement et de la spécificité de leur niche écologique sont le modèle de choix pour construire les bases d'une ingénierie écologique. En dehors de leurs capacités de fixation d'azote, ils interviennent aussi dans plusieurs processus biologiques du sol améliorant sa fertilité, notamment la solubilisation du phosphate, la dégradation des composés organiques (phytosanitaires) ainsi que leur rôle primordial dans le cycle de l'azote. La fixation biologique de l'azote en symbiose avec les légumineuses, offrent une meilleure adaptation des cultures et permettent une diversification des cultures dans les espaces agricoles difficiles, devant contribuer à un large choix de rotation assolement des cultures.

En Algérie, les terres cultivées en légumineuses devront augmenter afin de diminuer les importations de protéines et de stabiliser la consommation en engrais azotés coûteux en énergie fossile. Ces enjeux économiques se traduisent par un regain d'intérêt pour la fixation biologique de l'azote et une demande en augmentation de son utilisation. Les avancées scientifiques réalisées ces dernières années dans ce domaine permettent l'utilisation des connaissances existantes pour le développement d'une approche agronomique, la sélection des plantes et des souches de rhizobium adaptées et enfin le développement de l'ingénierie génétique pour une meilleure intégration de cet avantage dans les systèmes de productions.

Notre étude a été basée sur une approche d'écologie fonctionnelle des Rhizobia associés à une adaptation de nos cultures (légumineuses alimentaires et fourragères) aux contraintes abiotiques (stress hydrique et stress salin). De ce fait, il était important de travailler sur des souches autochtones aux zones ciblées par l'étude afin de proposer des inoculum adaptés à même de donner les meilleures symbioses évaluées au travers d'une disponibilité d'azote biologique pour la culture de légumineuse en place mais aussi pour la culture qui vient en rotation.

Pour cette phase, nous avons eu à finaliser la caractérisation des souches isolées, d'identifier les couples plantes microorganismes les plus performants et d'orienter la production d'inoculum vers ceux ayant le meilleur potentiel infectif et efficient.

Mots clés autres que dans le titre : Légumineuses, Rhizobium, Microorganismes, Symbiose, Semi aride, Algérie

Adaptation des symbioses rhizobium-légumineuse aux contraintes environnementales

Marc Lepetit, Brigitte Brunel, Heulin-Gotty Karine, Nassima Ait-Lahmidi, Antoine Le Quéré, Marjorie Pervent, Marc Tauzin

Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes, UMR INRA-IRD-CIRAD-UM2-Montpellier SupAgro, Campus International de Baillarguet TA-A82/J, 34398 Montpellier.

Les légumineuses ont la capacité de s'adapter au déficit en azote (N) du sol par la formation des nodosités symbiotiques avec des bactéries (communément appelées rhizobia) fixatrices de l'azote de l'air, une source inépuisable. Cette propriété originale fait des légumineuses symbiotiques un levier important pour les stratégies d'agroécologie qui cherchent à réduire l'utilisation des fertilisants azotés favoriser la séquestration du carbone dans le sol. Toutefois la formation et le fonctionnement des nodosités symbiotiques sont extrêmement sensibles aux contraintes souvent hétérogènes et fluctuantes du sol qui inhibent leurs activités et limitent ainsi la croissance des plantes symbiotiques en l'absence d'engrais. D'une part, le sol ne contient pas nécessairement les partenaires symbiotiques permettant d'atteindre le maximum de fixation. D'autre part localement, le déficit hydrique, la présence de sel ou de métaux lourds suppriment l'activité de fixation d'une partie des nodosités. En conséquence, les rendements des légumineuses symbiotiques sont souvent très fluctuants. Il y a donc un besoin de rechercher des stratégies d'amélioration afin de permettre une plus large utilisation des légumineuses symbiotiques.

Une première stratégie est de sélectionner les couples légumineuse/rhizobium les plus efficaces pour la fixation biologique de N₂ bien adapté à l'inoculation au semis. En effet toutes les bactéries capables de former des nodosités ne permettent pas une fixation élevée. Par ailleurs il existe des spécificités coté plante et bactérie, qui déterminent des capacités variable d'une association à former des nodules de manière compétitive lorsque les bactéries sont en mélange, comme dans le sol.

Une seconde stratégie est de rechercher les déterminants génétiques qui permettent à la légumineuse symbiotique de compenser les contraintes partielles qui pénalisent sa croissance en inhibant localement la symbiose (déficit hydrique par exemple). Une piste est d'identifier les mécanismes de ces réponses compensatoires et de sélectionner des couples symbiotiques chez lesquels elles sont particulièrement efficaces.

Les déterminants génétiques associés pourraient être de bons candidats pour identifier des traits symbiotiques généraux d'adaptation aux contraintes du sol.

Mots clés autres que dans le titre : fixation biologique de l'azote, agroécologie, stress environnementaux

Diversité du choix de partenaires symbiotiques parmi une collection de pois inoculée par un mélange de souches de rhizobium

Virginie Bourion¹, Henri de Larambergue¹, Véronique Aubert¹, Marianne Chabert-Martinello¹, Catherine Delaître¹, Mathieu Siol¹, Gérard Duc¹, Judith Burstin¹
Karine Heulin-Gotty², Pierre Tisseyre², Marjorie Pervent², Brigitte Brunel², Marc Lepetit²
1UMR1347 Agroécologie, Pôle GEAPSI, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21065 Dijon, France
2 Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes, UMR 1342 INRA-IRD-CIRAD-UM-Montpellier SupAgro, Campus International de Baillarguet TA-A82/J, 34398 Montpellier, France

Les légumineuses sont des cultures de grand intérêt pour répondre aux enjeux de sécurité alimentaire et de développement durable. Dans un contexte de forte croissance démographique, ce sont des sources de protéines pour les alimentations humaine et animale. Un autre atout des légumineuses est qu'elles peuvent s'affranchir d'un apport d'engrais azoté grâce à leur capacité à former des associations symbiotiques au sein de nodosités racinaires avec des bactéries du sol (les rhizobia) qui fixent l'azote de l'air. Cependant, la fixation symbiotique n'est pas toujours optimale ; elle est très sensible aux stress abiotiques et dépend directement de l'efficacité symbiotique du partenaire bactérien. Les populations naturelles de rhizobia sont quantitativement et qualitativement hétérogènes et peuvent aboutir à des symbioses inefficaces.

Une approche pluridisciplinaire a été menée afin d'évaluer l'impact du génotype de pois et des rhizobia qui nodulent cette espèce sur l'établissement et l'efficacité de la symbiose fixatrice d'azote. Des essais ont été réalisés en serre sur une collection de 104 accessions de pois avec des historiques de sélection et des origines géographiques diverses. Ces 104 accessions ont été inoculées par un mélange de cinq souches de *Rhizobium leguminosarum* sv. *viciae* (Rlv) choisies pour leur diversité. Une forte variation du choix entre les partenaires symbiotiques a été observée. Ceci a permis de mettre en évidence des liens entre la diversité génétique des accessions de pois et l'établissement préférentiel de la symbiose avec certaines souches de Rlv. Une expérimentation complémentaire sur un sous-ensemble de 18 génotypes de pois, inoculés chacun séparément avec chacune des cinq souches de Rlv, a révélé que la plante ne s'associe pas toujours préférentiellement avec la souche de rhizobium qui permet la fixation symbiotique la plus efficace. Des effets d'interaction pois x rhizobium ont été mis en évidence.

Cette expérimentation a montré la grande variabilité de l'interaction symbiotique entre pois et Rlv et son importance pour l'établissement d'un rendement optimal. Des expérimentations supplémentaires permettront de préciser les déterminants génétiques de la plante et de la bactérie qui pilotent les capacités d'association des partenaires symbiotiques et/ou leurs efficacités.

Des stratégies d'inoculation des semences de pois par des bactéries rhizobiacées, qui sont actuellement très peu pratiquées en Europe, combinées à une meilleure prise en compte de l'interaction symbiotique dans les processus de création de variétés sont des leviers à travailler pour accroître les performances des légumineuses dans des systèmes de cultures à bas intrants.

Mots clés autres que dans le titre : pois, rhizobium, symbiose, compétitivité, efficacité, inoculation, création variétale

Effet de la double inoculation du pois chiche et de la lentille par des souches de rhizobium et de PGPR

Benjelloun 1,2; I.Thami Alami 2; J. Auragh3; E. Berrahou3; S.M. Udupa4, A.Douira1

1Laboratoire de Botanique, Biotechnologie et de Protection des Plantes, Département de Biologie, Faculté des Sciences de Kenitra, Université Ibn Tofayl, BP 242, Kénitra, Morocco.

2Institut Nationale de la Recherche Agronomique (INRA), B.P.415, Rabat, Morocco 3Laboratoire de Microbiologie et de Biologie moléculaire, Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université Mohammed V, BP 10 14, Rabat, Maroc. 4ICARDA-INRA Cooperative Research Project, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), B.P. 6299, Rabat, Morocco

Les légumineuses alimentaires jouent un rôle socio-économique très important et occupent une place considérable dans le régime alimentaire des pays du bassin méditerranéen. Cependant, la situation actuelle de leur productivité au Maroc est en régression continue face à une demande accrue du consommateur. Dans le cadre d'amélioration de cette productivité, toute en limitant l'utilisation des engrais chimiques nocifs, il est nécessaire de soutenir l'utilisation des biofertilisants à base de microorganismes bénéfiques pour une agriculture durable et protectrice d'environnement. C'est dans cette perspective que s'inscrit l'objectif de cette recherche qui vise à contribuer à l'amélioration du rendement du pois chiche et de la lentille, comme étant les deux légumineuses les plus consommées au Maroc après la fève, en utilisant des biofertilisants à base de bactéries de la rhizosphère (rhizobium et PGPR).

Suites aux résultats des prospections et des essais du diagnostic du besoin à l'inoculation du pois chiche et de la lentille qui ont révélé la nécessité d'apporter un biofertilisant à base de souches Rhizobium fixatrices d'azote et de microorganisme solubilisant le phosphore, un autre essais de réponse à l'inoculation de ces deux cultures par un biofertilisant à base de souches Rhizobium (L3 et L43 pour la lentille et Pc72 et Pc100 pour le pois chiche) et de microorganisme solubilisant le phosphore PGPR (M131 et P1S6) a été installé aux niveaux des deux sites : Merchouch et Ain Sbit afin de tester l'effet de cette double inoculation sur la nodulation, la fixation biologique de l'azote et le rendement de ces deux légumineuses en grain et en paille. L'expérimentation a été menée en bloc aléatoire complet en 4 répétitions pour chaque traitement, 16 traitements ont été appliqués pour chaque culture et dans chaque site.

Les résultats de cet essai ont montré la présence d'une amélioration significative du rendement en grain et en paille du pois chiche et de la lentille dans les deux sites suite à une inoculation par les souches des rhizobiums P72 et P100 pour le pois chiche et L3 et L43 pour la lentille, cette amélioration est encore plus importante lors d'ajout des PGPR (M131 et P1S6). Au stade floraison on remarque que l'inoculation du pois chiche par les souches P72 et P100 améliore la nodulation et la production en matière sèche par rapport au témoin NOPO, ces résultats ont été amélioré suite à une double inoculation PGPR – rhizobium. Les mêmes remarques ont été enregistré lors de l'inoculation de la lentille par les souches L3 et L43 au niveau des deux sites Merchouch et Ain Sbit.

Mots clés : Inoculation, pois chiche, lentille, rhizobium, PGPR

UMT ALTER'N : Connaître les sources alternatives d'azote (legumineuses et produits résiduaux organiques) pour gérer des systèmes de culture à faibles pertes azotées et moins dépendants aux engrais de synthèse

Anne Schneider, animatrice de l'UMT Alter'N (Terres Inovia, DEO)
Caroline Colnenne, animatrice adjointe de l'UMT Alter'N (INRA Agronomie)
Stéphane Cadoux (Terres Inovia, DEO)
Pierre Cellier (INRA Ecosys)
Jean-Louis Drouet (INRA Ecosys)
Sabine Houot (INRA Ecosys)
Marie-Hélène Jeuffroy (INRA Agronomie)
Cécile LeGall (Terres Inovia, DEO)
Raymond Reau (INRA Agronomie)

Agréée par le ministère de l'agriculture en 2015, l'UMT Alter'N vise à renforcer la capacité à faire du conseil stratégique pour l'insertion des légumineuses (fixatrices d'azote atmosphérique) et la valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire (MAFOR) dans les systèmes de culture productifs et à faibles pertes azotées. Son objectif est donc de produire des références et de mettre à disposition connaissances et outils opérationnels qui contribuent à ce que les acteurs du monde agricole et du monde de l'environnement puissent diagnostiquer, concevoir, évaluer et gérer des systèmes de culture à faibles pertes azotées qui intègrent ces sources alternatives d'azote.

La priorité est donnée à la synthèse des acquis en renforçant l'analyse commune afin de fournir des éléments clairs et validés collégialement pour de l'opérationnel sur la gestion des systèmes utilisant ces sources alternatives, en complément plus ou moins conséquent de l'azote minéral industriel.

Le programme de travail comprend quatre axes thématiques en plus de l'axe de gestion :

- Axe 1. Appréhender les pertes azotées: interactions, méthodes et outils adaptés aux sources alternatives
- Axe 2. Connaître les dynamiques spécifiques de l'azote disponible issu des légumineuses et des PROs
- Axe 3. Tester, concevoir et évaluer des systèmes de culture avec sources
- Axe 4. Diagnostiquer les pertes, concevoir et gérer des systèmes N-efficaces avec les acteurs des territoires et des filières

Basée à Grignon, l'UMT Alter'N est portée par Terres Inovia et l'UMR Agronomie et l'UMR Ecosys de l'INRA. Elle implique également l'Acta, Arvalis-Institut du Végétal et ITB dans son comité de pilotage ainsi que les représentants du RMT « Fertilisation et Environnement », et du RMT « Systèmes de Culture innovants ». Les travaux de l'UMT se positionnent au carrefour de différents réseaux partenariaux des membres de l'UMT sur les trois thématiques « azote et environnement », « matières fertilisantes d'origine résiduaire » et « légumineuses et systèmes de culture », en lien avec plusieurs SOERE, l'UMR INRA SAS, l'UMR AgroEcologie de Dijon, l'UMR AGIR de Toulouse, l'UR AgrolImpact de Laon, l'ESA Angers, ainsi que des réseaux européens et internationaux.

Mots clés autres que dans le titre : partenariat UMT, azote, fixation symbiotique, produits résiduaux organiques, conseil stratégique

Sélection variétale du niébé (*Vigna unguiculata* L. walpers) : amélioration du potentiel de rendement par la combinaison de différents mécanismes de tolérance à la sécheresse.

MAHAMAT H. Halimé^{1,2}, SINE Bassirou¹, DIANGAR M. Moussa³, LO Sassoum^{1,4}, NDOYE Ibrahima², VADEZ Vincent⁵ and CISSE Ndiaga¹

- 1) Centre d'étude régional pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse, CERAAS, Thiès Sénégal
- 2) Université Cheikh Anta Diop, UCAD, Dakar, Sénégal
- 3) Institut Sénégalais de Recherche Agronomique ISRA, Centre National de Recherche Agronomique de Bambey, Sénégal
- 4) University of California Riverside, UCR, USA
- 5) International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Patancheru India

Auteur correspondant : MAHAMAT H. Halimé, mahamathissenehalime@yahoo.fr

Le niébé est une importante légumineuse pour les populations de la zone soudano-sahélienne d'Afrique. Le déficit hydrique est un facteur qui diminue considérablement le rendement dans cette zone. Le défi des programmes de sélection de la région est de développer des variétés avec un rendement élevé et une résistance au déficit hydrique durant tout le cycle de la plante. Une étude agro-physiologique des réponses au déficit hydrique d'une population de lignées recombinantes a été réalisée. La population est issue du croisement entre Mouride et IT93K-503-1, deux génotypes avec différents mécanismes de tolérance. L'objectif était l'introgression des caractères de capacité de survie et de reprise observé chez IT93K-503-1 à Mouride pour améliorer sa tolérance au déficit hydrique intermittent. Le rendement moyen de la population sous déficit hydrique intermittent et terminal a été supérieur à 2.000 kg/ha ce qui est considérable comparé au rendement moyen du niébé dans la région (500 kg/ha). Le poids 100 graines a été positivement corrélé au rendement et a été plus élevé pour les plantes sous déficit hydrique intermittent comparé aux témoins.

L'indice de surface foliaire (ISF) a diminué tandis que la température foliaire a augmenté significativement sous déficit hydrique. L'ISF a été négativement corrélé au rendement durant la phase végétative sous condition de stress terminal et témoin. Sous stress intermittent le premier stress a réduit l'ISF de la population donnant une corrélation positive avec le rendement. L'ISF et la température foliaire sont corrélés aux variables de rendement sous les deux conditions de déficit hydrique avec une bonne héritabilité. Les meilleures lignées de la population ont été réintroduites dans un deuxième essai et ont eu des rendements élevés sous les deux déficits hydriques. Sous stress intermittent ces lignées ont eu une ISF similaire à celui de IT93K-503-1 avec une diminution de l'ISF pendant le premier stress et une augmentation à la reprise. Sous stress terminal la température foliaire de ces lignées a été plus faible que celle de Mouride. Ces lignées ont probablement combinées les mécanismes de tolérance des deux parents et pourront être utilisées pour développer des variétés avec un rendement élevé sous différentes conditions hydriques. Les corrélations significatives entre les variables de rendement et les paramètres agro-physiologiques et la simplicité des mesures de ces paramètres montrent qu'ils peuvent être utilisés pour le phénotypage au champ dans la sélection pour la tolérance à la sécheresse.

Mots clés autres que dans le titre : niébé, déficit hydrique intermittent et terminal, rendement, caractères agro-physiologiques, indice de surface foliaire (ISF), température foliaire, population de lignées recombinantes.

Effets de la nutrition azotée et du génotype de la plante sur la résistance de *Medicago truncatula* à *Aphanomyces euteiches*

Thalineau E., Fournier C., Wendehenne D., Truong HN., Jeandroz S.

Agroécologie, AgroSup Dijon, CNRS, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Malgré leur intérêt alimentaire, économique et agronomique, les légumineuses ne représentent que 5% des surfaces cultivées en Europe. Les stress biotiques et abiotiques sont des facteurs limitant de leur utilisation. Parmi les stress identifiés, le microorganisme (oomycète) pathogène *Aphanomyces euteiches* (Ae), est considéré comme le facteur majeur responsable de l'instabilité du rendement chez les légumineuses cultivées comme le pois, la lentille, les fèves ou la luzerne. Il peut conduire à de très lourdes pertes, puisque qu'aucun contrôle chimique efficace du développement du pathogène n'est disponible. Il semble donc important d'améliorer l'adaptation de ces plantes aux stress pour envisager l'augmentation de leur utilisation. Des études de génétique ont permis l'identification de plusieurs loci impliqués dans la résistance de *Medicago truncatula* (Mt), la légumineuse modèle à Ae.

Conjointement au déterminisme génétique de la résistance mis en évidence, les conditions environnementales, dont la disponibilité en nutriments, sont connues pour jouer un rôle sur le niveau de la résistance. Il est décrit que la disponibilité en azote (N) est un facteur important pouvant affecter les interactions entre les plantes et les pathogènes dont Mt et Ae. Les études réalisées dans notre équipe sur ce pathosystème ont pour objectifs l'analyse des effets de la nutrition azotée et du génotype de la plante sur la résistance de Mt à Ae. Pour cela, deux conditions nutritives (présence et carence en azote) et dix génotypes de plantes sont testées. Le degré de résistance ou de sensibilité de la plante est estimé selon différents paramètres macroscopiques et moléculaires. Les résultats montrent que la carence en nitrate *in vitro* module la résistance et que ces effets sont dépendants des génotypes de plantes étudiés. En effet, en carence en nitrate le génotype F83005.5, sensible à Ae, devient encore plus sensible à ce pathogène contrairement au génotype A17, tolérant à Ae, qui devient plus résistant. Les études sont poursuivies par l'analyse de l'expression de gènes impliqués dans le métabolisme azoté et dans les réponses de défense et la quantification de composés du métabolisme secondaire. En perspective ces travaux pourront déboucher sur l'étude en conditions symbiotiques de l'effet d'une carence en azote sur la résistance de Mt à Ae et contribuer ainsi à mieux comprendre l'impact de d'une agriculture à bas intrants sur la résistance des légumineuses à des stress biotiques.

Mots clés autres que dans le titre : Génotype, nutrition, azote, stress biotique

La levée de dormance, capacité germinative des Medics après différentes techniques de scarification (physique, chimique et mécanique)

Alane F.2chabaca.R1, Ouafi .L1, Abdelguerfi-Laouar.M 1, Abdelguerfi A.1

1 et 3Ecole Nationale supérieur agronomique, Harrach,

2 Institut National de recherche d'agronomie INRAA Baraki,

Les médics sont des fourrages annuels très intéressants dans les pâturages des parcours steppiques et méditerranéens. Comme les autres légumineuses, les graines sont sujetes à des dormances ce qui retarde et réduit la germination. La réponse de ces espèces (*M. polymorpha*, *M. intertexta*, *M. ciliaris*, *M. truncatula*, *M. muricoleptis*) à la scarification mécanique, physique et chimique, pour lever la dormance, a été étudiée. La germination est presque totale (atteint les 100%) et rapide (24h) après scarification au papier de verre, ce qui démontre que la dormance est exclusivement imposée par les téguments de la graine. Le trempage dans l'eau bouillante (20 secondes par population), le passage dans l'acide sulfurique pendant 5 et 180 mn, le passage au congélateur et au réfrigérateur (respectivement deux heures et 5 jours), et le passage dans l'étuve à 115°C pendant 20 minutes éliminent partiellement la dormance. Par contre, le passage dans le tube digestif d'un ovin, suivi d'un test de germination possède le même effet que le témoin (sans traitement). L'exposition des graines à une ultra-basse température à -196°C (azote liquide) pendant 25 minutes améliore la germination et la vitesse de germination des graines de toutes les espèces citées ce qui est comparable aux résultats des graines scarifiées au papier de verre.

Mots clés autres que dans le titre : scarification, Medics, populations, germination, dormance, légumineuses fourragères.

Effet de l'application des oligo-éléments (Zinc et Manganèse) sur les paramètres agronomiques et la qualité nutritionnelle de la lentille dans la zone semi-aride d'Abda, Maroc

Okbi B. ^{(1,2)*}, K. Alahiane ^(1,2), E. El Mzouri⁽¹⁾ Et J. Amzil⁽²⁾

¹ : *Institut National de la Recherche Agronomique BP 589- Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settât, Maroc*

² : *Université Hassan 1^{er}, Faculté des Sciences et Techniques de Settât, Complexe Universitaire, route de Casablanca, Km 3,5 BP 577, Settât, Maroc*

La lentille (*Lens culinaris* Medik.) est une légumineuse très importante vue sa richesse nutritionnelle en protéines, en minéraux et en vitamines. Elle joue un rôle agronomique très important dans les systèmes de cultures des zones semi-arides du Maroc telles que la zone d'Abda. Cette zone est connue par des niveaux assez bas en Zinc et en Manganèse. L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de l'application foliaire des oligo-éléments Zinc et Manganèse sur les traits agronomiques et la qualité nutritionnelle de la lentille conduite dans la zone d'Abda. Les traitements appliqués en plus du témoin (C) sont : l'apport foliaire de 5 kg/ha de sulfate de zinc (Zn), 3 kg/ha de sulfate de manganèse (Mn) et la combinaison de ces deux éléments (Zn+Mn avec 5 kg/ha pour Zn et 3 kg/ha pour Mn) avec une concentration de 1 % pour les différents traitements. L'évolution de la biomasse aérienne a connu une forte croissance jusqu'au stade formation et remplissage des gousses (30,94 qx/ha) tout en marquant un ralentissement au stade fin ramification. Par la suite, la production de matière sèche s'est ralentie durant le stade formation et remplissage des gousses et maturité. Pour ce qui est du rendement biologique, il a été assez élevé chez les plantes du traitement Zn+Mn (4,13 t MS/ha) et chez les plantes du traitement Zn (3,78 t MS/ha). L'effet de ces traitements sur le rendement en grains de la lentille n'a pas montré de différence significative avec des valeurs qui varient de 12,43 qx/ha (Zn+Mn) à 17,15 qx/ha pour les plantes témoin (C). En revanche, les traitements Zn et Zn+Mn ont amélioré significativement la teneur en Zinc dans les feuilles de la lentille soit 83 % et 72 % respectivement plus que le témoin. De même, les traitements Mn et Zn+Mn ont amélioré la teneur en Manganèse dans les feuilles. En conclusion, l'application foliaire du Zinc et du Manganèse seuls ou combinés a montré son effet aussi bien sur les traits agronomiques de la lentille que sa qualité nutritionnelle.

Mots clés autres que dans le titre : Lentille, Zinc, Manganèse, Fertilisation, Semi-aride, Abda.

Effet de l'application des agents chimiques anti-stress (Tébuconazole et Acide fulvique) sur les paramètres agronomiques de la lentille dans la zone semi-aride d'Abda, Maroc

Alahiane K.^{(1,2)*}, B. Okbi^(1,2), E. El Mzouri⁽¹⁾, J. Amzil⁽²⁾ Et Y. Koulali⁽²⁾

¹: *Institut National de la Recherche Agronomique BP 589- Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settât, Maroc*

²: *Université Hassan 1^{er}, Faculté des Sciences et Techniques de Settât, Complexe Universitaire, route de Casablanca, Km 3,5 BP 577, Settât, Maroc*

La lentille (*Lens culinaris* Medik.), occupe une place très importante dans les systèmes de cultures des zones semi-arides du Maroc. Le stress hydrique constitue une contrainte principale pour cette culture. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de l'application de certains agents chimiques anti-stress (Tébuconazole et Acide fulvique) sur les paramètres agronomiques de la lentille. Les essais ont été installés au niveau de la station expérimentale de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) de Jemâa Shaïm (plaine d'Abda) en cultures pluviales. Les traitements appliqués, en carré latin avec quatre répétitions, sont: en plus du témoin (C), l'enrobage des semences avec le Tébuconazole (SC), l'enrobage des semences avec l'acide fulvique (SFA) et la pulvérisation de l'acide fulvique au stade floraison (LFA). Les observations réalisées sont la densité de peuplement, état de la culture, la hauteur et la croissance du couvert végétal, les stades phénologiques et les rendements biologiques et en grains. Les résultats obtenus montrent l'effet significatif des traitements appliqués sur les comportements phénologiques de la lentille. De même, le rendement biologique a montré une diminution significative pour les différents traitements allant de 5,91 à 5,03 t/ha. En revanche, pour ce qui est des composantes de rendement, les traitements LFA ont augmenté significativement le rendement en grains qui passe de 16,89 qx/ha pour le témoin à 19,55 qx/ha pour le traitement LFA. De même, le traitement SC a permis d'avoir un indice de récolte hautement significatif (40,2 %) suivi par SFA (38,9 %) et LFA (39 %). Le poids de mille graines a aussi été significativement élevé chez le traitement SC (42 g). En conclusion, l'effet de l'application des agents chimiques anti-stress a été remarquablement observé chez la lentille conduite sous les conditions semi-aride d'Abda.

Mots clés autres que dans le titre : Lentille, Stress hydrique, Tébuconazole, Acide fulvique, Semi-aride, Abda.

Adaptation des types variétaux de pois dans différentes régions françaises : réponse du modèle AZODYN-pois

Maud Bénézit(1), Annabelle Larmure(2), Nathalie Munier-Jolain(2), Marie-Hélène Jeuffroy(1)

(1) UMR Agronomie INRA, AgroParisTech, Université Paris Saclay, 78850 Thiverval-Grignon, France

(2) UMR agroécologie, Dijon

Le pois (*Pisum sativum* L.) est une culture particulièrement sensible aux stress abiotiques tout au long de son cycle, de l'implantation à la phase d'élaboration du rendement (Schneider and Huyghe 2015). Le contexte actuel de changement climatique augmente les incertitudes concernant ces stress (Stocker et al. 2013). Or le climat est une cause importante de baisse de rendement en pois de printemps. On a par ailleurs observé depuis quelques années une évolution de l'aire géographique de production de la culture : le pois a quitté des zones à potentiel de rendement élevé pour s'implanter dans des zones moins favorables. Pour échapper en partie à ces stress abiotiques, les sélectionneurs ont développé, depuis une quinzaine d'années, des variétés de pois d'hiver, à semer à l'automne, plus résistantes au gel et à floraison plus précoce ainsi que des variétés dites « Hr » réactives à la photopériode permettant d'être implanté de manière plus précoce encore. Pourtant, le pois d'hiver peine à s'implanter et les surfaces stagnent à 25 000 ha depuis le début des années 2000. Notre objectif est d'étudier, pour chaque type de pois, les performances des différents types variétaux dans des climats de différentes régions contrastées françaises, afin de fournir des informations pour adapter le choix du type variétal à la fréquence et à l'intensité des stress rencontrés. Dans ce but, nous avons adapté le modèle de culture AZODYN-Pois (Jeuffroy et al. 2012) aux différents types variétaux et à la prise en compte des différents stress abiotiques. Le modèle a ensuite été utilisé afin d'évaluer les trois types variétaux sur les dix années climatiques écoulées dans différents départements français dans le but d'identifier les types de pois les mieux adaptés à chaque environnement (région x climat). Nous montrons ici le potentiel du pois d'hiver pour différents climats français. L'utilisation d'AZODYN-Pois permettra également, dans un deuxième temps, d'explorer des combinaisons inédites de caractères afin de concevoir des idéotypes de pois et de faire émerger de nouvelles variétés au sein de chaque type.

Références :

Schneider, Anne, and Christian Huyghe. 2015. "Les Légumineuses."

Stocker, T. F. et al. 2013. "Technical Summary - Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change." 33– 115.

Jeuffroy, Marie-Hélène, Aurélie Vocanson, Jean Roger-Estrade, and Jean-Marc Meynard. 2012. "The Use of Models at Field and Farm Levels for the Ex Ante Assessment of New Pea Genotypes." *European Journal of Agronomy* 42:68–78.

Mots clés autres que dans le titre : pois, adaptation, sensibilité, stress abiotiques, variétés, modèle

Interactions génotype x environnement en pois d'hiver

V. Biarnès¹ et C. Pontet²

1 Terres Inovia- Avenue Lucien Bretignières – 78 850 Thiverval-Grignon

*2 Terres Inovia- INRA de Toulouse, Bâtiment AGIR - 24 chemin de Borde Rouge, CS 52627 - 31326
Castanet-Tolosan*

Une analyse des interactions génotype x environnement a été effectuée sur le réseau d'essais de post-inscription pois d'hiver coordonné par Terres Inovia en 2015. Dix variétés de pois d'hiver, parmi les plus récemment inscrites, ont été implantées dans 25 sites répartis sur plusieurs régions françaises.

Les principaux résultats indiquent que :

- L'interaction génotype x environnement représente 4,3 % de la variation totale observée pour les rendements. Elle est supérieure à l'effet variété mais bien inférieure à l'effet milieu (essai), qui explique à lui seul plus de 80 % de la variation totale.
- Des groupes de variétés aux caractéristiques et au comportement proches et des groupes de milieux induisant les mêmes classements variétaux ont pu être mis en évidence.
- Des variables agro-climatiques, calculées à partir des stades de développement des variétés et des données climatiques dans chaque milieu, ont été intégrées à l'analyse de variance comme covariables pour mieux expliciter l'interaction, ce qui a permis d'identifier des sensibilités variétales à certains facteurs abiotiques.

Les données du réseau 2016 permettront de compléter ces résultats. L'ajout de données du réseau CTPS pourra également permettre de mieux définir l'adaptation des variétés aux milieux.

Mots clés autres que dans le titre : variables agro-climatiques, sensibilités variétales

Unravelling cluster root development in white lupin
CLuster root development

Benjamin Peret

Plant development is continuous throughout their lifetime and reflects their ability to adapt to their environment. This developmental plasticity is very obvious in the development of the root system. Surprisingly, the fundamental mechanisms of root development have been studied into great details but the effect of the environment on its plasticity is still largely unknown. Our project aims at understanding Cluster Root development in white lupin (*Lupinus albus*). Cluster roots are fascinating structures dedicated towards efficient phosphate acquisition.

Mots clés autres que dans le titre : Hormone, development, root, adaptation

Diversifier les variétés de pois pour répondre aux enjeux actuels

Christophe Lecomte, Gérard Duc, Anthony Klein et Judith Burstin

La production agricole en France et en Europe doit répondre aujourd'hui à des enjeux importants :

- Diversifier les systèmes de culture en diminuant les intrants
- Introduire davantage de protéagineux dans les rotations et notamment chez le pois développer les cultures d'hiver
- Adapter les cultures aux changements climatiques, en particulier l'élévation des températures, l'augmentation de la nébulosité, la baisse du rayonnement et l'augmentation du stress hydrique.

Pour y répondre et définir les nouveaux idéotypes, la recherche met en œuvre des outils permettant d'anticiper les évolutions à venir et d'améliorer les performances des programmes de sélection. Ainsi la modélisation d'un critère particulier comme la résistance au gel hivernal permet, dans le contexte de réchauffement climatique qui entraîne une moindre acclimatation des plantes, de définir des idéotypes à seuil de résistance élevé et à endurcissement rapide. Le modèle de culture Azodyn-Pois permet de simuler des situations non explorées par l'expérimentation : nouvelles zones de production, températures plus élevées.... Ainsi, dans le cadre d'un programme PSDR en Bourgogne, nous avons pu définir des idéotypes de pois plus précoces à poids de 1000 grains moyens. Par ailleurs, dans le cadre du projet "Investissement d'Avenir" PeaMUST, nous développons un programme de sélection génomique permettant de sélectionner de nouvelles lignées performantes, adaptées aux contextes pédoclimatiques, directement à partir de leurs valeurs génétiques, sans passer par l'étape du phénotypage au champ qui est coûteuse et soumise à de nombreux aléas.

Grâce à la sélection, les potentiels de rendement observés ont augmenté ces dernières années. Le positionnement plus précoce du cycle des pois d'hiver, leur permettant d'échapper aux stress de fin de cycle de plus en plus marqués, les prédestinent naturellement à une part de marché croissante. Déjà des progrès importants ont été obtenus sur la résistance au gel, la résistance à la verse et aux maladies. Les pois d'hiver de type "Hr" réactifs à la photopériode, permettant des semis plus précoces sans être exposés aux gels tardifs de fin d'hiver, encouragent à une marge de progrès supplémentaire en termes de précocité et de potentiel de rendement.

Mots clés autres que dans le titre : Idéotypes, Facteurs limitants, Changement climatique, Modélisation, Sélection génomique

Analyse du développement végétal et du rendement de différentes lignées de pois protéagineux d'été (*pisum sativum*) et de féveroles d'été (*vicia faba*) cultivés comme variété unique ou en mixture avec des céréales sur une ferme biologiques au Luxembourg.

Evelyne Stoll - Intitute for Organic Agriculture Luxembourg a.s.b.l. (IBLA), Hanna Heidt - IBLA, Torsten Bohn - Luxembourg Institute of Science and Technology, Kevin Dewitte - University of Gent, Stéphanie Zimmer – IBLA

ASToll, E.1, Heidt, H.1, Bohn, T.2, Kevin Dewitte³ et Zimmer, S.1,3

Institute for Organic Agriculture - IBLA, 13, rue Gabriel Lippmann, L-5365, Munsbach, Luxembourg, stoll@ibla, www.ibla.lu

2 Luxembourg Institute of Science and Technology - LIST, Environmental Research and Innovation (ERIN) Department, 41, rue du Brill, L-4422, Belvaux, Luxembourg

3 Department of applied biosciences, Faculty of bioscience engineering, Ghent University, V. Vaerwyckweg 1, Ghent.

A cause des déficits de protéines en Europe et les nombreux impacts environnementaux associés aux importations de soja d'outremer, il est important d'augmenter la culture régionale de légumineuses à grains pour la production régionale de fourrage riche en protéine. Pour augmenter de nouveau les surfaces cultivées de légumineuses à grains, des nouvelles variétés sont indispensables: il nous faut des variétés à haut et stable rendement, de bonne santé et résistantes aux maladies, aux pestes, à la verse et adaptées aux conditions locales. Dans ce contexte, des différentes lignées et nouvelles variétés de pois protéagineux d'été et féveroles d'été françaises, belges et lettonnes étaient cultivées en culture unique et en mixture avec des céréales dans le cadre du projet européen COBRA.

Dans la saison végétale 2014, un essai en ligne avec 14 différentes lignées et variétés de pois protéagineux d'été et 10 différentes lignées et variétés de féveroles d'été a été établi sur une ferme biologique au Luxembourg (Bous: 210m au-dessus du niveau de la mer, précipitation annuelle moyenne: 684mm, température annuelle moyenne: 9.4°C, type de sol: limoneux). Les lignées et variétés étaient semées sans répétitions en 3 lignes à un mètre de longueur avec 25cm d'espace entre les lignes; la ligne centrale étant la ligne de récolte. Les paramètres évalués étaient: levée du semis, début de la floraison, santé au moment de la floraison, Indice HEB (hauteur de la culture à la récolte / hauteur de la culture en floraison), résistance à la verse et à la récolte, maturité de la paille, des cosses et des grains à la récolte, structure du rendement.

Des différences marquantes ont pu être observées entre les différentes lignées et variétés en ce qui concerne leur adaptabilité aux conditions locales et les différents paramètres évalués.

En générale, les lignées et variétés de pois protéagineux françaises et belges en culture uniques étaient plus résistantes à la verse et ont réussi un meilleur rendement que celles de la Lettonie. Ceci peut être expliqué surtout par les types des pois protéagineux: les lignées et variétés françaises et belges étaient surtout du type normal et de courte hauteur, par contre celles de la Lettonie étaient surtout du type «afila», sans folioles et de haute taille.

Pour les féveroles, les rendements en culture uniques étaient tendanciellement plus hauts qu'en culture mixte, mais la culture en mixture a visiblement réduit l'infestation des grains par les larves du bruché de la fève (*Bruchus rufimanus*).

Acknowledgements

2nd call on Research of the CORE Organic ERANET, with funding from the Luxembourg National Research Fund (FNR) for the Project Coordinating Organic plant Breeding Activities for Diversity (COBRA) (INTER/ORGANIC/12/01). The authors would like to express their special thanks to the laboratory of the „Administration des Services Techniques de l'Agriculture Luxembourg“ (ASTA) and the family Johanns for their support.

Mots clés autres que dans le titre : projet européen COBRA

Effets de la variété de soja et de races de bradyrhizobium sur le rendement, la teneur en protéines et la fixation biologique de l'azote, sous des conditions de croissance fraîches en Allemagne.

Stéphanie Zimmer a,d, Monika Messmer b, Thorsten Haase c, Hans-Peter Piephoe, Anke Mindermann d, Hannes Schulz d, Antje Habekuß f, Frank Ordon f, Klaus-Peter Wilbois g, Jürgen Heß d

a *Institute for Organic Agriculture Luxembourg (IBLA), 13 rue Gabriel Lippmann (5365), Munsbach, Luxembourg, zimmer@ibla.lu*

b *Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Ackerstrasse 113 (5070), Frick, Switzerland*

c *Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Kölnische Str. 48-50 (34117), Kassel, Germany*

d *Universität Kassel, Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau (FÖL), Nordbahnhofstr. 1a (37213), Witzenhausen, Germany*

e *Universität Hohenheim, Fachgebiet Biostatistik, Fruwirthstr. 23 (70593), Stuttgart, Germany*

f *Julius Kühn-Institute (JKI), Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Resistance Research and Stress Tolerance, Erwin-Baur-Straße 27 (06484), Quedlinburg, Germany*

g *Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Kasseler Strasse 1a (60486), Frankfurt am Main, Germany*

Le soja (*Glycine max* (L.) Merr.) est en symbiose avec la bactérie *Bradyrhizobium japonicum* capable de fixer l'azote atmosphérique. Étant donné que ces bactéries ne sont pas indigènes dans les sols européens, les graines de soja doivent être inoculées avant le semis avec des races de *Bradyrhizobium* pour être capable de fixer l'azote et de réaliser leur potentiel de rendement. La culture du soja est encore nouvelle en Europe centrale et la sélection de variétés de soja précoces qui sont adaptées aux conditions de croissance fraîches, ne fait que commencer. Parmi ces basses températures en Europe centrale, la vaccination avec différents vaccins de *Bradyrhizobium*, a conduit à une nodulation insatisfaisante. Le but de l'étude était: (i) de tester la capacité des vaccins disponibles dans le commerce en ce qui concerne le rendement en grains de soja, la teneur en protéines et le rendement en protéines, (ii) d'étudier l'interaction des différents vaccins avec différentes variétés de soja pour deux sites en Allemagne sous des conditions de croissance fraîches pendant 3 ans et (iii) pour déterminer la variabilité de la fixation biologique de l'azote. Pendant trois saisons consécutives de 2011 à 2013, des essais de champ ont été mis en place sur un site géré organiquement à la Hessische Staatsdomäne Frankenhäusen (DFH) et sur un site géré classiquement à Quedlinburg (QLB). Trois variétés précoces de soja - Merlin, Bohémiens, Protina - ont été testés en combinaison avec quatre vaccins de *Bradyrhizobium* différents - Radicin N°7, NPPL-Hi Stick, Force 48, Biodoz Rhizofilm - par rapport à un témoin non inoculé. Le soja inoculé avec Radicin N°7 a échoué à former des nodules, et le rendement des cultures était identique au témoin non inoculé. Biodoz Rhizofilm, NPPL Hi-Stick et de la Force 48 sont adaptés à la culture du soja en Allemagne sous des conditions de croissance fraîches. Une inoculation efficace a augmenté le rendement en grains, la teneur en protéines et le rendement en protéines respectivement jusqu'à 57%, 26% et 99%. Le pourcentage d'azote provenant de l'air se situait entre 40% et 57%. Les interactions entre les variétés de soja et les vaccins étaient significatives pour la teneur en protéines et le rendement en protéines. Pour les deux sites testés, la variété Protina en combinaison avec le vaccin Biodoz Rhizofilm peut être recommandé pour le tofu, tandis que à DFH Merlin et Protina en combinaison avec Biodoz Rhizofilm sont aussi recommandés pour la production de fourrage.

Mots clés autres que dans le titre : légumineuses à grains, fourrage riche en protéines

Le manque d'information des agriculteurs luxembourgeois sur la culture de légumineuses à grains

Stéphanie Zimmer 1,4, Ulf Liebe 2, Jean-Paul Didier³, Jürgen Heß 4

1 Institute for Organic Agriculture Luxembourg (IBLA), 13 rue Gabriel Lippmann (5365), Munsbach, Luxembourg, zimmer@ibla.lu

2 Institute of Sociology, Universität Bern, Fabrikstrasse 8 (3012), Bern, Switzerland

3 Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et de la Protection des consommateurs, Service d'Economie Rurale, 115, rue de Hollerich (1741) Luxembourg, Luxembourg

4 Universität Kassel, Organic Farming & Cropping Systems, Nordbahnhofstr. 1a (37213), Witzenhausen, Germany

En Europe, la production de légumineuses à grains a diminué au cours des dernières années, alors que la demande de légumineuses a augmenté rapidement en raison de la croissance de la production de viande. Par conséquent, l'Europe importe des légumineuses à grains, principalement le soja, pour répondre aux besoins en protéines dans l'alimentation animale. Diverses enquêtes ont permis d'identifier les problèmes et les avantages de la culture locale de légumineuses à grains. Néanmoins, la culture de légumineuses à grains n'a toujours pas augmenté au cours des dernières années. Des études portant sur la raison pour laquelle les agriculteurs ne cultivent pas les légumineuses à grains font défaut. Dans la présente étude, nous avons sondé les connaissances des agriculteurs sur la culture des légumineuses à grains, les problèmes et les obstacles auxquels ils font face et les incitations nécessaires pour les agriculteurs à s'investir dans ces cultures. Nous avons envoyé un questionnaire à 1.373 agriculteurs situés au Luxembourg, dont 29% ont répondu à l'enquête. Les résultats montrent que seulement 17% de tous les agriculteurs qui ont répondu cultivent des légumineuses à grains; 88% des agriculteurs conventionnels n'en cultivent pas, tandis que 85% des agriculteurs biologiques en cultivent. Nous avons observé que les agriculteurs luxembourgeois estiment être mal informés sur la culture des légumineuses à grains (41%, n= 382); en général, les agriculteurs biologiques se sentent mieux informés que leurs collègues conventionnels. Les principaux obstacles à la culture de légumineuses à grains nommés par les agriculteurs luxembourgeois ne sont pas des problèmes économiques, mais un manque d'informations, de connaissances et de services de conseil pour la culture des légumineuses à grain (44%, n=315). Les incitations nécessaires pour commencer la culture des légumineuses à grains à l'avenir sont d'ordre économique. Même si les producteurs de légumineuses à grains ont mentionné plusieurs expériences négatives avec ces cultures, ils ne sont pas pour autant découragés par les mauvaises conditions économiques et apprécient les avantages agronomiques de cette culture. L'ensemble de nos résultats montre que les résultats de la recherche sur les légumineuses à grains devraient être mieux diffusés aux services de conseil et aux agriculteurs.

Mots clés autres que dans le titre : enquête des fermiers, cultivation des légumineuses à grains

La bruche, état des lieux en France : Biologie de l'insecte, Solutions actuelles limitées, Pistes de recherche

Raffiot Blandine (TI), Chrystel Deulvot (Inra)

La vente des graines de féveroles, en alimentation humaine est le plus rémunérateur mais exige un bon niveau de qualité visuelle avec un taux maximum de 3% de graines bruchées. Les dégâts de bruches sont des taches et des cavités circulaires sur les graines matures.

Rappel du cycle de vie et des différents stades de développements de l'insecte, de sa répartition géographique en France.

La forte pression bruche et les difficultés de maîtrise du ravageur présentent un frein à la culture de féverole en France.

La bruche de la féverole est présente sur tout le territoire, tandis que la bruche du pois étant, à l'heure actuelle surtout présente dans le sud de la France, mais présence sur le territoire s'agrandit, et remonte vers le nord, année après année.

La lutte chimique en culture et lors du stockage est la seule solution actuelle contre la bruche.

Les matières actives disponibles pour les producteurs de pois et de féveroles sont limitées, peu efficaces et la loi abeille engendre des limites réglementaires à l'utilisation des insecticides en culture.

Pour lors, il n'y a pas de variétés commercialisées de féveroles ni de pois tolérantes aux bruches.

Vers des recherches de solutions à moyen terme:

La sélection et la recherche se tournent vers de nouvelles pistes pour lutter contre les bruches. L'étude de nouveaux génotypes de féverole tolérants aux bruches, l'intégration de ces génotypes d'intérêt dans des programmes de création variétale, la recherche de gènes impliqués dans les mécanismes de tolérance aux bruches, utilisation de la sélection assistée par marqueurs pour compléter la sélection variétale classique.

Enfin une dernière piste prometteuse est la mise au point d'un attractif de synthèse pour piéger les bruches de la féverole.

En effet les bruches sont attirées par l'odeur émise par les plantes à la floraison, les composés organiques volatiles pourraient donc devenir de vrais outils de lutte contre ces ravageurs (voir présentation Ené Leppik INRA).

Mots clés autres que dans le titre : débouchés en alimentation humaine, vocs, génétique et SAM

L -egume : un modele générique pour simuler la croissance et le développement de légumineuses d'architectures contrastées

Lucas Faverjon - INRA UR4 URP3F :: Gaëtan Louarn - INRA URA URP3F

Prédire le rendement et la composition botanique de couverts multi-spécifiques reste problématique, principalement à cause des rétroactions complexes entre la compétition pour les ressources aérienne et racinaire et la morphogenèse des plantes. Les modèles individu-centrés pourraient permettre d'améliorer la représentation et la compréhension de ces interactions. Virtual Grassland est un modèle individu-centré de prairie développé pour répondre à cette problématique. Il inclut le modèle de morphogenèse des légumineuses L-egume, basé sur le formalisme L-system, et conçu pour rendre compte de la morphogenèse aérienne et racinaire des légumineuses fourragères les plus cultivées en réponse au rayonnement, à l'azote minéral et à l'eau. Il a pour but de simuler l'architecture aérienne, la distribution de densité de longueur racinaire, et la production de matière sèche de plantes individuelles sur un pas de temps journalier en réponse aux conditions météorologiques (température, rayonnement, précipitations) et aux itinéraires techniques (coupe, fertilisation azotée). Les paramètres ont été estimés pour six espèces contrastées sur la base d'une série d'expériences en serre. Le modèle a ensuite été évalué en conditions hydriques non-limitantes pour différentes combinaisons d'espèces sur un second jeu d'expériences en extérieur. Le modèle prédit correctement la croissance de plantes isolées et dense pour la dynamique de mise en place de la surface, de la hauteur, la densité de longueur racinaire, et la biomasse totale.

Mots clés autres que dans le titre : Morphogenèse - Luzerne - Trèfle blanc

Effet de la date de semis sur la production de luzerne l'année suivant l'implantation
Résultats d'essai de 3 dates de semis en été/automne 2014

Tinnière P.-A. ARVALIS - Institut du végétal, Station Expérimentale de la Jaillière, 44370 La Chapelle Saint-Sauveur

Protin P.-V. ARVALIS - Institut du végétal, Station Expérimentale de la Jaillière, 44370 La Chapelle Saint-Sauveur

Uijtewaal A. ARVALIS - Institut du végétal, Station Expérimentale de la Jaillière, 44370 La Chapelle Saint-Sauveur

Les légumineuses ont des besoins en lumière élevés et en températures modérées. La luzerne par exemple peut commencer à germer à partir de 3°C mais possède un optimum de température compris entre 18°C et 25°C pour la germination et entre 20 et 30°C pour le développement et la croissance des plantules (UNDERSANDER et al., 2011). Quelle que soit la légumineuse, la croissance des parties aériennes et des racines est ralentie quand la luminosité est réduite (GIST et MOTT (1957), cités par PFITZENMEYER, 1963). En été 2014, dans le cadre du projet SOS - Protein, Arvalis – institut du Végétal a conduit un essai visant à comparer la production de luzernières semées à trois dates différentes en fin d'été : 20/08, 16/09 et 01/10 sur la station expérimentale de La Jaillière (44) (sable argilo-limoneux sur altérite de schiste tendre (analyse de terre 16/7/2014 : 55 % sables, 30% limons et 14 % argiles, horizon 0-25 cm pHeau = 5.8, Ca/CEC = 49%, CEC = 5.8) . Le rendement des 4 coupes a été enregistré. La modalité implantée début octobre a été détruite du fait d'un défaut de peuplement à la suite d'une fonte des semis. En cumul sur les 4 cycles, la modalité semée le 20/08 a produit 2t MS/ha de plus que la modalité implantée le 16/09 (différence significative). La différence de rendement est attribuée principalement à la production du 1er cycle et plus marginalement à celle du 2nd cycle. Les résultats de cet essai confirment les constatations faites par les usines de déshydratation au fil des années. Une implantation sitôt après la moisson avec le retour des pluies permet de bénéficier de conditions de température et de rayonnement favorables au développement des luzernières avant la période hivernale. L'enracinement et la constitution de réserve racinaire assureront une production plus importante de fourrage dès la 1ère année de production.

Mots clés autres que dans le titre : perte de rendement, implantation, légumineuses, agronomie

Evaluation de lignées quasi-isogéniques de pois pour la résistance à *Aphanomyces euteiches* au champ

Rivière J-P1,2*, Lavaud C1,2*, Vetel P1,2, Mangin P3, Blanc N3, Marget P3, Declerck P4, Furet G5, Herbommez J-F6, Rouillet G7, Pilet-Nayel M-L1,2

1 UMR IGEPP, INRA, Agrocampus Ouest, Université Rennes 1, 35650 Le Rheu, France

2 UMT PISOM, INRA, Terres Inovia, 35650 Le Rheu, France

3 Domaine Expérimental d'Epoisses, INRA, 21110 Bretenières, France

4 RAGT2n, 28150 Louville la chenard Cedex, France

5 Limagrain Europe, 28130 Chartainvilliers Cedex, France

6 KWS-Momont, 59246 Mons en Pévele Cedex, France

7 Unisigma, GIE Recherche et Sélection, 60 480 Froissy Cedex, France

jean-philippe.riviere@rennes.inra.fr, clement.lavaud@rennes.inra.fr, 02.23.48.51.44/51.40

La pourriture racinaire due à *Aphanomyces euteiches* est l'une des maladies les plus dommageables sur la culture du pois en France. Aucune variété résistante n'est actuellement disponible. L'étude génétique de la résistance polygénique chez le pois a permis d'identifier sept principaux QTL contrôlant la résistance partielle (Hamon et al 2013). Ces QTL ont été introgressés dans différentes variétés de pois par Back-cross Assisté par Marqueurs (BAM), résultant en la création de lignées quasi-isogéniques (NILs, Lavaud et al 2015). Cette étude a visé à évaluer les niveaux de résistance des NILs créées, en vue de valider l'effet des QTL de résistance. Un total de 157 NILs et 18 lignées témoins de pois, porteuses d'aucun, un, deux ou trois des sept principaux QTL de résistance, a été évalué pour la résistance à *A. euteiches* au champ sur un réseau multi-local de 6 pépinières infestées et sur deux années (2014, 2015). Deux variables ont été mesurées sur chaque lignée : l'indice de nécrose racinaire (INR) sur une échelle de 0 à 5, et l'indice de dépérissement aérien (IDA) sur une échelle de 0 à 8. Les NILs porteuses d'un QTL à effet majeur, en combinaison avec des QTL à effets mineurs, ont présenté des niveaux accrus de résistance partielle au champ par rapport aux NILs dépourvues de QTL, dans différents fonds génétiques. Certaines NILs comportant des combinaisons de QTL à effets mineurs ont également montré un niveau réduit de sévérité de la maladie. Ces résultats ont montré que les effets de QTL de résistance à *A. euteiches* pouvaient être conservés dans de nouveaux fonds génétiques. Associés aux résultats précédemment obtenus en conditions contrôlées (Lavaud et al 2015), ils permettent d'apporter des éléments de choix de QTL à combiner en sélection assistée par marqueurs pour augmenter l'efficacité de la résistance partielle à *A. euteiches* dans les futures variétés de pois.

Hamon et al. (2013). BMC Plant Biology 13:45

Lavaud et al. (2015). Theor Appl Genet, 128:2273-2288

Mots clés autres que dans le titre : pourriture racinaire, NILs, QTL, réseau multi-local

La gestion des ravageurs des protéagineux au champ : programme de travail de Terres Inovia et partenariats

Céline Robert 1 ; Laurent Ruck 2; Véronique Biarnès 1

1 Terres Inovia- Avenue Lucien Bretignières – 78 850 Thiverval-Grignon

2 Terres Inovia- Chambre d'Agriculture de la Marne - Complexe agricole du Mont Bernard - route de Suippes - CS 90525 - 51009 Chalons-en-Champagne

Les ravageurs sont une problématique importante pour les protéagineux, en particulier pour le pois et la féverole. Afin de réduire les interventions, dans une optique de production durable, plusieurs leviers peuvent être activés :

- Acquérir des références sur les seuils de nuisibilité afin de n'intervenir que si nécessaire
- Utiliser des produits efficaces afin d'éviter les interventions multiples
- Développer des stratégies de gestion alternatives.

Dans cette optique, Terres Inovia mène, seul ou en partenariat, de nombreux travaux afin d'améliorer la gestion au champ de la bruche de la féverole, de la sitone, du puceron vert du pois et du puceron noir de la fève qui sont parmi les ravageurs les plus importants de ces cultures.

Mots clés autres que dans le titre : ravageurs, bruche, sitone, puceron

Désherbage mécanique des protéagineux : actions en coursFanny Vuillemin ¹*1 Terres Inovia- Avenue Lucien Brétignières – 78 850 Thiverval-Grignon*

Dans un contexte de réduction du nombre d'herbicides homologués sur protéagineux en post-levée, compléter le désherbage avec des outils mécaniques pourrait être intéressant. La station Terres Inovia de Nancy met en place différents essais :

1. pour mieux connaître la sélectivité de la herse étrille, de la houe rotative et de l'étrille rotative sur pois de printemps, à différents stades de développement.
2. pour évaluer l'efficacité de la herse étrille ou de la houe rotative en complément ou non avec des herbicides de prélevée sur féverole de printemps.

Des essais testant différents itinéraires de désherbage mixte seront mis en place sur pois de printemps ultérieurement.

La Wallonie, terre d'avenir pour les protéines de pois

Produire en Wallonie des pois protéagineux adaptés aux procédés de bioraffinage de l'usine Cosucra et à l'obtention de concentrés de protéines de pois de très haute qualité, tout en offrant une possibilité de diversification rentable et de produire des bénéfices écosystémiques pour l'agriculture wallonne.

Olivier ROISEUX, Wal.Agri ; Olivier Maudoux, Cosucra ; Bernard Bodson, ULg-GxABT ; Christine Cartrysse, APPO asbl ; Françoise Bodson, Pôle WagrALIM

Améliorer la teneur en protéines des pois protéagineux produits dans la région et surtout leur adéquation aux besoins industriels. Cet objectif sera réalisé grâce à un screening des variétés adaptées aux conditions agronomiques de la région, au développement de techniques culturales stimulant l'activité symbiotique de fixation par les plantes de l'azote contenu dans l'atmosphère et à l'organisation de la collecte des récoltes et de la préparation de lots répondant aux critères de qualité souhaités.

Mots clés autres que dans le titre : légumineuses, variété, agronomie, filière, bio-raffinage, nutrition humaine

Le projet FlexiProcess
Impact de l'introduction de farine de légumineuse dans un produit céréalier courant

A-F. Monnet ^{*(1,2)}, M-H. Jeuffroy⁽²⁾, C. Michon⁽¹⁾

(1) UMR Ingénierie Procédés Aliments, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 91300 Massy, France

(2) UMR Agronomie, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval-Grignon, France

** anne-flore.monnet@agroparistech.fr*

L'objectif du projet Flexiprocess est d'étudier la fabrication et la consommation de produits céréaliers enrichis en farine de légumineuse en se plaçant dans une démarche prospective de valorisation des cultures associées blé-légumineuse. La partie présentée ici concerne l'étude de la fabrication qui a vocation à produire des outils d'aide à la formulation grâce à une compréhension de la construction de la structure du produit au long du procédé. Dans cette étude a été testée l'influence d'une substitution partielle de la farine de blé par de la farine de pois sur le comportement de la pâte au cours d'un procédé de fabrication industriel et sur les propriétés de structure de gâteaux moelleux (ou cakes). Pour ce type de produit, la quantité d'air incorporée ainsi que sa répartition sont des déterminants importants de la qualité. L'incorporation d'air dans la pâte au cours de l'étape de foisonnement semble facilitée par la présence de farine de pois. A la fin de la fabrication, les pâtes réalisées à partir d'une farine mixte pois-blé (P-B) présentent une masse volumique plus faible que celles des pâtes témoin (B) même si la différence est relativement faible au regard de celle qu'il est possible d'obtenir en cours de fabrication. La variation de masse volumique suivant les recettes ne semble pas corrélée avec la consistance des pâtes correspondantes ce qui indique l'existence de phénomènes de structuration plus complexes qu'un simple effet de la viscosité. Après cuisson, les gâteaux P-B présentent tous une masse volumique plus élevée que celle des gâteaux témoins (B) mais une mie plus fine, homogène et souple. S'il faut poursuivre les expériences pour comprendre les facteurs physicochimiques induisant de telles différences, ces résultats sont encourageants quant à la possibilité de produire des gâteaux contenant du pois et du blé aux qualités de structure et de souplesse de mie contrôlées et relativement proches de celles des gâteaux ne contenant que de la farine de blé.

Mots clés autres que dans le titre : Mélange céréale-légumineuse, étude de la seconde transformation, gâteaux moelleux, structuration du produit par le procédé

Fermenter et structurer des protéines de pois pour améliorer leurs propriétés sensorielles

S. Ben Harb, F. Irlinger, A. Saint-Eve, M. Panouillé, P. Bonnarne, I. Souchon ,
UMR GMPA, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay , 78850 Thiverval-Grignon, France

Proposer une offre alimentaire riche en produits végétaux appréciés par les consommateurs est un des enjeux majeurs permettant de tendre vers un système alimentaire plus durable. Dans ce contexte, ce travail vise à étudier les bénéfices sensoriels apportés par la fermentation de gels riches en protéines végétales. En effet, des défauts d'arôme, de saveur ou de texture ont été mis en évidence suite à l'incorporation de teneurs élevées en protéines végétales dans les aliments, et en particulier de protéines de pois. Ces défauts sont un réel frein à l'acceptabilité des produits par les consommateurs. L'utilisation de ferments microbiens, composés de bactéries et de champignons, offre potentiellement un fort potentiel enzymatique de transformation, et ainsi permet d'améliorer l'arôme des produits.

Deux types de solutions contenant 12% de protéines et 10% d'huile de colza ont été étudiées : i) la première est constituée de 100% de protéines de pois et ii) la deuxième est constituée d'un mélange de protéines de lait (50%) et de pois (50%). Sur la base des connaissances de la matrice (composition et pH) et des propriétés fonctionnelles des micro-organismes en particulier d'origine fromagère (protéolytique, aromatisante, désamérisante, texturante..), 55 souches microbiennes ont été sélectionnées. La stratégie raisonnée d'assemblage de ces souches s'est basée d'une part sur la répartition équilibrée selon leur groupe phylogénétique (firmicutes, eucaryotes, proteobacteries et actinobacteries), mais aussi sur la connaissance experte des fonctions cibles aromatiques recherchées. La croissance et l'abondance des micro-organismes dans les solutions de pois après 3 jours de fermentation à 28°C ont été évaluées sur milieux de culture spécifiques et en étudiant les gènes de l'ADNr 16S par méta-barcoding. Le potentiel aromatique des consortia a été cartographié par un panel sensoriel à l'aide de la méthode Check-All-That-Apply (CATA). En parallèle de la sélection des micro-organismes et de leur association, différents types de gélifications, thermique, acide ou enzymatique, ont été testés.

Les résultats de cette étude ont montré un fort potentiel d'implantation des souches pour la solution mixte comme pour la solution végétale. Des notes aromatiques spécifiques pour chaque solution ont été générées permettant de masquer la note végétale "verte" caractéristique du pois. Ainsi, deux consortia microbiens ont pu être sélectionnés sur la base de notes torréfiées, fruitées pour la solution végétale, et de notes fruitées/lactiques pour la solution mixte. Des structures de gels offrant un large spectre de texture (crème dessert à pâte "ferme") ont été également obtenus par les trois types de gélification étudiés. Cette étude a donc permis de sélectionner des groupes spécifiques de souches, capables de coloniser et de produire des arômes d'intérêt dans des produits à base de pois. Cela montre le fort potentiel des procédés de fermentation pour la conception de produits alimentaires innovants.

Projet VEGALIM - financement Carnot Qualiment

Mots clés autres que dans le titre : Fermentation, bactéries lactiques, levures, moisissures, micro-organismes, gels

PROLEVAL (PRotéagineux, OLEagineux, VALorisation animale) : Intégration pérenne des oléo-protéagineux français dans l'alimentation des animaux d'élevage via la chaîne alimentaire, du végétal à l'homme, dans l'objectif de répondre aux attentes sociétales.

Hervé Juin, INRA
Pierre-Yves Dimarsky, Dijon Céréales
Cécile Guillon, Terrena

L'objectif de Proleval est d'intégrer les oléo-protéagineux français (Lin, lupin, féverole, pois) dans l'alimentation des animaux d'élevage à travers une valorisation dans toute la chaîne alimentaire, afin de renforcer la diversité des systèmes de production et la biodiversité liée aux cultures françaises, et de limiter les importations de soja et le recours aux Organismes Génétiquement Modifiés. Ce projet participe à l'amélioration de la qualité nutritionnelle des produits d'élevage et à la préservation de l'environnement (Réchauffement Climatique, Eutrophisation, Toxicité). Le développement de procédés technologiques innovants pour un traitement optimisé des graines oléo-protéagineuses est au cœur du projet collaboratif pour des filières agricoles en accord avec les attentes sociétales.

Les travaux de recherches menés dans le cadre de Proleval permettront de mettre en place une production durable, et accessible pour le consommateur, de viandes, de produits laitiers et d'œufs de moindre impacts environnementaux et de meilleures qualités nutritionnelles. Proleval concerne les filières porcine, avicole, bovine et piscicole, ce qui en fait un projet de grande envergure, dont les externalités positives apparaissent sur toute la chaîne de valeur : depuis le champ (diversification des cultures) jusqu'à l'alimentation humaine (nouveaux modes de consommation tournés vers la santé et la protection de l'environnement) en passant par l'alimentation animale (innovation nutritionnelle pour la santé animale, rupture technologique en matière de traitement appliqué aux graines oléo-protéagineuses). L'intégration du lupin, de la féverole, du pois et du lin oléagineux dans la chaîne alimentaire, grâce au développement de procédés ad-hoc de traitements des graines, permettra aux partenaires de se différencier en se positionnant sur de nouveaux marchés, tout en renforçant la filière Bleu-Blanc-Coeur.

Mots clés autres que dans le titre : Légumineuse à graine, Technologie, Nutrition Animale, Attentes sociétales

**Les hautes pressions dynamiques (microfluidisation):
Une technique innovante pour fonctionnaliser les protéines de légumineuses**

Oliete, B., Potin, F., Cases, E., Saurel, R.

UMR Procédés Alimentaires et Microbiologiques. Université de Bourgogne. AgroSup Dijon

L'utilisation des protéines végétales dans l'industrie agroalimentaire reste encore très limitée, malgré les bénéfices nutritionnels, environnementaux et économiques de leur consommation et production. Une de leur grande limitation est leur faible solubilité qui influence un grand nombre de propriétés fonctionnelles. La microfluidisation est un traitement innovant qui pourrait modifier la structure des protéines ainsi que leurs propriétés techno-fonctionnelles. Pour cela, la microfluidisation utilise la haute pression pour faire passer le liquide à travers une géométrie fixe en créant un cisaillement à taux élevé. L'objectif du travail réalisé a été d'analyser l'effet de la microfluidisation sur les propriétés techno-fonctionnelles de trois échantillons commerciaux d'isolat de pois Pisane® (Cosucra). Pour cela, a été utilisé un Microfluidizer LM10 (Microfluidics®, Westwood, MA, USA) avec une pression de 1000 bar. Les trois échantillons montrent un profil électrophorétique complexe en indiquant la présence de différentes fractions polypeptidiques (viciline, convicine, légumine...), avec une structure différente et donc des propriétés techno-fonctionnelles différentes. L'étude des propriétés techno-fonctionnelles montre que la solubilité des trois échantillons suit un comportement classique en forme de U avec le pH, et qu'elle est minimale près du point isoélectrique (pH=5). Concernant l'effet de la microfluidisation, elle augmente clairement la solubilité des isolats protéiques sauf près du point isoélectrique. Par ailleurs, la microfluidisation diminue la concentration minimale de gélification; c'est-à-dire qu'une quantité de protéine plus faible est nécessaire pour former le gel. Les isolats de pois analysés montrent une tension superficielle plus basse, et donc de meilleures propriétés émulsifiantes, que le caséinate de sodium utilisé comme référence. La microfluidisation diminue la tension superficielle des trois isolats de pois à pH 3. À pH 7 et 9 cet effet est seulement visible dans deux des échantillons. Les différences entre les échantillons pourraient être liées aux traitements suivis lors de leur préparation industrielle. En conclusion, la microfluidisation à 1000 bars améliore la solubilité des protéines, ainsi que les propriétés de gélification et d'émulsion des isolats de pois commerciaux Pisane® (Cosucra).

Néanmoins, l'effet de la microfluidisation dépend des caractéristiques de l'échantillon (traitements amont), du milieu (pH) et des paramètres de la microfluidisation (pression, nombre de passes). Plus d'études sont nécessaires pour maîtriser l'effet de ce procédé sur la structure et les propriétés techno-fonctionnelles des protéines de pois.

Perception membranaire et signalisation précoce de cellules racinaires chez des génotypes de *medicago truncatula* contrastes pour leur réponse au stress hydrique

Mégane Couchoud¹, Marion Prudent¹, Christophe Der¹, Sylvie Girodet¹, Nadia Rossin¹, Vanessa Vernoud¹, Nathalie Leborgne-Castel¹
1UMR1347 Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Dans un contexte de changements climatiques, la fréquence et l'intensité des événements de sécheresse ne cessent d'augmenter. Une compréhension des mécanismes physiologiques à l'origine d'une meilleure tolérance à la sécheresse est donc nécessaire afin de pouvoir sélectionner des plantes de culture mieux adaptées à cet environnement fluctuant.

L'objectif de cette étude est de déterminer si des différences de perception précoce du stress, notamment au niveau membranaire, peuvent expliquer les variations de tolérance au stress hydrique observées entre différents génotypes de la légumineuse modèle *Medicago truncatula*.

Pour ce faire, une core-collection de 16 génotypes de *Medicago* à laquelle sont ajoutés trois génotypes, le génotype de référence Jemalong A17 et deux génotypes identifiés dans la littérature comme étant tolérants au stress hydrique, ont été étudiés. Ils ont été phénotypés pour leur réponse au PolyEthylène Glycol (PEG) dont le rôle est de mimer le manque d'eau. Les plantes ont été cultivées 15 jours dans des poches en plastique transparent contenant un papier filtre imbibé d'une solution nutritive, laissant ainsi le système racinaire apparent. Au bout d'une semaine, la moitié des plantes a reçu la solution nutritive seule (condition contrôle), tandis que l'autre moitié a reçu la solution nutritive additionnée de PEG (condition stress). Elles ont ensuite été scannées quotidiennement afin de pouvoir suivre le développement du système racinaire : vitesse de croissance, longueur du pivot, apparition des racines latérales, etc. A l'issue des 15 jours de culture, le contenu relatif en eau des feuilles, la surface foliaire et la biomasse des parties aériennes et racinaires ont été mesurées. Ces données ont permis d'identifier des génotypes contrastés pour leur réponse au PEG.

En parallèle, trois types de signalisation précoce au niveau membranaire ont été étudiés sur le génotype de référence Jemalong A17 via l'utilisation de sondes fluorescentes en microscopie confocale : le taux d'endocytose avec la sonde FM4-64, le degré d'ordre avec la sonde di-4-ANEPPDHQ et la production de formes actives de l'oxygène (FAO) avec la sonde H2DCFDA. Une augmentation de l'endocytose et du degré d'ordre a été observée mais aucune production de FAO n'a pu être détectée. La prochaine étape de ce projet consistera à étendre ces analyses aux génotypes contrastés pour leur réponse au stress, afin de tester l'hypothèse selon laquelle il existerait un lien entre perception précoce et meilleure tolérance au stress hydrique.

Mots clés autres que dans le titre : PolyEthylène Glycol, architecture racinaire, microscopie confocale, croissance végétative, légumineuse, variabilité génétique

Digestibilité de la féverole entière ou dépelliculée chez le poulet de chair

Tormo¹ E., Peyronnet¹ C., Lessire² M., Juin³ H.

1 Terres Univia, 11 rue de Monceau, CS 60003, 75378 Paris cedex 08,

2 URA, INRA, 37380, Nouzilly, France

3 EASM, INRA, 17700, Saint-Pierre-d'Amilly, France

La féverole est une matière première bien adaptée à l'alimentation des volailles, en raison de sa teneur (26 à 30% de la matière sèche) et de la composition (richesse en lysine en particulier) de sa protéine. Cependant, sa teneur élevée en fibres, autour de 10%, et la présence de facteurs antinutritionnels (tanins, vicine et convicine), lui confèrent une digestibilité moyenne chez le poulet. Le dépelliculage représente une voie d'amélioration possible. Dans cet essai, la digestibilité de 4 variétés de féveroles présentant des teneurs variables en protéine a été mesurée in vivo chez le poulet de chair : deux féveroles à faible teneur en vicine et convicine –Tiffany et Fabelle- et deux féveroles classiques à teneur élevée –Fanfare et Espresso- ; chaque lot de féverole a été divisé en deux sous-lots dont l'un a été dépelliculé par l'atelier pilote des oléagineux et protéagineux OLEAD. Le dépelliculage a entraîné une augmentation de la teneur en protéine, de 1.4 à 3.9 points, les 4 lots présentant des aptitudes au dépelliculage différentes. Les résultats de digestibilité font ressortir un effet positif du dépelliculage sur la teneur en énergie métabolisable, de 194 à 368 Kcal par kg indépendamment de la teneur en vicine et convicine, et de la digestibilité de la protéine, de 0.8 à 4.8 %. Pour la protéine, l'amélioration de la digestibilité a été supérieure de 1 point pour les variétés à faible teneur en vicine et convicine par rapport aux variétés à teneur élevée.

Des travaux complémentaires sont prévus sur d'autres lots afin de confirmer ces résultats.

Mots clés autres que dans le titre : Féverole, dépelliculage, poulet

Évaluation des propriétés physico-chimiques de gels à base de lait de pois fermenté avec différents cocktails bactériens

Manhal Youssef 1, Dominique Valentin 2, Florence Husson 1, Samuel Lubbers 1 -

1 UMR Procédés Alimentaires et Microbiologiques, AgroSup Dijon, Univ. Bourgogne Franche-Comté, 21000 Dijon, France

2 Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, CNRS, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, 21000 Dijon, France

L'utilisation de protéines des légumineuses dans les aliments est limitée en raison de certains problèmes liés à l'odeur (notes verte, terreuse...), et au goût (astringence, amertume). La fermentation lactique pourrait aider à résoudre ce problème, mais il convient de sélectionner les ferments lactiques les mieux adaptés à ces nouvelles protéines. Au cours de l'incubation avec des bactéries lactiques, des composés d'arôme fermentaires sont synthétisés, des petits peptides résultant de l'hydrolyse de protéines des légumineuses, et un nouveau coagulum se développent. L'objectif de cette étude est de comparer la capacité de 4 cocktails de bactéries lactiques pour minimiser la quantité de faux-goûts et de petits peptides amers, et maximiser les arômes fermentaires et la fermeté du gel formé. Les composés d'arôme ont été dosés par SPME–GC–MS, les profils peptidiques ont été déterminés en RP-HPLC-UV. L'indice de tyrosine et la fermeté des gels, issus de lait de pois et de lait de vache fermentés par les quatre cocktails bactériens, ont été mesurés après 7 et 14 jours de stockage à 4 °C. L'analyse de la variance a montré que le cocktail contenant uniquement des bacilles (*Lactobacillus bulgaricus* + *Lactobacillus helveticus*) donne le produit le moins ferme avec la valeur la plus élevée de l'indice de tyrosine et la quantité de peptides la plus importante. Les 4 cocktails étudiés tendent à réduire la teneur en hexanal (une des molécules marqueurs des faux-goûts de source végétale) dans les produits fermentés. Une analyse en composantes principales réalisée sur toutes les variables étudiées a montré que le lait de pois fermenté avec le cocktail (*Streptococcus thermophilus* + *Lactobacillus acidophilus*) est le plus proche du yaourt traditionnel.

Mots clés autres que dans le titre : Protéine de légumineuse, Fermentation, Faux-goûts, Peptides

Changement de menu pour les volailles
Un procédé thermomécanique spécifique appliqué à la féverole remplace le tourteau de soja tout en améliorant les performances technico-économiques de volailles label

Guillaume Chesneau¹, Karine Bébin², Axel Minetto¹, Mathieu Guillevic¹, Gaëtan Rocaboy²

¹ VALOREX, La Messayais, 35210 Combourtille - France

² CCPA, ZA du Bois de Teillay, Quartier du Haut-Bois, 35150 Janzé

Les filières de production de viandes françaises sont soumises à la concurrence des viandes d'importation dont les prix sont au plancher. Pour se démarquer, l'une des solutions consiste à faire valoir un mode de production différent et attendu par le consommateur. En volaille, un enjeu consiste à substituer le tourteau de soja importé par des matières premières locales. L'objectif de cette étude est d'évaluer la performance technico-économique du remplacement du tourteau de soja par de la féverole traitée spécifiquement par un procédé thermomécanique.

Dans une ferme de référence de poulet label, deux bâtiments identiques de 4400 poulets ont été alimentés selon 2 programmes alimentaires de 4 phases (démarrage, croissance, finition 1 et 2). Le programme habituel (lot Soja) est comparé à un nouveau programme sans soja, ou en quantité réduite (démarrage), lequel est remplacé par de la féverole, associée à 10% de graine de soja métropolitaine (lot Féverole), préparée spécifiquement par un procédé thermomécanique de cuisson-extrusion. Les performances technico-économiques ont été évaluées à partir des relevés de consommation, de poids des animaux, de croissance, d'indice de consommation, de mortalité et de surcoût alimentaire.

Le poulet moyen du lot Soja a consommé 6.79kg d'aliment pour atteindre 2.241kg de poids à 84 jours d'âge, contre 6.48kg d'aliment ingéré par celui du lot Féverole, lequel a atteint 2.349kg à 82 jours d'âge. En standardisant l'âge à l'abattage, le gain moyen quotidien du lot Féverole a été de 28.6 g/jour contre seulement 26.6 g/jour pour le lot Soja, soit 7.5% supérieur. Quant à l'indice de consommation économique, prenant en compte le taux de mortalité, resté faible dans les 2 lots, il a été respectivement de 2.76 contre 3.10, soit une amélioration de 11%. Malgré le surcoût alimentaire de 5.8 €/tonne d'aliment dans le contexte de l'étude, soit 2%, la marge poussin-aliment obtenu par le lot Féverole est largement bénéficiaire, à hauteur de +28% (15 €/m² contre 11.7 €/m²).

Pour conclure, dans le cadre de cet essai poulet label, il a été mis en évidence que les performances techniques obtenues avec le lot Féverole étaient nettement supérieures au lot Soja. Les paramètres technologiques appliqués au mélange des graines de féverole et de soja dans un rapport 90/10 explique ce résultat, ce qui implique de revoir sa valorisation nutritionnelle. Le surcoût alimentaire de l'utilisation de la féverole spécifiquement traitée pour substituer le tourteau de soja a été amplement compensé par les performances zootechniques des animaux.

Mots clés autres que dans le titre : Protéagineux, Procédé, Nutrition, Volaille

Influence de la granulometrie sur la croissance des microorganismes

A. Faulconnier^{1, 2,3}, G. Chesneau², Y. Waché¹, J. DeConinck³

1 UMR PAM, Université de Bourgogne-Franche Comté / AgroSup Dijon, 1 Esplanade Erasme 21000 Dijon

2 VALOREX, La Messayais 35210 Combourtillé

3 Welience, Plateforme de Pré développement en Biotechnologie, SATT GRAND EST, site INRA, 17 rue de Sully 21000 Dijon

L'enjeu du projet est de parvenir à une meilleure valorisation des oléo-protéagineux français, lupin, lin, féverole et pois, pour assurer leur intégration pérenne dans la filière de nutrition animale française. Les qualités d'aspect et de composition des graines oléo-protéagineuses sont variées, les protéines ont été démontrées comme aptes à couvrir la majorité des besoins azotés. Cependant, leur utilisation est souvent compromise par des facteurs antinutritionnels qui interfèrent avec l'assimilation des nutriments alimentaires de multiples façons, notamment en diminuant la digestibilité des protéines et l'efficacité digestive. C'est dans ce contexte que s'inscrit l'analyse du rôle potentiel des microorganismes dans l'amélioration de la digestibilité des protéines végétales. Pour cela l'impact d'un procédé fermentaire est étudié, en particulier la fermentation en milieu solide, sur ces composés végétaux dans le but d'améliorer l'assimilation digestive des graines chez l'animal à terme. La croissance de trois champignons filamenteux *Rhizopus oryzae* NBRC 5378, *Aspergillus oryzae* ATCC 11494 et *Penicillium roqueforti* NBRC 5459 a été étudiée sur les substrats oléo protéagineux. Le suivi de croissance se fait de façon indirecte en mesurant le CO₂ dégagé, un produit du métabolisme. La fermentation des oléo protéagineux n'est pas complète lorsque la graine est sous forme entière pour un temps de culture limité. Un traitement mécanique des graines tel que le broyage, qui permet de réduire la granulométrie, améliore significativement la croissance des champignons filamenteux et donne lieu à une fermentation homogène et complète du substrat.

Mots clés autres que dans le titre : Fermentation en milieu solide, champignon filamenteux, oléo protéagineux, traitement mécanique

Intérêt des protéines de pois disponibles dans les régions tropicales au bénéfice de la nutrition humaine

Mélissa Margotonne 1,2,4, Catherine Garnier (Dr) 1,2, Alain Le Bail (Pr) 1.3, Henry Joseph (Dr) 4, Patricia Le Bail (Dr)1,2

1- SFR IBSM 4202

2- INRA BIA UR 1268 Rue de la Géraudière CS 71627 44316 Nantes cedex 3

3- UMR CNRS 6144 GEPEA, ONIRIS, rue de la Géraudière BP 82225. 44222 Nantes Cedex 3

4- Phytobôkaz, Gros Morne Dolé, 97113 Gourbeyre Guadeloupe

La population mondiale augmentant et les pays en voie de développement consommant d'avantage de protéines animales, les prévisions montrent qu'en 2050, 9 milliards de personnes devront être alimentées en protéines. Compte tenu de l'impact santé et environnemental lié à une telle production de protéines animales (+70%)[1-3], les instances de santé mondiales (OMS, FAO) incitent à diversifier les sources protéiques. Les protéines végétales constituent une alternative viable. Celles extraites des pois de légumineuses font partie des extraits les plus disponibles. Elles sont néanmoins déficitaires en acides aminés soufrés, qui sont indispensables à certaines fonctions biologiques mais également technologiques. Il est par conséquent intéressant d'élargir ces recherches à d'autres variétés de pois, telles que les pois cultivés dans les régions tropicales, afin de diversifier par la sélection d'espèces les apports protéiques. Ceci contribuera également à équilibrer les apports en acides aminés. Il s'agit par ailleurs d'une voie d'amélioration des fonctionnalités des protéines dans la mesure où les acides aminés sont à l'origine des propriétés des protéines.

Notre étude a pour but de caractériser ces protéines et de comprendre leurs fonctionnalités lorsqu'elles sont incluses dans différents types de formulations comme celle du pain sans gluten, en maîtrisant la qualité nutritionnelle et organoleptique des produits. Différentes variétés de pois tropicaux ont été cultivées et sélectionnées. Un aminogramme a été réalisé afin de sélectionner les pois répondant au meilleur itinéraire technique agricole, à la meilleure richesse en protéines ainsi qu'à la meilleure composition en acides aminés.

Après récolte, décorticage et broyage, un isolat de protéines est extrait et caractérisé. La composition des fractions obtenues, leur composition en acides aminés et en agents antinutritionnels sont déterminées ainsi que les propriétés fonctionnelles des protéines à chaque étape. Les résultats obtenus sont comparés à ceux d'une protéine de pois de référence.

1. FAO, Comment nourrir le monde en 2050, forum d'experts de haut niveau, dans "Background documents", 2009, disponible sur : <http://www.fao.org/wsfs/forum2050/wsfs-background-documents/hlef-issues-briefs/fr/>

2. Cahuzac, A. Après la viande... 2014; disponible sur <http://www.usinenouvelle.com/article/apres-la-viande.N237260>.

3. Collin, S.Y., Rapport d'information du sénat N°504 sur le défi alimentaire à l'horizon 2050 _ session ordinaire de 2011-2012, 18 Avril 2012

Mots clés autres que dans le titre : Panification sans gluten, amidon, protéines végétales, acides aminés, pain, purification, propriétés fonctionnelles

Les parois dans les graines de légumineuses : une source de variation qui peut affecter les valeurs d'usage

S Le Gall, B Laillet, V Lollier, B. Bouchet, A Klein, J Burstin, G Duc, F Guillon

Les légumineuses à graines font partie de la famille des Fabacées et recouvrent une large variété d'espèces (pois, féverole, lupin, soja, lentilles, haricots,...) dont les caractéristiques communes sont de fixer l'azote de l'air grâce à une symbiose avec des bactéries du sol, d'avoir des graines riches en protéines (taux moyen variant entre 22 et 40 %) et de produire des graines récoltées en sec pour l'alimentation (animale ou humaine).

Les légumineuses à graines véhiculent l'image d'aliments sains avec des effets bénéfiques sur la santé en raison de leur complémentarité nutritionnelle avec les céréales et de leur rôle dans la prévention des maladies (maladies cardiovasculaires, diabète de type 2, obésité...). Le potentiel nutritionnel des graines de légumineuses se base sur leur niveau élevé en protéines et, en fonction des espèces, en amidon ou en lipides. Parmi les macronutriments, les graines de légumineuses contiennent également des quantités appréciables en fibres alimentaires.

Toutefois, et malgré leurs avantages agronomiques, environnementaux et nutritionnels, les légumineuses à graines représentent aujourd'hui moins de 2 % de la sole française en grandes cultures contre 10% à 25% en Amérique du Nord ou en Asie.

Dans le contexte actuel de transition alimentaire (ré-équilibrage alimentaire par réduction de produits « animaux », aliments riches en protéines, fibres et composés bioactifs), d'environnement et de santé (protéines, fibres), il devient nécessaire d'encourager une plus grande diversité cultivée qui permettrait de réduire significativement l'usage des intrants de synthèse et les pressions environnementales induites, de préserver la biodiversité et de favoriser la consommation des légumineuses.

De nombreuses études de criblage associant des données génétiques, biochimiques (teneur en protéines, amidon, fibres, α -galactosides...) et phénotypiques (taille des graines, couleur et usages (aliment ou horticole)) ont été ou sont actuellement menées afin de caractériser des collections de légumineuses à graines (pois principalement).

Toutefois, peu d'études intègrent la notion de variabilité de composition et de structure des polysaccharides de paroi, constituants majoritaires des fibres alimentaires, et dont le rôle dans la digestibilité, la stimulation du système immunitaire et la prévention des maladies est largement connu.

Dans ce contexte, nous proposons d'étudier cette variabilité par des méthodes de criblages biochimique et histologique et de la coupler aux marqueurs de qualité usuels (protéines, facteurs anti-nutritionnels, morphologie des graines...) afin de sélectionner et de proposer de nouvelles lignées d'intérêt.

Par la suite, l'impact de la composition et de la structure de polymères d'intérêt (polysaccharides, protéines) sur leurs usages (digestibilité, effet santé et procédés de transformations industriels) sera à évaluer.

Caractérisation de la biosynthèse des saponines lors du développement de la graine chez le pois (*Pisum Sativum*) et la fève (*Vicia Faba*).

Julie Marais¹, Vanessa Vernoud¹, Christine Le Signor¹, Marie-Aleth Lacaille-Dubois² et Richard Thompson¹

1 Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

2 Laboratoire de Pharmacognosie, EA 4267/UFC, UFR des Sciences de Santé, Université de Bourgogne Franche-Comté, 7, Bd. Jeanne d'Arc, BP 87900, 21079 Dijon Cedex, France

L'utilisation des légumineuses à graines en tant qu'ingrédients pour la fabrication de produits alimentaires riches en protéines végétales est en plein essor. Cependant les fractions protéiques préparées à partir de graines de pois ou de féveroles contiennent une quantité significative de saponines, des triterpènes de glycosides qui peuvent conférer un goût d'amertume au produit alimentaire final. En outre, les saponines ont été également décrites pour être impliquées dans les réponses aux stress biotiques et abiotiques. Dans cette étude, nous avons identifié et caractérisé les gènes impliqués dans la biosynthèse des saponines lors du développement de la graine de pois, et optimisé un protocole d'extraction des saponines afin de suivre la biosynthèse de ces composés lors du développement des graines de pois et de féveroles. L'identification de mutants affectant la fonction de gènes clé de la voie de biosynthèse est actuellement en cours chez le pois. Cette étude est financée dans le cadre du projet FUI (Fond Unique Interministériel) LEG'UP (AAP no. 18).

Mots clés autres que dans le titre : protéines alimentation goût saponines

Intérêt des variétés de féveroles (*Vicia faba* L.) à faibles teneurs en vicine et convicine en alimentation humaine. Les variétés à faibles teneurs en vicine et convicine réduisent le risque du favisme chez l'homme hémizygote porteur d'une mutation de forte déficience en glucose-6-phosphate déshydrogénase (G6PD)

V. Gallo¹, E. Schwarzer¹, O. Skorokhod¹, L. F. Simula², P. Marget³, G. Duc³ and P. Arese¹

¹Department of Oncology, University of Torino, 10126 Torino, Italy

²Ospedale Civile, Alghero, Italy

³INRA, UMR 1347 Agroécologie, 17 rue Sully, BP 86510, 21065 Dijon cedex, France

La vicine et convicine sont des composés présents dans les graines de féverole ou fève (*Vicia faba* L.) responsables d'amoindrissement des performances chez les volailles d'élevage (production d'œufs, croissance du poulet de chair). Ces produits sont localisés dans les cotylédons et sont thermostables, ce qui rend leur élimination difficile par voie technologique. De faibles teneurs en vicine et convicine dans les graines sont déterminées par un gène et peuvent donc être aisément maîtrisables par la sélection variétale.

Objectif de l'étude : Nous montrons que de nouveaux génotypes de féverole à faible teneur en vicine et convicine (V/C), sont non-toxiques et non-hémolytiques, même ingérés en forte quantité par des hommes porteurs d'une mutation de déficience en glucose-6-phosphate déshydrogénase (G6PD) qui les rend très sensibles. Ces résultats confirment que V/C, et leurs dérivés amino-pyrimidine qui sont présents en forte quantité à la suite d'ingestion de graines des variétés témoins classiques sont à l'origine du favisme, ie un sévère dommage oxydatif et une hémolyse grave se développant chez des individus G6PD-déficients, après ingestion des graines. In vitro, V/C élicite un dommage oxydatif sur des globules rouges (RBC) de sujets G6PD-déficients, accompagné d'une décroissance du glutathion (GSH, principal protecteur antioxydant) et d'une agrégation des protéines membranaires ; V/C amplifie une peroxydation des lipides; une perte de déformabilité des RBCs, favorisent un attachement des opsonines et une élimination forte par phagocytose.

Cette étude a été conduite sur des hommes volontaires porteurs d'une sévère déficience G6PD (7 individus mâles hémizygotes G6PD-déficient – porteurs de la mutation « Méditerranéenne»). Ils ont été alimentés avec des graines de féverole à faible teneur en V/C (500 g de graines fraîches de génotype faible VC /70 kg de poids corporel, soit environ 10 fois plus qu'un repas normal). Les indicateurs d'anémie ont ensuite été mesurés toutes les heures sur les prélèvements sanguins jusqu'à 10 h, et 24-48 h après ingestion de féverole : RBC et le plasma ont été séparés puis différents paramètres indicateurs d'hémolyse intra- et extra vasculaire ont été mesurés (nombres de RBC, concentration Hb, hémocrite, haptoglobine) et d'autres indicateurs plus fins de l'oxydation ont aussi été suivis. Aucun changement sur l'ensemble de ces paramètres n'a été noté chez les sujets sensibles ayant absorbé des féveroles à faible V/C.

Conclusions. Dans un échantillon de 7 hommes hémizygotes G6PD-déficients présentant 1 à 3% d'activité enzymatique G6PD résiduelle, aucun signal marqueur d'hémolyse n'a été détecté, que ce soit sur temps court de (1-8 h) ou jusqu'à 48 h après ingestion de grandes quantités de graines de génotype de féverole à faible teneur en V/C. Ce résultat constitue la première démonstration de l'innocuité de féveroles à faible teneur en V/C ingérées en forte quantité par des sujets porteurs d'une forte déficience en G6PD, sans causer de dommages oxydatifs aux RBCs ni induire d'hémolyse. Ce résultat encourage donc la sélection pour des variétés de féveroles ou fèves à faible teneur en V/C qui seront en outre également bien valorisables par les filières avicoles.

Travail soutenu par Saskatchewan Pulse Crop Development Board projet No. 0818-1007, par le projet EU FP5 EUFABA No. QLRT-02307. L'UE expérimentale INRA 21110 Bretenière F. en collaboration avec B. Raffiot, UNIP, Paris, F. ont produit les graines pour ces tests.

Mots clés autres que dans le titre : *Vicia faba*, féverole, fève, vicine, convicine, favisme, alimentation humaine

**Le système d'inscription et de protection des variétés de protéagineux en France
Inscription au Catalogue officiel, protection par COV**

Jean-Michel RETAILLEAU - Geves, Arnaud REMAY, Patricia LEM - BioGeves

Description du système français d'inscription au Catalogue Officiel et de protection par COV des nouvelles variétés de plantes protéagineuses. Description des épreuves DHS menées au Geves et présentation des épreuves VATE (réseaux, calculs, types d'analyses technologiques, bonus, malus, cotation...).

Mots clés autres que dans le titre : DHS, VATE, Cotation, Analyses NIRS

Isolement de gènes et abondance des transcrits de l'enzyme superoxyde dismutase (SOD) chez l'arachide (*Arachis hypogaea* L.)

S. Tellah¹, 4*, F. Nabi¹, A. Benselama², S. Mebdoua³, G. Ounane¹, S.M. Ounane¹, A. Sorgonà⁴, M. Badiani⁴, A.R.Paolacci⁵

1 Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Algiers, Algeria.

2 Laboratory of Biotechnology of Rhizobia and Amelioration of Plant .University d'Oran-EsSenia, Algeria

3 Department of Agricultural Sciences, University of Bouira- Algeria;

4 Dipartimento di Agraria, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Italy.

5 Dipartimento di scienze e tecnologie per l'Agricoltura, le Foreste, la Natura e l'Energia, Università degli Studi della Tuscia, Viterbo, Italy.

* Corresponding author: sihemtellah@yahoo.fr

Le stress hydrique est connu pour induire des espèces actives de l'oxygène (EAO) dans les plantes. L'accumulation de ces espèces nuisibles doit être empêchée par ces plantes aussi rapidement que possible pour maintenir la croissance et la productivité. Cette étude a été réalisée pour comprendre les mécanismes anti-oxydants de l'arachide dans des conditions de stress hydrique, pour cela quatre populations locales d'arachide (*Arachis hypogaea* L.): EL FRIN (FR), Tonga (TO), Oued Souf (OS) et Sebseb (SEB) ont été soumises à un stress hydrique pendant 25 jours. L'expression des gènes de la superoxyde dismutase (SOD) est analysée, compte tenu de son rôle central dans les antioxydants de défense chez tous les organismes et de son implication dans les réponses anti-oxydantes sous contrainte hydrique. L'ARN total isolé à partir des plantes stressées et non stressées permet de déterminer le taux d'expression du gène de la superoxyde dismutase (SOD) par la technique RT-PCR. Les résultats montrent que le stress hydrique régule la synthèse et l'activité de la superoxyde dismutase et la manière dont cette enzyme contribue à protéger contre les effets dommageables de radicaux superoxyde chez l'arachide. Les niveaux d'expression relative de la SOD augmentent après 25 jours de stress hydrique chez Tonga (TO), par contre, ils diminuent chez Sebseb (SEB). Les résultats révèlent de grandes différences "constitutives" dans l'expression du gène de la SOD chez les quatre populations d'arachide. En effet, SOD transcripts est plus abondant chez Tonga (TO) que chez Sebseb (SEB). En conclusion, bien qu'il soit difficile de comprendre tous les mécanismes antioxydants des plantes sous stress environnementaux, cette étude serait une étape préliminaire pour une étude moléculaire de certaines enzymes antioxydantes.

Mots clés autres que dans le titre : Arachide (*Arachis hypogaea* L.), populations, stress hydrique, stress oxydatif, SOD, RT-PCR, expression génétique.

Co-Conception des critères de SElection variétale des Légumineuses A Graines pour des systèmes agricoles et agro-alimentaires durables

Inra Marie-Benoît Magrini, Martina Modotti

Le projet COSELAG (Co-Conception des critères de SElection variétale des Légumineuses A Graines pour des systèmes agricoles et agro-alimentaires durables) propose une réflexion prospective interdisciplinaire, pilotée par un partenariat entre la recherche publique (INRA), l'interprofession (Terres Univia) et l'institut technique (Terres Inovia) des oléo-protéagineux, et associant un ensemble d'acteurs représentatifs de l'amont à l'aval des filières à usages des légumineuses à graines (LAG) dont les sélectionneurs. Cette réflexion part d'une base de connaissances partagées sur les marchés et sur les freins et leviers au développement des légumineuses à graines, tant à l'amont qu'à l'aval des filières. Cette mobilisation d'expertises et compétences vise à proposer des priorités de recherche en sélection variétale qui renforceront la compétitivité des LAG françaises, en vue de consolider les volumes de production pour différents débouchés possibles dans différents contextes d'évolution macro-sociétal.

Mots clés autres que dans le titre : Légumineuses à graines, prospective, co-conception, idéotypes

Quelles pistes génétiques pour l'optimisation de la photosynthèse du pois protéagineux dans le cadre du changement climatique actuel ?

Aurélie Poilevey, Judith Burstin

Equipe ECP, pôle GEAPSI, UMR Agroécologie, INRA Dijon, 17 rue Sully, 21000 Dijon

La culture du pois protéagineux, *Pisum sativum*, représente un enjeu stratégique et environnemental majeur de par la richesse en protéines de ses graines et la symbiose azotée avec des bactéries du sol. Le principal frein à cette culture est l'évolution modérée du rendement sous l'effet de différents stress amplifiés par le changement climatique. L'évolution vers des températures élevées et une nébulosité accrue peuvent limiter l'acquisition d'assimilats carbonés, et donc le processus de photosynthèse tout au long du cycle de développement de la plante. Le maintien de l'efficacité photosynthétique pendant la phase de remobilisation d'azote, et dans des conditions de températures élevées, permettrait d'augmenter le remplissage des graines et donc le rendement et leur qualité.

L'objectif de la thèse est de tester différentes pistes d'amélioration du rendement via l'amélioration de l'efficacité d'interception et de l'efficacité de conversion du rayonnement du pois. Pour cela, à partir de la variabilité génétique de la morphologie foliaire du pois, des études à l'aide de capteur de rayonnement seront menées en microparcelle sur des mutants d'architecture afin de déterminer l'efficacité d'interception du rayonnement due au port de la plante (formalisme de Monteith, 1977). Des expériences en plateforme de phénotypage à haut débit seront également effectuées sur ces génotypes afin d'estimer la surface foliaire et la biomasse produite. D'autre part, des études sur des mutations de gènes codant pour des protéines clés de la fixation du CO₂ dans la photosynthèse (Rubisco et Rubisco activase) seront réalisées à partir de marquage au ¹³C dans des conditions de température et d'ombrage mimant le changement climatique et d'analyses de la biomasse et de rendement. Ces expériences seront complétées par de mesures d'activités enzymatiques *in vitro* et de taux d'expressions (qPCR et SDS-page) pour caractériser plus finement les mutations.

Mots clés autres que dans le titre : Pois protéagineux – Hausse des températures – Rendement – Remobilisation azote – Photosynthèse – Architecture foliaire – Rubisco

Le GSP : Groupe de Sélectionneurs de Protéagineux

Blandine Raffiot

Le GSP est un Groupement d'intérêt économique et un outil collectif des sélectionneurs de protéagineux pour relever les défis de l'amélioration génétique des protéagineux.

Animé par l'interprofession Terres Univia, le GSP regroupe actuellement 6 sélectionneurs français de pois protéagineux et 3 sélectionneurs de féveroles.

Le GSP a pour objet de faciliter et de développer l'activité de recherche et de sélection de ses membres sur le pois protéagineux, la féverole et le lupin, notamment par :

La définition d'objectifs d'amélioration variétale sur des thèmes ciblés et l'élaboration de projets de recherche communs, la valorisation des acquis de la recherche (INRA principalement), la création d'un fonds commun de ressources génétiques, d'outils et méthodes de phénotypage et de génotypage permettant d'introduire des caractères innovants dans les programmes de création variétale propres à chaque membre.

3 programmes principaux en cours

Amélioration de la résistance à l'aphanomyces du pois. Cette maladie racinaire du pois en France provoque des dégâts majeurs en parcelle infestée et limite ainsi l'extension des surfaces. Recherche de géniteurs communs présentant un haut niveau de tolérance et des marqueurs moléculaires des différents QTLs associés à cette résistance

Amélioration du pois d'hiver. Du fait de sa précocité à maturité et de son cycle de culture plus long au printemps, le pois d'hiver permet de s'adapter à l'évolution du climat et aux contraintes des systèmes de grande culture et d'échapper partiellement à aphanomyces.

Amélioration du rendement et de la qualité de la féverole.

Ce programme rassemble les 3 sélectionneurs français de féverole, majoritairement sur féverole de printemps, ainsi que l'INRA.

Les 3 objectifs principaux poursuivis actuellement sont :

l'amélioration de la qualité, pour accélérer la création de variétés à forte teneur en protéines et à faible teneur en vicine-convicine , la création de géniteurs améliorés de résistance à la bruche, l'amélioration de la résistance au froid conjointement à la précocité pour aboutir à l'inscription de variétés de féveroles mieux adaptées à l'est de la France , l'amélioration de la résistance aux maladies aériennes (botrytis, rouille).

Une recherche scientifique dynamique

Les sélectionneurs français, outre l'appui de l'interprofession au travers d'actions collectives, bénéficient d'un environnement scientifique porteur : en effet, l'INRA est l'un des principaux producteurs de références scientifiques sur le pois et la féverole au niveau mondial.

Le projet Européen LEGATO (LEGumes for the Agriculture of TOMorrow)

Richard Thompson, représentant le consortium Européen LEGATO.

Le projet LEGATO a été conçu pour promouvoir la culture des légumineuses à graines en Europe, identifier les questions prioritaires qui limitent actuellement la culture des légumineuses à graines et élaborer des solutions à long terme, en terme de développement de nouvelles variétés, de systèmes de culture et d'usages alimentaires. LEGATO développe des outils et des ressources pour permettre la mise au point de nouvelles méthodes de sélection chez le pois, et la pleine exploitation des ressources génétiques disponibles. Pour éviter redondance et dispersion, le projet se concentre sur un petit nombre de caractères agronomiques clés non encore explorés en profondeur et/ou complémentaires à d'autres projets européens et nationaux en cours. Ainsi, dans le domaine des maladies et résistances aux ravageurs, de nouvelles sources de résistance aux principaux pathogènes fongiques et viraux, aux bruches (*Bruchus pisorum*) ou encore aux charançons (*Sitona lineatus*), sont à l'étude.

L'impact de la sécheresse en fin de cycle et du stress thermique sur la symbiose avec *Rhizobium*, et ses conséquences sur la fixation d'azote, sont analysés à l'aide de phénotypage à haut-débit et de techniques d'imagerie RMN des racines.

L'amélioration de la qualité nutritionnelle et organoleptique des légumineuses, par l'identification de traits désirables, est également en cours.

LEGATO est également engagé dans la conception de systèmes de culture durables à base de légumineuses qui soient adaptées aux différentes zones pédoclimatiques et qui respectent les contraintes climatiques et culturelles locales. Le projet a été construit autour de la participation de partenaires commerciaux, y compris les PME dans les domaines de développement de marqueurs, de sélection végétale et de la transformation des aliments, qui bénéficieront des progrès réalisés dans ces différents domaines dans LEGATO. Les partenaires potentiellement intéressés sont invités à des événements de stakeholders convoquées régulièrement au cours du projet.

Site Web du projet : <http://legato-fp7.eu/>

Mots clés autres que dans le titre : génétique, phénotypage, symbiose, protéine, durable, système de culture

Rôle du métabolisme soufré dans la réponse à la sécheresse chez le pois.

Charlotte Henriët, Vanessa Vernoud et Karine Gallardo

Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Le pois (*Pisum sativum* L.) produit des graines riches en protéines pour l'alimentation humaine et animale, même en l'absence de fertilisation azotée, et sa culture enrichit les sols en azote, réduisant la nécessité d'une fertilisation azotée pour les cultures suivantes. L'augmentation de la culture et de la productivité du pois est un défi agroécologique nécessitant d'améliorer la tolérance du pois aux stress divers. La sécheresse et le manque de soufre dans les sols sont deux stress abiotiques qui interagissent dans le contexte actuel de changement climatique et de réduction des émissions de dioxyde de soufre. Des produits du métabolisme soufré, comme le glutathion, sont connus pour jouer un rôle protecteur contre de nombreux stress mais leur interaction avec la réponse des plantes à la sécheresse reste à étudier. Une approche de biologie des systèmes est utilisée pour étudier l'influence de la nutrition soufrée sur la dynamique des réseaux de gènes et de protéines associés à la sécheresse dans les feuilles de pois au cours de la phase reproductive. Cette approche fournira des modèles de régulation métabolique reliant la nutrition soufrée à la réponse du pois à la sécheresse. L'intégration d'autres données (physiologiques, rendement) révélera des facteurs de régulation potentiellement responsables des variations physiologiques observées et / ou des modifications des caractéristiques agronomiques sous ces contraintes abiotiques. En plus de fournir une meilleure compréhension du rôle du soufre dans la réponse du pois à la sécheresse, le projet permettra d'identifier des gènes et protéines candidat(e)s pour stabiliser ou améliorer la productivité et la qualité des graines de pois.

Mots clés autres que dans le titre : Biologie des systèmes; réseaux génique; réseaux protéique; remobilisation; remplissage des graines.

CRG proteagineux a grosses graines, inra dijon
Diversité biologique pour le maintien du patrimoine et la recherche de performances

Catherine Delaitre ; Jean-Bernard Magnin-Robert ; Marianne Chabert-Martinello ; Judith Burstin ;
Gérard DUC.

UMR Agroecologie /pôle GEAPSI / Equipe Cible Protéagineux – 17 rue Sully – 21065 Dijon cedex

Le centre de ressources génétiques des Protéagineux à grosses graines de l'INRA de Dijon gère des collections appartenant aux trois espèces : pisum (>10.000 accessions), Vicia faba (1400 accessions) et Lupinus albus (1600 accessions). Ces collections renferment aussi bien des génotypes « patrimoniaux » et historiques, que des génotypes issus de programmes de recherche et de sélection. Les ressources « naturelles » de pois (2000 accessions) renferment des formes cultivées ou sauvages ayant pour origine géographique plus d'une quarantaine de pays. La féverole, espèce allogame, ne comporte pas de formes sauvages, mais des formes cultivées (1200 accessions) provenant des 4 centres de diversification de l'espèce. Quant au lupin, la collection comporte essentiellement des formes naturelles et cultivées (1500 accessions), collectées dans les pays du pourtour méditerranéen. La grande diversité de ces collections permet, entre autres, des approches de génétique d'association et de génomique. Les marqueurs moléculaires, mis au point, par exemple, dans le programme ANR PeaMUST ou FP7 Legato, spécifiques de caractères agronomiques, peuvent être utilisés dans les programmes de sélection assistée par marqueurs, tel que dans le programme IVD INRA ou mis à disposition des membres du Groupement des Sélectionneurs de Protéagineux. Les nouveaux génotypes sélectionnés sont ensuite testés pour leur valeur agronomique et aptitude à la résistance aux stress biotiques et abiotiques, ainsi que pour leur valeur nutritionnelle, en collaboration avec Terres inovia. C'est l'intégration de toute cette filière de ces trois espèces, des formes ancestrales à l'application dans le secteur agroalimentaire, qui est pour le centre de ressources et ses partenaires, gage d'avancées stratégiques.

Mots clés autres que dans le titre : pisum ; vicia faba , lupinus ; ressources génétiques ; innovation variétale

Proteagineux : des ressources génétiques à l'innovation variétale
Valorisation de la biodiversité du Centre de Ressources Génétiques des Protéagineux

Catherine Delaitre, Florence Naudé-Cassecuelle, Myriam Huart-Naudet, Richard Thompson, Gérard Duc, Judith Burstin,
INRA-UMR Agroécologie, pôle GEAPSI, Equipe Cible Protéagineux.
17 rue Sully - 21065 Dijon cedex

Les légumineuses sont une source de protéines végétales importante pour l'alimentation animale et humaine. Les programmes de recherche développés au sein du pôle GEAPSI de l'UMR Agroécologie de l'INRA de Dijon, visent à sélectionner des légumineuses à graines comme sources de protéines pour la consommation humaine, tout en éliminant les facteurs anti-nutritionnels, anti-tryptique et les tannins.

Afin de pouvoir mesurer et identifier les protéines contenues dans les graines et farines des protéagineux, l'unité s'est dotée de moyens d'analyses spécifiques et performants.

La teneur en protéine est mesurée sur graines entières de pois par spectrométrie en proche infra-rouge (NIRS) grâce à une calibration basée sur 615 génotypes contrastés de pois. Cette méthode de prédiction par NIRS est validée annuellement par des analyses de Kjeldahl pour chaque projet.

L'analyse qualitative de la fraction protéique est réalisée par FPLC (Fast Protein Liquid Chromatography), 93 lignées produites entre 2003 et 2008 ont permis de tester la fiabilité de la méthode. La composition en protéines (albumines et globulines) permet également de différencier les 4 sous espèces de pisum : sativum, abyssinicum, fulvum, et elatius.

Les collections conservées au centre de ressources présentent une grande variabilité en ce qui concerne la teneur et la composition en protéines. Ces analyses nous ont permis d'avoir une meilleure connaissance de nos ressources génétiques, et de les appliquer à des génotypes issus des programmes de recherche et sélection.

Ces caractérisations protéiques des génotypes sont utilisées dans les programmes de recherche menés par le pôle GEAPSI de l'UMR AgroEcologie, tels que LEGATO et PeaMUST.

LEGATO (Legumes for the Agriculture of Tomorrow), un projet européen coordonné par l'INRA, ce programme vise à l'analyse nutritionnelle, organoleptique et technologique de ressources génétiques de pois, féverole, et d'autres légumineuses à graines, et à la perception des consommateurs vis-à-vis des denrées alimentaires à base de légumineuses.

L'objectif du projet PeaMUST (Adaptation Multi-STress et Régulations biologiques pour l'amélioration du rendement et de la stabilité du pois protéagineux) est de développer de nouvelles variétés de pois dans le contexte du changement climatique.

Ces programmes bénéficient de la large gamme de ressources génétiques et génomiques développées par l'unité, ils intègrent des compétences pluridisciplinaires et collaborations internationales, ainsi que des actions de transfert vers les partenaires professionnels.

Mots clés autres que dans le titre : protéines végétales ; nutrition humaine ; proche infra-rouge ; chromatographie liquide

Féverole : des outils génétiques d'aide à la sélection

Chrystel Deulvot
INRA Dijon, UMR Agroécologie

La féverole est une légumineuse, protéagineuse, partiellement allogame. Pour soutenir cette culture, les partenaires de la filière (organismes de recherche publique, instituts techniques, interprofession et sélectionneurs privés) se fixent les objectifs suivants :

(1) Améliorer la qualité nutritionnelle de la graine

Des variétés FEVITA®, sans tanin et à faible teneur en vicine-convicine, sont disponibles. Cette composition améliorée de la graine assure une valorisation optimale des nutriments par les animaux monogastriques et une réduction du favisme, chez l'Homme.

Des outils de diagnostic pour la teneur en vicine-convicine sont disponibles : la méthode quantitative 'HPLC' ou la méthode rapide qualitative 'spectrométrie de masse' ; les marqueurs moléculaires.

(2) Stabiliser les rendements

a) Améliorer la tolérance aux bruches

La bruche affecte la qualité visuelle et sanitaire des graines, ce qui impacte le débouché vers le marché de l'alimentation humaine ($\leq 3\%$ de graines bruchées). Et les matières actives sont inefficaces !

- Pour étudier le déterminisme génétique de la tolérance aux bruches, 2 géniteurs sont utilisés pour construire des populations de lignées recombinantes.

- Les dégâts sur les graines sont évalués par tomographie. Cette méthode haut-débit de phénotypage permet de quantifier le volume des galeries réalisées par les bruches,

- Un génotypage et une détection de QTL sont réalisés,

- Des études transcriptomiques et protéomiques sont réalisées dans les conditions de présence versus quasi-absence de bruches,

- Les Composés Organiques Volatiles sont analysés et comparés à deux stades de développement des plantes.

- Pour aborder la génétique d'association sur génome entier (GWAS), le phénotypage de la tolérance aux bruches et un séquençage d'exomes sont réalisés sur une Collection de Référence de 248 accessions.

b) Améliorer la résistance au froid

Les politiques actuelles encouragent la culture des protéagineux, mais la féverole est confrontée à la rigueur climatique de l'hiver dans les régions du centre et du Nord-Est de la France.

- Pour étudier le déterminisme génétique de la résistance au froid et détecter des QTL :

- Un géniteur (-20°C) est utilisé pour construire des populations de lignées recombinantes. Les RILs sont phénotypées (échelle de notation visuelle des dégâts de froid) et génotypées.

- La Collection de Référence est utilisée pour la GWAS.

- Pour fournir des géniteurs de résistance au froid, un programme de sélection phénotypique de populations et de lignées est en cours, via un travail d'évaluation multilocal.

Mots clés autres que dans le titre : qualité, FEVITA, bruche, tomographie, composés organiques volatiles, froid, lignées recombinantes, RIL, collection de référence, QTL, GWAS

Effets de la nutrition azotée et du génotype de la plante sur la résistance de *Medicago truncatula* à *Aphanomyces euteiches*

Thalineau E., Fournier C., Wendehenne D., Truong HN., Jeandroz S.

Agroécologie, AgroSup Dijon, CNRS, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Malgré leur intérêt alimentaire, économique et agronomique, les légumineuses ne représentent que 5% des surfaces cultivées en Europe. Les stress biotiques et abiotiques sont des facteurs limitant de leur utilisation. Parmi les stress identifiés, le microorganisme (oomycète) pathogène *Aphanomyces euteiches* (Ae), est considéré comme le facteur majeur responsable de l'instabilité du rendement chez les légumineuses cultivées comme le pois, la lentille, les fèves ou la luzerne. Il peut conduire à de très lourdes pertes, puisque qu'aucun contrôle chimique efficace du développement du pathogène n'est disponible. Il semble donc important d'améliorer l'adaptation de ces plantes aux stress pour envisager l'augmentation de leur utilisation. Des études de génétique ont permis l'identification de plusieurs loci impliqués dans la résistance de *Medicago truncatula* (Mt), la légumineuse modèle à Ae. Conjointement au déterminisme génétique de la résistance mis en évidence, les conditions environnementales, dont la disponibilité en nutriments, sont connues pour jouer un rôle sur le niveau de la résistance. Il est décrit que la disponibilité en azote (N) est un facteur important pouvant affecter les interactions entre les plantes et les pathogènes dont Mt et Ae. Les études réalisées dans notre équipe sur ce pathosystème ont pour objectifs l'analyse des effets de la nutrition azotée et du génotype de la plante sur la résistance de Mt à Ae. Pour cela, deux conditions nutritives (présence et carence en azote) et dix génotypes de plantes sont testées. Le degré de résistance ou de sensibilité de la plante est estimé selon différents paramètres macroscopiques et moléculaires. Les résultats montrent que la carence en nitrate *in vitro* module la résistance et que ces effets sont dépendants des génotypes de plantes étudiés. En effet, en carence en nitrate le génotype F83005.5, sensible à Ae, devient encore plus sensible à ce pathogène contrairement au génotype A17, tolérant à Ae, qui devient plus résistant. Les études sont poursuivies par l'analyse de l'expression de gènes impliqués dans le métabolisme azoté et dans les réponses de défense et la quantification de composés du métabolisme secondaire. En perspective ces travaux pourront déboucher sur l'étude en conditions symbiotiques de l'effet d'une carence en azote sur la résistance de Mt à Ae et contribuer ainsi à mieux comprendre l'impact de d'une agriculture à bas intrants sur la résistance des légumineuses à des stress biotiques.

Mots clés autres que dans le titre : Génotype, nutrition, azote, stress biotique

La culture du soja en Belgique : Retour d'expérience

Olivier ROISEUX, Wal.Agri ; William Falesse, Wal.Agri ; Toon Kerkhofs, AVEVE Zaden ; Dirk Boogaerts, AVEVE Veevoeding ; Werner Reuter, Dumoulin

Aujourd'hui, au niveau mondial, la principale source de protéines végétales est le soja. Le Brésil, les Etats-Unis et l'Argentine produisent 80% des graines de soja dans le monde. De par cette importante production localisée sur le continent américain, il résulte que 70% des graines de soja utilisées à travers le monde sont issues de cultures OGM.

Actuellement, l'Europe est donc fortement dépendante des importations pour son approvisionnement en produits issus du soja. Toutefois, notre continent affirme de plus en plus sa volonté d'augmenter son indépendance en protéines végétales et de se délier des productions OGM. De fait, on remarque depuis plusieurs années une augmentation de la culture dans les exploitations européennes, principalement en Italie qui cultive aujourd'hui 45% des 1,2 millions de tonnes de graines de soja produites en Europe. Les conditions climatiques des pays Sud-européens permettent d'étendre la culture du soja. Il est alors intéressant de l'étudier dans le contexte pédoclimatique de la Belgique, caractérisé par un climat plus tempéré. Sur ces bases, Wal.Agri et AVEVE ont étudié la faisabilité agronomique et économique de la culture du soja en Belgique.

Mots clés autres que dans le titre : protéines végétales, production locale, agronomie, économie, filière, variétés

Étude des démarches des organismes stockeurs visant une agriculture durable

Anne Schneider, Terres Inovia, département des études opérationnelles, Grignon
a.schneider@terresinovia.fr

Marie-Benoît Magrini, INRA, UMR AGIR, Toulouse

Emilie Montrone, emilie.montrone@gmail.com

Comment les démarches de développement durable mises en place par les organismes stockeurs peuvent orienter les agriculteurs vers des systèmes de culture plus durables ? Comprendre ces démarches, en termes de processus et d'instruments mobilisés, et repérer celles qui fonctionnent le mieux peut permettre d'identifier des leviers qui permettront un changement significatif, en volume et en surface, vers une agriculture plus durable.

Une nouvelle méthode est proposée pour caractériser les démarches de durabilité existantes dans le secteur des grandes cultures et pour mieux appréhender leur empreinte et clés de succès. Les organismes stockeurs (coopératives agricoles et négoce) ont une position charnière au sein de la filière agro-alimentaire et une force de levier non négligeable puisque liée à un bassin de production. Leur rôle, fondamentalement lié à la valorisation des produits et, souvent, à l'accompagnement technique et économique des agriculteurs, fait sens avec ce type de démarche. Les entretiens semi-directifs offrent la possibilité de capter les nuances d'un discours sur des notions aussi complexes que le développement durable et de cerner les éléments sociologiques et conceptuels qui sous-tendent la mise en œuvre de ces démarches.

Cette étude propose une grille de lecture permettant de révéler la diversité des approches existantes, selon leur degré d'organisation et les objectifs des porteurs. Globalement on constate que les acteurs privés se mobilisent de plus en plus, a minima pour s'approprier la communication sur la durabilité, voire pour concevoir des mécanismes d'entraînement des producteurs et de valorisation d'une façon plus durable de produire les matières premières agricoles. Les valeurs économiques mais aussi sociétales sont les moteurs principaux de ces démarches; l'enjeu est donc de trouver comment mieux entraîner la valeur environnementale, caractère plus implicite de ces démarches. Parmi les difficultés rencontrées par les acteurs, la plus fréquemment citée est celle de convaincre de l'intérêt de leur démarche et de la possibilité de changement qu'elle peut engendrer. Ces initiatives pour la durabilité gagneraient à s'inscrire dans des référentiels plus lisibles pour les citoyens et dans des cahiers des charges plus transparents et co-construits. Elles ont également besoin d'accès plus facile à des connaissances agro-environnementales d'une part et à des outils d'évaluation d'impacts effectifs des systèmes de production sur l'environnement d'autre part. L'étude souligne également que « donner du sens » et se « donner les moyens » de la coordination des acteurs concernés sont au cœur des éléments clés pour le succès de ces démarches.

Mots clés autres que dans le titre : durabilité, organismes stockeurs, démarche, valeurs

Collectif d'Agriculteurs pour la Transition Agroécologique dans le bassin de Bourg-en-Bresse grâce aux associations de cultures à base de légumineuses
Valoriser agronomiquement et économiquement les cultures associées dans les territoires

Damien MASSALOUX*, Collectif pour le Développement de l'Agroécologie, Mail :
animateur@collectif-agroecologie.fr. Téléphone : +33(0)6.38.43.83.83
Camille AMOSSÉ, Collectif pour le Développement de l'Agroécologie

Le projet CAPAGROECO regroupe 18 agriculteurs, polyculteurs-éleveurs et céréaliers, biologiques et conventionnels. Depuis 2014, le Collectif pour le Développement de l'Agroécologie (CDA) et ses partenaires (ADABIO, Agri Sud Est – Groupe Dauphinoise et ISARA-Lyon) les accompagnent dans l'expérimentation de cultures en associations. Ces expérimentations concernent principalement des légumineuses à graines ou fourragères associées à des céréales. Au-delà de la recherche participative d'associations intéressantes localement et des techniques de production adaptées, le projet vise le développement de filières de valorisation locales. L'enjeu réside dans l'adaptation des filières existantes aux cultures mélangées voire à la création d'une filière dédiée. Actuellement dans sa 3ème et dernière année, le projet CAPAGROECO a d'ores et déjà permis de poser les bases d'un accompagnement collectif d'agriculteurs à la conception de systèmes de culture innovants et à la construction d'une dynamique de développement local. Le potentiel de valorisation commerciale des légumineuses est en cours d'évaluation notamment à travers la recherche de nouveaux partenaires filières.

Mots clés autres que dans le titre : Cultures associées, co-construction, expérimentation participative, filière, GIEE

Evaluation des performances de légumineuses dans les systèmes de culture actuels bourguignons

Maude Quinio, Safia Médiène, Marie-Hélène Jeuffroy, Mathieu Bazot et Elise Pelzer
UMR 211 Agronomie, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, BP 01, F-78850 Thiverval-Grignon, France

Les légumineuses à graines et fourragères représentent actuellement une faible proportion des surfaces cultivées en Bourgogne, notre territoire d'étude. La réintroduction des légumineuses dans les systèmes de production s'appuie sur une meilleure connaissance et valorisation des services écosystémiques rendus par ces cultures, comme en particulier la restitution d'azote pour les cultures suivantes. De plus, l'obtention de ses services dépend des performances des légumineuses.

L'objectif de nos travaux est de déterminer les facteurs biotiques et abiotiques limitant le rendement afin d'identifier l'origine de la variabilité des performances des légumineuses dans un contexte pédoclimatique défini. Le pois et la luzerne sont les cultures étudiées en Bourgogne dans un observatoire constitué de 23 parcelles agricoles. Une des modalités d'évaluation des performances est le mode de conduite mis en place par les agriculteurs (conventionnel ou biologique). Les adventices, qui sont un facteur limitant prépondérant dans les légumineuses annuelles, ont été suivies par la détermination de la biomasse totale, la richesse ainsi que l'abondance des espèces dans les deux cultures et les deux modes de conduite.

La production de biomasse annuelle de la luzerne est très variable (2,19 à 7,17 T/ha). Elle est corrélée au produit de la hauteur et du nombre de tiges pour les deux premières fauches. Nos résultats montrent qu'un des facteurs limitant sont les fortes chaleurs après la première fauche, impactant la hauteur moyenne de la luzerne et donc son rendement. Une forte variabilité des rendements est également observée sur l'ensemble des parcelles de pois de printemps (17 à 57 q/ha). Nos résultats indiquent que la biomasse d'adventices est un facteur limitant du rendement du pois. Une analyse plus approfondie des communautés d'adventices en termes de diversité montre que la répartition des espèces adventices dépend fortement de la culture (luzerne vs. pois), du mode de conduite pour le pois et de la date de fauche pour la luzerne.

Les observations sont reconduites en 2016-2017 afin de consolider ces résultats préliminaires et évaluer les effets sur la culture suivante. La réalisation des services écosystémiques sera mise en relation avec les performances des légumineuses.

Mots clés autres que dans le titre : services écosystémiques, luzerne, pois

Colza associé à un couvert de légumineuses gélives : Performances et conduiteStéphane Cadoux¹ et Gilles Sauzet²*1Terres Inovia- Avenue Lucien Bretignières – 78 850 Thiverval-Grignon**2Terres Inovia - Domaine du Grand Chaumoy - 18570 Le Subdray*

Associer des plantes au sein d'un agroécosystème est mis en avant comme un levier agroécologique permettant de réduire les intrants tout en maintenant la rentabilité. En France, le mélange de légumineuses gélives en association avec le colza d'hiver est une pratique qui présente des intérêts potentiels et commence à se développer chez les agriculteurs. L'objectif de ce travail conduit par Terres Inovia a été d'étudier les intérêts et limites de diverses associations de légumineuses en termes de croissance et de rendement du colza, de maîtrise des adventices et de dégâts de charançon du bourgeon terminal. Des expérimentations ont été conduites des 2011 à 2014 dans 4 lieux. Elles ont été complétées par des observations faites chez des agriculteurs pratiquant ces associations. Les couverts associés à base de légumineuses gélives permettent d'augmenter la biomasse totale produite et la quantité totale d'azote aérien en entrée hiver, comparé au colza seul. À l'automne ils contribuent à la réduction de la couverture du sol par les adventices et des dégâts occasionnés par les larves de charançon du bourgeon terminal et d'altises, notamment par cet effet de supplément de biomasse produite. Au printemps, les couverts associés permettent de compenser, en partie seulement, une réduction de fertilisation azotée de 30kgN/ha en terme d'azote contenu dans le colza. En revanche, le rendement est maintenu, voire amélioré. D'autres phénomènes positifs compensent donc cet écart d'azote contenu dans les parties aériennes. En conséquence, l'efficacité d'utilisation de l'azote est améliorée avec les associations. En termes d'efficacité des couverts, le mélange féverole-lentille présente les meilleurs résultats sur les réductions de dégâts de charançon du bourgeon terminal, sur l'azote accumulé au stade G4 et sur le rendement du colza. L'association d'un couvert gélif de légumineuses au colza d'hiver est donc une piste pour réduire les intrants, sans impacter le rendement et peut-être apporter des bénéfices plus largement au système de culture.

Mots clés autres que dans le titre : mélange, agro-écologie, efficacité de l'azote, maîtrise des adventices, maîtrise des ravageurs

Introduction de légumineuses dans les systèmes culture : Efficacité pour réduire la dépendance à l'azote minéral et les impacts associés

Stéphane Cadoux¹, Claire Montanier¹, Stéphane Schryve² et Gilles Sauzet³

1Terres Inovia- Avenue Lucien Bretignières – 78 850 Thiverval-Grignon

2Terres Inovia- Chaussée Brunehaut – 80 200 Estrées-Mons

3Terres Inovia - Domaine du Grand Chaumoy - 18570 Le Subdray

En France, les surfaces et les systèmes de grandes cultures conduits en non labour tendent à augmenter. En parallèle les exigences de réduction des impacts environnementaux de l'agriculture sont de plus en plus importantes. Dans le cadre du projet CASDAR 'REDUSOL', Terres Inovia a mis en place en 2009 et 2010 trois expérimentations 'système de culture' (SdC) dans trois contextes différents : argilocalcaires superficiels du Berry (essai YAC), limons sableux profonds et hydromorphes du Berry (YLI) et limons profonds de Picardie (YNO). L'objectif de ces essais était initialement de mettre au point des SdC couplant réduction de travail du sol et performances sur la plan de l'azote, c'est-à-dire réduisant la dépendance vis-à-vis de l'azote minéral (objectif -30%) et les émissions de gaz à effet de serre (GES, objectif -50%), améliorant l'efficacité énergétique (objectif +20%) tout en maintenant les niveaux de rendement et de marge, en comparaison à des SdC de référence de chaque contexte. Les stratégies mises en place pour atteindre les performances en termes d'azote ont consisté (i) à introduire des légumineuses, en culture principale et/ou en cultures associées et/ou en couverts d'interculture et (ii) à modifier la succession des cultures en positionnant systématiquement un colza après les protéagineux pour valoriser l'azote. Les dispositifs ont permis de comparer dans chaque contexte un SdC innovant et un SdC de référence, représentatif des pratiques régionales. Chaque terme de la rotation de chaque système était présent chaque année dans des parcelles d'au moins 150m², et répété trois fois dans des blocs. Les essais se sont poursuivis à partir de 2012 dans le cadre du projet EXPE Ecophyto 'Phyto-Sol'. Un nouvel objectif de réduction de 50% de l'indice de fréquence de traitement (IFT) a alors été ajouté. Les résultats montrent une très bonne efficacité des stratégies pour améliorer les performances en termes d'azote : réduction de l'azote minéral de 26 à 38% et des émissions de GES de 17 à 28% par rapport au SdC de référence. L'efficacité énergétique n'a été améliorée que de 2 ou 3% dans les deux dispositifs où les rendements ont été réduits (YLI et YNO). La réduction des IFT n'a pas permis d'atteindre l'objectif de -50%, ce qui illustre la difficulté à combiner baisse de la dépendance à l'azote et aux produits phytosanitaires. Des systèmes en plus forte rupture ont été imaginés et sont testés dans le cadre du projet inter-instituts SYPPRE.

Mots clés autres que dans le titre : systèmes de culture innovants, agro-écologie, fertilité du sol, émissions de GES, IFT

L'aptitude de différents systèmes de culture de légumineuses à grains comme fourrage riche en protéine dans un essai «on-farm» sur deux fermes biologiques au Luxembourg

Evelyne Stoll - Institute for Organic Agriculture Luxembourg a.s.b.l. (IBLA), Hanna Heidt - IBLA, Torsten Bohn - Luxembourg Institute of Science and Technology, Jürgen Heß - University of Kassel, Stéphanie Zimmer - IBLA

Stoll, E.1, Heidt, H.1, Bohn, T.2, Heß, J.3 and Zimmer, S.1,3

1 Institute for Organic Agriculture - IBLA, 13, rue Gabriel Lippmann, L-5365, Munsbach, Luxembourg, stoll@ibla, www.ibla.lu

2 Luxembourg Institute of Science and Technology - LIST, Environmental Research and Innovation (ERIN) Department, 41, rue du Brill, L-4422, Belvaux, Luxembourg

3 University of Kassel, Department of Organic Farming and Cropping (FÖL), 1a, Nordbahnhofstrasse, D-37213, Witzenhausen, Germany

A cause des déficits de protéines en Europe et les nombreux impacts environnementaux associés aux importations de soja d'outremer, il est important d'augmenter la culture régionale de légumineuses à grains. A cet effet, un essai «ON-FARM» avec de différents systèmes de culture de légumineuses à grains a été établi sur deux fermes biologiques au Luxembourg. Les buts de l'essai étaient d'évaluer la valeur fourragère des différents systèmes de culture, d'évaluer leur aptitude pour la culture sous des conditions d'agriculture biologique au Luxembourg, ainsi que de démontrer la possibilité offerte par la culture de ces cultures.

Dans la saison 2013/14, un essai de bande «ON-FARM» avec 7 différents systèmes de culture de légumineuses à grains a été établi sur deux fermes biologiques au Luxembourg (Colmar-Berg: 360 m au-dessus du niveau de la mer (ASL), précipitation annuelle moyenne (PAM): 750mm, température annuelle moyenne (TAM): 8.8°C, type de sol: limoneux; et Bous: 210m ASL, PAM: 684mm, TAM: 9.4°C, type de sol: limoneux). Les différents systèmes de culture de légumineuses à grains étaient pois protéagineux d'hiver en mélange avec triticales, féverole d'hiver, pois protéagineux d'été, féverole d'été, lupin bleu et lupin blanc. Le triticales d'hiver était cultivé en tant que témoin, qui est incapable de fixer l'azote. Ces systèmes de culture ont été testés pour leur aptitude pratique en ce qui concerne les techniques de culture et leur valeur fourragère.

Le rendement en grains était nettement plus haut à Bous qu'à Colmar-Berg. A Bous, le rendement en grains le plus haut a été atteint avec le lupin blanc et à Colmar-Berg avec le pois protéagineux d'été. Toutefois, le rendement en protéine le plus haut a été atteint sur les deux sites avec le lupin blanc, pourtant le rendement en protéine à Bous étant plus que le double de celui de Colmar-Berg. La différence observée peut être expliquée par la différence en rendement en grains. Cette différence, à son tour, peut être expliquée par la différence de la composition du sol: les deux sites sont classifiés comme limoneux. Cependant, le sol à Colmar-Berg est très plat avec une grande fraction de cailloux, de sorte que la pénétration des racines et la capacité de rétention d'eau sont beaucoup plus faibles qu'à Bous. En général, toutes les légumineuses à grain testées, avec l'exception de la féverole d'hiver à Colmar-Berg, ont montré une bonne aptitude pour la production régionale de fourrage riche en protéine.

Acknowledgements

2nd call on Research of the CORE Organic ERANET, with funding from the Luxembourg National Research Fund (FNR) for the Project Coordinating Organic plant Breeding Activities for Diversity (COBRA) (INTER/ORGANIC/12/01). The authors would like to express their special thanks to the laboratory of the „Administration des Services Techniques de l'Agriculture Luxembourg“ (ASTA) and the families Colling-von Roesgen and Johanns for their support.

Mots clés autres que dans le titre : projet européen COBRA

Évaluation des systèmes de culture de légumineuses à grains en fonction de leur potentiel d'aliments de bétail et de leurs impacts sur le rendement du blé suivant les légumineuses en agriculture biologique dans des conditions défavorables du sol au Luxembourg

Stéphanie Zimmer - Institute of Organic Agriculture Luxembourg a.s.b.l. (IBLA), Thorsten Haase - Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Hans-Peter Piepho - University of Hohenheim, Evelyne Stoll - IBLA, Hanna Heidt - IBLA, Torsten Bohn - Luxembourg Institute of Science and Technology, Jürgen Heß - University of Kassel

Stéphanie Zimmera,d, Thorsten Haaseb, Hans-Peter Piephoc, Evelyne Stolla, Hanna Heidta, Torsten Bohn, Jürgen Heßd

a Institute for Organic Agriculture Luxembourg (IBLA), 13 rue Gabriel Lippmann (5365), Munsbach, Luxembourg, zimmer@ibla.lu

b Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Kölnische Str. 48-50 (34117), Kassel, Germany

c Universität Hohenheim, Fachgebiet Biostatistik, Fruwirthstr. 23 (70593), Stuttgart, Germany

d University of Kassel, Organic Farming and Cropping Systems, Nordbahnhofstr. 1a (37213), Witzenhausen, Germany

e Luxembourg Institute of Science and Technology, Environmental Research and Innovation Department, 41, rue du Brill, L-4422 Belvaux, Luxembourg

Les légumineuses à grains sont des cultures importantes pour la fourniture de protéines dans l'alimentation animale. Le but de l'étude était de: (i) déterminer l'aptitude des différents systèmes de culture de légumineuses à grains en tant qu'aliments de bétail riche en protéines, (ii) la comparaison de la forme d'été et d'hiver de féverole et de pois, ainsi que le pois en cultures pures et en mélange avec des céréales, ainsi que (iii) la comparaison de l'influence sur le blé qui suit les cultures de légumineuses en agriculture biologique dans des conditions défavorables du sol. Dans un essai sur le terrain sur une ferme commerciale au Luxembourg, huit systèmes de culture de légumineuses à grains (comme décrit sous ii plus soja et lupin bleu) et une culture de contrôle qui ne fixe pas l'azote (triticale), étaient cultivées pendant deux années consécutives avec quatre répétitions dans une conception de bloc complètement randomisé et suivi par le blé. Tous les systèmes de culture, étaient adaptés à la culture d'aliments de bétail riche en protéines à part le pois d'hiver en cultures pures. Dans des conditions d'humidité suffisante du sol, la féverole a présenté le meilleur choix (rendement en protéines: 176-311 kg ha⁻¹). Les pois du type 'afila' atteignent des rendements significativement plus élevés dans des cultures pures ($p \leq 0.05$; 3539-4154 kg ha⁻¹) qu'en mélange avec des céréales (2920-3852 kg ha⁻¹), les types à feuilles complètes doivent cependant être cultivées en mélange avec des céréales. Aucune différence significative n'a été observée entre les féveroles d'hiver et les féveroles d'été. En comparaison, le pois d'été a eu des meilleurs résultats que le pois d'hiver, mais cela dépendait plutôt du type de feuilles que du temps de semis. La basse valeur de culture précédente des monocultures de céréales (rendement 1^{ère} année: 2056 kg ha⁻¹) a été confirmée par rapport aux céréales avec des légumineuses dans la rotation des cultures. Cependant la culture de blé est préférable après la culture de pois d'été en cultures pures (rendement 1^{ère} année: 3661 kg ha⁻¹). Les légumineuses à grains dans des cultures pures ont obtenu une plus haute valeur de culture précédente, que le triticale d'hiver ou les légumineuses à grains dans le mélange avec des céréales. On peut donc en conclure qu'en agriculture biologique au Luxembourg, mêmes sous des conditions défavorables du sol, les légumineuses à grains sont des cultures prometteuses pour fournir des aliments de bétails riches en protéines.

Mots clés autres que dans le titre : projet LegoLux, projet européen COBRA

Les légumineuses en Agriculture Biologique : état des lieux et projets en cours

C. Le Gall¹, L. Fontaine² et V. Biarnès¹

1 Terres Inovia- Avenue Lucien Bretignières – 78 850 Thiverval-Grignon

2 ITAB - Maison de l'agriculture, 9, rue André Brouard, 49 105 ANGERS cedex 02

Les légumineuses sont des cultures très présentes en Agriculture Biologique (AB). Elles représentaient en 2014 27 % de la sole cultivée en grandes cultures biologiques. Parmi les espèces les plus cultivées en culture pure se trouvent le soja et la féverole pour les légumineuses à graines et la luzerne pour les légumineuses fourragères. Elles sont particulièrement recherchées car elles ne nécessitent pas d'apport d'azote pour leur croissance et elles en restituent aux cultures suivantes, l'azote représentant l'un des principaux facteurs limitants de la production AB. Elles participent à la gestion des adventices. Elles constituent une matière première riche en protéines essentielle pour les élevages biologiques.

Depuis plusieurs années, on observe le développement des légumineuses en association. Initialement principalement destinées à l'auto-consommation en polyculture-élevage, on les trouve de plus en plus chez les céréaliers spécialisés. Cette pratique permet des gains mutuels pour chacune des espèces associées et notamment une réduction de la pression des bio-agresseurs et dans le cas d'une association avec des céréales une amélioration de la teneur en protéines.

Même si les légumineuses sont bien implantées dans les systèmes biologiques, leur développement se heurte à différents freins techniques, au niveau de la production mais aussi au niveau de la valorisation. Pour trouver des solutions, différents projets associant les instituts techniques, la recherche, les acteurs du développement et les utilisateurs ont été mis en place.

Quantifier les services éco systémiques rendus à court terme par les protéagineux au système de culture

Anne Schneider¹ et Marie-Hélène Jeuffroy²

1 : Terres Inovia, Centre de Grignon, 78850 Thiverval-Grignon, a.schneider@terresinovia.fr

2 : UMR Agronomie INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval-Grignon

Les agriculteurs et conseillers connaissent bien l'existence des effets précédents des protéagineux: (i) à court terme, l'effet sur les performances des cultures suivantes (rendement, économie en engrais azoté appliqué, teneur en protéine des grains, etc. et (ii) à plus long terme, les effets en lien avec la diversification des familles botaniques des cultures : réduction de la pression de certains bio-agresseurs dans des rotations céréalières, diversité des familles de pesticides utilisés réduisant les risques de résistances, etc.. Cependant, ces effets, difficilement, prévisibles en un lieu donné, sont trop peu quantifiés pour être pris précisément en compte dans les outils actuels d'aide au choix pour la conception et pour le pilotage des systèmes de culture incluant ces cultures.

Les estimations moyennes des effets des cultures de légumineuses sur les suivants sont actuellement disponibles sur peu d'espèces et basées sur des données très fragmentaires (voir synthèse dans Jeuffroy et al. 2015). Des connaissances opérationnelles, couvrant une gamme élargie d'espèces cultivées et des segments de successions, sont nécessaires pour appuyer les décisions des conseillers et des agriculteurs dans les systèmes pouvant ou non inclure des légumineuses en culture de rente. De plus, la compréhension et la quantification des facteurs explicatifs majeurs de leur variabilité est nécessaire pour pouvoir adapter les connaissances et références à un contexte donné.

On sait que les dynamiques d'azote après une culture de légumineuses dépendent:

- (i) de la quantité d'N accumulée par la légumineuse, et du contenu en N de son système racinaire et des rhizodépôts,
- (ii) des caractéristiques physico-chimiques des résidus à minéraliser, mais aussi de leur comportement physique pendant la phase de minéralisation,
- (iii) des conditions environnementales (température et humidité notamment).

Il existe ainsi une grande plage de variabilité de la quantité d'azote issu de la minéralisation des résidus de légumineuse, et restitué à la culture suivante (Jeuffroy et al. 2015). Prévoir la quantité dans un contexte donné nécessite l'analyse des facteurs explicatifs majeurs sur une multitude de données afin de définir des indicateurs opérationnels.

Terres Inovia et l'INRA s'engagent conjointement sur la quantification des services des protéagineux et autres légumineuses sur les systèmes de culture, à court et moyen terme, dans le cadre partenarial de l'UMT Alter'N*, en collaboration avec d'autres entités de R&D (notamment l'ESA Angers, et l'ISARA Lyon).

Jeuffroy et al., 2015. Performances agronomiques et gestion des légumineuses dans les systèmes de productions végétales, In : Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables, Schneider et Huyghe (Ed Quae), pp.139-224.

* <http://www.terresinovia.fr/umt-altern>

Risques de fuites de nitrate par lixiviation à court et moyen terme dans les rotations céréalières incluant du pois ou du colza

Beillouin D.¹, Schneider A.², Jeuffroy M-H.¹

1 : UMR Agronomie INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval-Grignon

2 : Terres Inovia, Centre de Grignon, 78850 Thiverval-Grignon

Les risques de pertes de nitrate par lixiviation ont été beaucoup étudiés dans les années 1990 et 2000 à travers différents dispositifs en France et à l'étranger, en se focalisant sur l'hiver qui suit une culture. Le projet de recherche Casdar 7-175 « Pois-Colza-Blé » qui s'est terminé en 2011 a permis notamment de préciser l'effet du pois et du colza sur les reliquats d'azote minéral du sol et la lixiviation du nitrate lors du deuxième automne-hiver après la récolte, et ainsi de quantifier plus finement les risques de pertes de nitrate à l'échelle de différentes successions culturales.

Cette contribution propose une synthèse sur les risques de lixiviation à court et moyen termes pour des successions céréalières comprenant du pois ou du colza en se basant sur les résultats analytiques de ce projet, ainsi que sur une synthèse des essais français et de la bibliographie.

L'introduction de colza dans une rotation céréalière a tendance à diminuer les risques de lixiviation, grâce, d'une part, à une importante absorption d'azote le premier automne juste après le semis et, d'autre part, à une diminution des pertes en azote la seconde année après un colza comparé à un blé (environ 10 kg N ha⁻¹). L'introduction de pois dans une rotation céréalière n'augmente pas les risques de lixiviation par rapport à des successions incluant des blés de blé, grâce à une compensation des risques de lixiviation entre le premier automne (pertes nitriques hivernales supérieures après la légumineuse) et le second automne (pertes nitriques inférieures après un blé de pois par rapport à un blé de blé).

Ainsi la diversification des rotations céréalières par l'inclusion de pois ou/et colza n'entraîne pas d'augmentation des risques de lixiviation par rapport à des successions incluant des blés de blés. En outre, la culture de pois réduit les autres pertes en azote, telles que les fuites liées à la volatilisation de composés azotés, et les émissions de GES comme le protoxyde d'azote.

Utilisation d'un mélange de pois et féverole dans l'alimentation de poulets de chair : effet du décortiquage et de l'extrusion sur les performances de croissance.

Elodie Tormo¹ ; Florian Bastit² ; Corinne Peyronnet¹ ; Patrick Carré³ ; Vincent Gerfaut²

1 Terres Univia, 11 rue de Monceau - CS 60003 - 75378 Paris cedex 08

2 MG2Mix, La basse haie - 35 220 Chateaubourg

3 OLEAD, 11 rue Monge, Parc Industriel - F-33600 Pessac

L'objectif de cet essai était de tester différents régimes à base de protéagineux entiers, décortiqués ou extrudés sur les performances de croissance de poulets standards. Cinq régimes expérimentaux ont été préparés, dont un régime témoin (T) à base de blé, maïs et tourteau de soja. Trois régimes ont été préparés à base d'un mélange (50/50) de pois et de féverole crus (PF), décortiqués (PFD) ou extrudés (PFE). Le cinquième régime a été formulé sans tourteau de soja, à base de féverole décortiquée (FD). La quantité de protéagineux incorporés dans les régimes était de 35 et 40% respectivement pendant les phases de démarrage et croissance/finition. Les régimes expérimentaux ont été formulés pour être iso énergétiques et iso protéiques en prenant en compte une amélioration de la valeur nutritionnelle des amandes de pois et de féverole par rapport aux graines entières tandis que les graines extrudées avaient les mêmes caractéristiques que les graines crues. A J21, le régime FD présentait le GMQ le plus élevé (46.3 g/j). Les régimes T, PF et PFD présentaient des GMQ similaires (44.9, 45.2 et 45.1 g/j respectivement) plus faibles tandis que le régime PFE présentait un GMQ intermédiaire (46.1 g/j). Le régime T présentait l'indice de consommation le plus élevé (1.39). L'indice de consommation le plus faible a été obtenu avec le régime PFE (1.36, 1.35, 1.33 et 1.35 pour les régimes PF, PFD, PFE et FD respectivement). A J32, le régime témoin présentait les performances de croissance et l'efficacité alimentaire les plus faibles. Le régime sans tourteau de soja FD présentait le GMQ le plus élevé (61.9 g/j) et significativement différent du régime à base de protéagineux extrudés PFE (60.4 g/j). Les régimes PF et PFD présentaient des GMQ intermédiaires entre les deux précédents (61 et 60.6 g/j respectivement). Il n'y avait pas de différences significatives entre les IC des 4 régimes à base de protéagineux. Les moins bonnes performances des animaux nourris avec le régime témoin s'expliquent certainement par la surestimation de la valeur nutritionnelle du tourteau de soja utilisé. Les régimes à base de protéagineux entiers et décortiqués ont abouti à des performances et des efficacités alimentaires similaires, ce qui valide les spécifications nutritionnelles prises en compte lors de la formulation. En revanche l'absence de différence de performances entre les régimes PF et PFE indique que l'extrusion n'a pas permis une meilleure valorisation des protéagineux dans cet essai.

Mots clés autres que dans le titre : protéagineux, pois, féverole, poulets, décortiquage, extrusion, performances

Potentialités semencières des Médics en zone subhumide en vue de les utilisées en zone steppique

Alane F.², R.Chabaca¹, Abdelguerfi-Laouar.M³, Abdelguerfi A.¹

^{1 et 3} Ecole National supérieur agronomique, Harrach,

² Institut National de recherche d'agronomie INRAA Baraki,

De nouvelles variétés de légumineuses plus productives comme les médics devront être mises à la disposition des éleveurs situés dans la région semi-aride d'Algérie. Ainsi et à travers deux années d'essai, le rendement des gousses et la production de semence d'une vingtaine de populations appartenant aux espèces : *M.intertexta* , *M.ciliaris*, *M.polymorpha* , *M.Truncatula* et une population introduite *M.muricoleptis* et un cultivar australien (Jemalong) sont appréciés. Les rendements de gousse de l'année 2013 varient entre 78,66g/m² chez poly₂₇ et 3637,33g/m² chez I₁₀₇. Les valeurs du deuxième essai (2015) sont différentes, elles varient entre 40,89g /m² chez Poly₂₃₆ et 464,36 g/m² chez I₁₁. Le cultivar Jemalong offre un rendement de 172,4 g/m². Les rendements en semence correspondant montrent aussi une faible production de l'année 2015. Le ratio feuilles /tiges varie entre 1,03 et 5. La moyenne des rendements en matière sèche des 27 populations en 2013 est de 457,79 g/m² contre 127,41 g/m² chez 18 populations en 2015. Le cultivar Jemalong enregistre un rendement de 12,8g/m². Pour la même dose de semis le nombre de plant par mètre carré varie entre 44 et 112. Le nombre de tige par mètre carré varie entre 136 chez C₂₀₄ et 420 chez I₅₂. La largeur moyenne des ramifications des populations varie entre 13cm chez Tr₃₃₄ et 44 cm chez I₅₂ le cultivar Jemalong offre une moyenne de 17cm. Ainsi les résultats de production des médics dépendent des conditions pédoclimatiques dans la zone littorale d'altitude inférieure à 600-700m. Dans les zones steppiques il faut faire des essais in situ avec ces populations connues.

Mots clés autres que dans le titre : Medicago, médics, populations, gousses, rendement en semence.

Introduction des alternatives fourragères (légumineuses) et évaluation de leur sensibilité au Fluor dans la zone endémique de fluorose : cas de la zone semi-aride de Béni Meskine, Maroc

Hanane Maadid(1,2), El Houssine El Mzouri (1,*), Yahya Koulali (2)

1: Institut national de la recherche agronomique INRA- B.P 589, Centre régional de Settât, Maroc

2 : Laboratoire d'écoconception, énergie, environnement et innovation, Faculté des Sciences et Techniques, Hassan 1er ,Settât, Maroc

Les zones marginales des régions semi arides au Maroc se caractérisent par des précipitations faibles et irrégulières, des sols pauvres et des systèmes de production végétale à faible potentiel. Le pays de Béni Meskine est l'une des régions défavorables au Maroc qui se caractérise par des conditions difficiles affectant négativement la productivité agricole par le manque accentué en fourrage vert de qualité et la faible contribution des aliments produits au niveau de l'exploitation dans l'alimentation du cheptel. Le pays de Béni Meskine est une région endémique de fluorose à vocation agro-pastorale reposant sur une forte intégration agriculture-élevage surtout les ovins de la race Sardi qui souffre de la fluorose. Le but de cette étude est d'introduire des alternatives fourragères (légumineuses) et les quantifier et de dégager le niveau de leur utilisation actuelle afin d'identifier des stratégies de meilleure gestion pour améliorer les productions animales ainsi de préciser leur sensibilité aux polluants du fluor. Pour cela, On a installé chez 13 agriculteurs sur une surface de 2 ha, le mélange (vesce/Avoine), (Vesce/tritcale), (Vesce/Vesce/Orge), et (petit pois /Orge). La biomasse fourragère des mélanges Vesce/Orge, Pois/Orge, Vesce/Avoine et Vesce/Triticale a dépassé 8500 kg MS/ha. La part des légumineuses dans les mélanges était satisfaisante et celle des adventices très faible surtout durant la période hivernale. Durant le mois d'avril, la part des adventices a augmenté mais sans dominer les mélanges introduits. Quant à la teneur en Fluor dans la vesce dans le mois de Février était entre 0,3ppm et 4ppm et dans le mois d'Avril était 0,18 ppm et 4,3ppm. Pour le petit pois, la teneur en fluor est dans le mois de Février varie entre 0,06ppm et 4,1ppm et dans le mois d'Avril varie entre 0,6 et 4,11ppm, sans que des nécroses ne soient apparues, leurs teneurs en fluor excèdent largement celles habituellement admises pour les compléments minéraux.

Mots clés autres que dans le titre : mélange céréale-légumineuse, Vesce, Petit Pois, fourrage, gestion de production animale

Récolte de foin de luzerne
Effet des heures d'intervention et du réglage de la vitesse de rotation des toupies à l'andainage sur les pertes quantitatives et qualitatives.— La Jaillière - Saint Hilaire en Woëvre (juillet 2013)

UIJTTEWAAL A. ARVALIS - Institut du végétal, Station Expérimentale de la Jaillière, 44370 La Chapelle Saint-Sauveur

KARDACZ P. ARVALIS - Institut du végétal, Station Expérimentale Saint Hilaire en Woëvre
CROCQ G CLASEL, 141 boulevard des Loges, CS 84215, F-53942 Saint-Berthevin Cedex

La réussite des opérations de récolte de foin de luzerne, avec le minimum de pertes mécaniques au champ, est une condition indispensable à la bonne valorisation du fourrage par les ruminants. Récolté au stade bourgeonnement en 1^{ière} coupe, avec une durée de repousses inférieure à 6 semaines pour les coupes suivantes, la luzerne en vert présente de bonnes valeurs nutritives (>0.75 UFL et 18 % MAT). Au cours du séchage au champ, les types de matériels utilisés, les réglages de ceux-ci et les conditions d'intervention (heure de la journée, taux de MS des feuilles), véritable savoir-faire des agriculteurs (Mauriès et Paillat, 1997) conditionnent les quantités de fourrages laissées au sol (Sheperd, 1961). Deux essais menés par ARVALIS institut du Végétal en 2013 montrent toute l'importance des précautions à prendre lors des interventions d'andainage : heures d'intervention en priorité dans la rosée et vitesse de rotation des toupies adaptés avec le giro-andaineur. Sans cela, les pertes qualitatives sur la MAT peuvent aller jusqu'à -2.8 points de MAT et augmenter de +10% pour les pertes quantitatives. Selon le contexte de prix retenu, l'intervention sur un fourrage trop sec induit un manque à gagner de 70 à 110 €/ha du fait de la perte de rendement et de qualité du fourrage récolté.

Mots clés autres que dans le titre : protéines, fourrage, enjeu économique

Introduction de légumineuses en système polyculture-élevage : quels impacts ?
Impacts technico-économiques de l'introduction de la luzerne dans un système polyculture -
élevage bovin lait des Pays de la Loire

A. Uijtewaal ARVALIS-Institut du Végétal, Station expérimentale de La Jaillière, F-44370 La Chapelle-Saint-Sauveur

Y. Carel ARVALIS-Institut du Végétal, Station expérimentale de Boigneville, F-91720 Boigneville

S. Battegay ARVALIS-Institut du Végétal, Maison de l'Agriculture, F-35042 Rennes

En 2016, Arvalis – Institut du Végétal a conduit un travail visant à simuler l'introduction de luzerne dans une ferme de type polyculture - élevage de la région Pays de la Loire : 75 ha de céréales et oléagineux, 47 ha de maïs fourrage (11 t MS/ha), 53 ha de prairies - 1 000 000 litres de quota - 121 VL - 3,5 UTA dont 1 UTA salariée. Dans les rotations, la luzerne est intégrée pour 4 ans (10 t MS/ha, 4 coupes, enquête Luzfil) avec prise en compte de l'effet précédent (JUSTES et al., 2001). La luzerne est introduite dans les rations hivernales à hauteur de 4 kg MS/VL/j (enrubannage ou foin) en remplacement partiel des concentrés protéiques et du maïs ensilage pour maintenir les performances laitières (ROUILLE et al., 2010). L'introduction de luzerne a été simulée à UTA constant en externalisant une partie des opérations de la chaîne de récolte de luzerne (pressage-enrubannage). Les simulations ont été réalisées pour 6 contextes économiques réels : campagnes laitières 2009-10 à 2014-15. L'introduction de luzerne permet sur le plan technique d'accroître fortement l'autonomie en concentrés. Les recours aux tourteaux de colza et soja enregistrent des baisses respectives de 9.3 et 20.5 t à l'échelle de l'exploitation soit des baisses de 19 et 31 %. Sur le plan économique, malgré une baisse systématique du prix de revient allant de -2 à -6 €/1 000 litres, le résultat courant de l'exploitation n'est pas systématiquement amélioré. En moyenne sur les 6 campagnes laitières, le résultat courant de la ferme avec luzerne enregistre une augmentation de 1 % par rapport à son homologue sans luzerne. La variabilité de l'intérêt économique de l'introduction de luzerne s'explique en grande partie par le ratio de prix entre les concentrés protéiques et le blé utilisé pour compenser le déficit énergétique de la luzerne. La conjonction d'un prix des concentrés protéiques élevé et d'un prix du blé faible exacerbe l'intérêt économique de la luzerne. Sur le plan environnemental, l'introduction de la luzerne améliore la couverture hivernale des sols en diminuant la surface en interculture longue.

Mots clés autres que dans le titre : intérêt économique, environnement

Effets du niveau d'introduction d'enrubannage de luzerne sur les performances des vaches laitières

Alimentation hivernale

Férard A. (1), Meslier E. (1), Migne L. (1)

(1) ARVALIS-Institut du Végétal, station expérimentale de la Jaillière, F-44370 La Chapelle Saint Sauveur

La recherche d'une autonomie protéique pour les élevages français passe par une meilleure valorisation des ressources fourragères riches en protéines. Pour cela, la luzerne récoltée au bon stade et conservée par voie humide pourrait permettre des gains substantiels sur les achats de concentré azoté. L'effet de différents niveaux d'incorporation de luzerne enrubannée (UFL=0,82 ; PDIN=125 g ; PDIE=78 g) dans la part fourrage de 0, 20 et 40%. L'essai a été mis en place sur la station expérimentale de La Jaillière (44) avec un dispositif expérimental de type blocs complets équilibrés a été mis en place pour constituer 3 lots de 20 vaches de race Prim'Holstein en phase descendante de lactation.

L'introduction de 20 % et 40% (de la part fourrage) de luzerne enrubannée a entraîné une baisse de l'ingestion de 1,8 kgMS par rapport au lot témoin. La production laitière et les taux butyreux et protéique n'ont pas été significativement influencés par le niveau d'introduction de luzerne. La consommation de tourteaux, de 202 kg MS/1000L pour le lot témoin ensilage de maïs, a ainsi été diminuée respectivement de 49% et 65% pour des rations comportant les niveaux bas et haut de luzerne. Avec une luzerne de très bonne qualité, les coûts alimentaires de la ration incluant 20% de luzerne est inférieure d'une dizaine d'euros à celui de la ration témoin. La baisse du coût alimentaire de la ration avec 40% de luzerne est limitée à 5€ en raison de la légère baisse de production de lait observée pour ce régime. L'incorporation de 3 à 5 kgMS/j de luzerne enrubannée dans une ration de vaches laitières basée sur le maïs fourrage permet à la fois de bonnes performances de production et une réduction nette du coût alimentaire tout en augmentant le niveau d'autonomie alimentaire des élevages.

Mots clés autres que dans le titre : luzerne, enrubannage, cout alimentaire, lait

**Foin de légumineuses ; savoir le récolter pour préserver toutes ses qualités
quels effets des matériels, de leurs réglages et des conditions d'intervention sur la quantité et la
qualité du fourrage récolté ?**

Deleau Didier (Arvalis), Uijtewaal Anthony (Arvalis)

L'augmentation du coût des matières premières azotées utilisées dans les rations des ruminants ainsi que la montée des préoccupations environnementales et sociétales conduisent certains éleveurs à produire des fourrages riches en protéines. Parmi les principales légumineuses fourragères récoltées, la luzerne occupe à ce jour une place de premier plan. Néanmoins, au-delà des exigences agronomiques propres à cette espèce, la récolte en foin s'avère délicate pour deux raisons majeures (CABON, 1982) :

- Le pétiole qui assure le lien entre la tige et la feuille est fragile. Ce lien peut être rompu tout au long de l'itinéraire de récolte et rendant non récoltable les feuilles.

- Par ailleurs, lors du séchage au champ, les feuilles sèchent plus vite que les tiges et elles deviennent cassantes lorsque leur teneur en MS augmente et dépasse 80 % MS occasionnant ainsi des chutes de feuilles au sol.

Or les feuilles sont le pilier de la valeur alimentaire des légumineuses fourragères. L'enjeu de la récolte est de les préserver. Depuis 2011, Arvalis – Institut du Végétal conduit différentes expérimentations permettant d'apporter des réponses aux différentes préoccupations autour de la récolte des légumineuses en foin (Crocq, 2014). Sur cette thématique, trois principaux leviers ont été étudiés :

- 1- Le choix des matériels
- 2- Les réglages
- 3- Les conditions d'intervention mécanique
- 1- Le choix des matériels

Le choix des matériels s'avère déterminant dès la fauche. Un essai conduit en 2012 par Arvalis a montré que les faucheuses « classiques à plat » ainsi que les faucheuses conditionneuses à rouleaux sont des matériels adaptés à la fauche des légumineuses car peu agressifs (pertes de biomasse à la fauche = 4 % de la biomasse sur pied). Le conditionnement à rouleaux apportant un effet bénéfique sur la vitesse de séchage du fourrage. Les faucheuses conditionneuses à fléaux ou à doigts, bien que très répandues et adaptées aux graminées fourragères sont à proscrire pour les légumineuses. Des pertes allant jusqu'à 10 % de la biomasse sur pieds ont été rapportées par Arvalis-Institut du végétal en 2015.

- 2- Réglages des matériels

Même si certains matériels ne sont pas adaptés à la récolte des légumineuses, quelques réglages peuvent permettre de réduire les incidences négatives. A la fauche, l'écartement de la « tôle de conditionnement » et la réduction de la vitesse du conditionneur sont des réglages à opérer. Lors des opérations de fanage et d'andainage, la réduction des vitesses de rotation des rotors réduisent les pertes.

- 3- Conditions d'intervention

Pour les étapes de fanage et andainage, deux essais conduits en 2013 sur les stations Arvalis de Saint Hilaire en Woëvre et de La Jaillière ont permis de mettre en avant l'intérêt d'intervenir sur un fourrage réhumidifié (présence de rosée matinale sur le fourrage) afin de limiter les pertes qualitatives et quantitatives (Uijtewaal, 2016). Par rapport à un andainage le matin sur un fourrage encore humide, l'intervention l'après-midi sur un fourrage sec engendre plus de 2 fois plus de pertes quantitatives (660 contre 315 kg MS/ha) et une perte de protéique bien supérieure (-1.8 contre -0.4 pt de protéines). Selon le contexte économique considéré, la compensation quantitative et qualitative de la perte engendre un « manque à récolter » de 70 à 100 €/ha ce qui souligne l'importance du choix de conduite.

Bibliographie :

- CABON G. (1982). « Les pertes en cours de récolte et de conservation de la luzerne et du trèfle violet ». Fourrages, 90, 161-172
- CROCQ G., SORIN S., PROTIN PV. (2014) LUZFIL - La luzerne en Pays de la Loire : réussir la récolte pour une valorisation optimale en élevage bovin lait, 6 pages
- UIJTTEWAAL A., KARDACZ, P, CROCQ G (2016). « Récolte de foin de luzerne : effet des heures d'intervention et du réglage de la vitesse de rotation des toupies à l'andainage sur les pertes quantitatives et qualitatives ». Poster AFFF

Mots clés : fourrages, luzerne, réglages, matériels, pertes de feuilles

**Des plantes compagnes légumineuses pour contrôler les adventices sans impacter le rendement ?
Une meta-analyse.**

Valentin Verret¹, Antoine Gardarin¹, Elise Pelzer¹, Safia Médiène¹, David Makowski¹, Muriel Valantin-Morison¹

1 UMR Agronomie, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval-Grignon, France.

Les plantes compagnes sont des espèces cultivées en association avec une culture de vente, et dont le but n'est pas d'être récoltée mais de fournir un bouquet de services à la culture et à l'environnement. Le contrôle des adventices et la réduction de l'usage des herbicides font partie des raisons principales des agriculteurs pour l'insertion de plantes compagnes dans les systèmes de culture. Les plantes compagnes entrent en compétition avec les adventices pour la lumière, les nutriments et l'eau, mais aussi potentiellement, avec la culture de vente. Les espèces doivent donc être choisies et gérer de manière à concourir avec les adventices tout en limitant la compétition avec la culture et les pertes de rendement. Cette méta-analyse compile 476 observations expérimentales issues de 34 articles scientifiques, et examine s'il est possible d'améliorer le contrôle des adventices sans impacter le rendement dans des systèmes associant une culture de vente annuelle et des plantes compagnes légumineuses à travers le monde. Le type de culture (céréales à paille, maïs, ou autres cultures) et le mode d'insertion de la plante compagne (mulch vivant, semis simultané ou semis en relai) ont été utilisés pour analyser la variabilité des ratios de rendements et de biomasses d'adventices entre la culture en association et la culture seule, dans des modèles linéaires à effets mixtes.

L'association avec une plante compagne a permis de réduire la biomasse d'adventices et de gagner du rendement par rapport à des cultures seules non-dés herbées ou dés herbées dans 52% et 34% des observations respectivement. Des biomasses d'adventices plus élevées et des pertes de rendement n'ont été observées que dans 13% et 27% des cas, respectivement par rapport à des cultures seules non-dés herbées ou dés herbées. En moyenne, les plantes compagnes n'ont pas eu d'effet significatif sur le rendement de la culture de vente, mais ont permis une réduction de 56% de la biomasse d'adventices par rapport à une culture seule non-dés herbée, et 42% par rapport à une culture seule dés herbée. Les cultures de maïs ont le plus bénéficié de l'association à des plantes compagnes, avec un gain de rendement moyen de 37% par rapport à une culture non-dés herbée.

En conclusion, l'utilisation de plantes compagnes légumineuses permet globalement d'améliorer le contrôle des adventices sans réduire le rendement de la culture de vente, mais les conditions qui permettent d'aboutir à des situations doublement gagnantes doivent être approfondies pour encourager l'adoption de cette technique par les agriculteurs.

Mots clés autres que dans le titre : mulch vivant, association de cultures

**Association lupin blanc d'hiver-triticales pour sécuriser la production du lupin et limiter la
croissance des adventices
Diagnostic des bénéfices**

Nicolas Carton¹, Martine Mauline¹, Guillaume Piva¹, Christophe Naudin¹, Guénaëlle Corre-Hellou¹,
François Boissinot²

*1 Unité de Recherche LEVA, SFR 4207 QUASAV, Univ Bretagne Loire, Ecole Supérieure d'Agricultures
(ESA), 55 rue Rabelais 49007 Angers, France*

2 Chambre régionale d'Agriculture des Pays de la Loire, 9 Rue André Brouard, 49105 Angers, France

Avec une richesse protéique du grain proche de celle du soja (32 à 38 %), le lupin constitue une opportunité sérieuse pour augmenter l'autonomie en protéines des élevages du Grand-Ouest. Cependant les faibles rendements et surtout leur irrégularité interannuelle freinent son développement. La faible compétitivité du lupin vis-à-vis des adventices constitue un obstacle majeur à la conduite technique de la culture. L'objectif des travaux présentés ici est de favoriser l'expression des services attendus du lupin et de réduire leur variabilité tout en réduisant le recours aux herbicides via l'association du lupin à une céréale. L'association lupin blanc d'hiver – triticales est cultivée depuis quelques années dans l'ouest de la France, notamment à l'initiative d'agriculteurs accompagnés par leur coopérative. L'originalité de cette association réside dans le double rôle du triticales : il est utilisé comme plante de services pour le lupin et sa récolte contribue à sécuriser le résultat économique. Un diagnostic est réalisé sur 9 sites en Bretagne et Pays de la Loire durant deux années successives. L'association lupin-triticales et le lupin purs sont comparés sur leur niveau de rendement et le niveau de salissement en adventices. En association, le lupin est semé à la même densité qu'en culture pure et la céréale à 30%. Les conduites sont diverses d'un site à l'autre mais mobilisent globalement de faibles niveaux d'intrants et similaires en association et en culture pure (désherbage en prélevée sauf sur un site en conduite biologique, binage sur un site, pas de fertilisation azotée sauf sur un site). Les résultats obtenus dans une grande diversité de situations montrent pour la 1^{ère} année que le rendement du lupin n'est pas significativement inférieur en association (20.2 q/ha) par rapport à la culture pure (24.5 q/ha) ; la réponse est néanmoins variable suivant les sites. Le triticales apporte à l'agriculteur un complément de récolte intéressant (moyenne : 21.5 q/ha). L'enherbement est systématiquement réduit en association comparativement à la culture pure. La biomasse des adventices à floraison et à maturité est significativement réduite par la présence du triticales (63% et 56% de réduction, respectivement). Les travaux vont se poursuivre sur l'analyse des facteurs explicatifs de cette plus forte compétitivité de l'association par rapport au lupin pur (compétitivité pour l'azote et pour la lumière) et l'analyse de la variabilité des rendements afin de mieux comprendre le fonctionnement de ce type d'associations innovantes et de proposer des leviers pour optimiser la conduite de cette association.

Mots clés autres que dans le titre : fixation N₂, complémentarité, légumineuse, céréale

Services fournis par les légumineuses et valorisés par les acteurs dans trois territoires : suivi de 3 observatoires de parcelles en Pays de la Loire, Bourgogne et Midi-Pyrénées

Guenaelle Corre-Hellou¹, Martine Mauline¹, Christophe Naudin¹, Julien Poret¹, Stéphane Sorin², Elise Pelzer³, Safia Médiène³, Marie-Hélène Jeuffroy³, Mathieu Bazot³, Etienne-Pascal Journet⁴, Eric Ledoux⁵, Alain Larribeau⁶, Dominique Garnaud⁷

¹ *Unité de Recherche LEVA, SFR 4207 QUASAV, Univ Bretagne Loire, Ecole Supérieure d'Agricultures (ESA), 55 rue Rabelais 49007 Angers, France*

² *Terrena Innovation, La Noëlle, BP20199, 44150 Ancenis, France*

³ *UMR Agronomie INRA, AgroParisTech, Université Paris Saclay, 78850 Thiverval-Grignon, France*

⁴ *LIPM, Université de Toulouse, INRA, CNRS, Castanet-Tolosan, France*

⁵ *AGIR, Université de Toulouse, INRA, INPT, INP- EI PURPAN, Castanet-Tolosan, France*

⁶ *Qualisol, Quartie Carrel, BP 67, 82102 Castelsarrasin, France*

⁷ *S.C.A de déshydratation de la Haute Seine, 21450 Baigneux les Juifs*

g.hellou@groupe-esa.com

Les légumineuses peuvent offrir une grande diversité de services. Elles permettent de produire des graines aux qualités nutritionnelles intéressantes pour l'alimentation humaine et des graines riches en protéines pour l'alimentation animale. Elles ont aussi des effets précédents indéniables liés à leur capacité à fixer le N₂ et à restitution de l'N mais aussi à leur rôle de diversification, dans le temps et dans l'espace, des systèmes de culture. Toutefois l'intérêt des légumineuses ne devient réel que si les acteurs s'approprient ces services dans leur système de production et dans les filières. Aujourd'hui, ils manquent de références locales pour une diversité d'espèces de légumineuses et modes d'insertion. Par ailleurs, la variabilité des performances rend difficile de prévoir et valoriser ces services par l'adaptation de la conduite sur le système de culture et en particulier sur la culture suivante. Par conséquent, l'accompagnement de démarches visant une plus grande insertion de légumineuses dans un territoire passe par 1) l'identification des attentes exprimées par les acteurs, 2) la caractérisation en conditions réelles chez des agriculteurs des services obtenus, 3) l'identification des principaux facteurs expliquant la variabilité et les leviers utilisés ou utilisables pour valoriser au mieux les services, et 4) le partage des résultats avec les acteurs. Dans trois territoires (Pays de la Loire, Bourgogne et Midi-Pyrénées), des observatoires ont été construits en partenariat avec des coopératives. Plusieurs espèces et modes d'insertion sont étudiés, choisis pour leur intérêt par les acteurs économiques locaux : lupin de printemps et lupin d'hiver pur et associé en Pays de la Loire ; luzerne et pois de printemps en Bourgogne, soja et lentille pure et associée en Midi-Pyrénées. Les préoccupations des acteurs sont contrastées : comment sécuriser l'approvisionnement d'une filière très structurée mais sur l'espèce la plus aléatoire (lupin en Pays de la Loire) ? ; quels sont les services et leur variabilité sur l'espèce la plus cultivée mais considérée peu attractive par rapport à d'autres cultures, à la fois en bio et en conventionnel (pois en Bourgogne) ? ; Quelles sont les performances de légumineuses destinées à de nouvelles filières (améliorer l'approvisionnement d'une filière légume sec, la lentille en Midi-Pyrénées ; de soja bio en Midi-Pyrénées ou de luzerne déshydratée en Bourgogne) ? Un suivi sur 2 ans de la légumineuse et de la culture suivante sur la même parcelle est réalisé (2015-16) et est répété sur d'autres parcelles en 2016-17. Quinze à 20 parcelles de légumineuses ont été suivies par territoire la première année. La variabilité des performances est analysée en lien avec les facteurs limitants (biotiques et abiotiques) et les pratiques des agriculteurs.

Intérêt des légumineuses associées à leurs micro-symbiotes dans la phytostabilisation de déblais miniers

Souhir Soussou^{1*}, Ezékiel Baudoin¹, Patrick Doumas², Stéphanie Mahieu¹, Géraldine Maynaud¹, Roba Mohamad¹, Anouk Favry¹, Claire Serra-Wittling¹, Brigitte Brunel¹, Jean-Claude Cleyet-Marel¹

1-Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes, UMR LSTM :

*IRD/CIRAD/INRA/SupAgro/UM. Campus International de Baillarguet, TA A-82/J. 34398 MONTPELLIER CEDEX 5 France. * soussou@supagro.inra.fr*

2-Biochimie et Physiologie Moléculaire des Plantes : UMR5004 (CNRS/INRA/SupAgro/UM2) ; Campus SupAgro INRA 2, Place Pierre Viala ; 34060 MONTPELLIER Cedex 2

Les anciennes exploitations minières ont engendré des friches caractérisées par des sols très dégradés (érosion, carence en matières organiques et éléments minéraux essentiels à la croissance des végétaux, faible biodiversité) et présentant de fortes teneurs en Eléments Traces Métalliques (ETMs).

La gestion de l'après-mine représente ainsi un enjeu sociétal et environnemental important. Nombre de ces sites peuvent être pris en charge par le recours à la phytostabilisation qui permet l'établissement d'un couvert végétal pérenne (métallophytes et pseudo-métallophytes) destiné à limiter le transfert des ETMs dans l'environnement immédiat.

Certaines synergies entre plantes et microorganismes racinaires peuvent permettre d'accélérer l'installation de ces couvertures végétales et les rendre plus durables. En particulier, l'entrée d'azote par voie biologique dans ces substrats peu fertiles par l'installation de légumineuses fixatrices adaptées et associées à leurs micro-symbiotes efficaces permet de dynamiser les grands cycles nutritifs et les organismes du sol indispensables à la restauration de tels milieux.

Ainsi, nous avons mis en œuvre une démarche d'ingénierie écologique fondée sur des principes inspirés de l'agroécologie valorisant les associations légumineuses-rhizobia. Nous l'avons appliquée à l'échelle de parcelles pilotes pour la phytostabilisation des bassins de décantation de l'ancienne mine des Avinières à Saint Laurent-le-Minier dans le Gard (projet ANR-SyMetal) et à l'échelle de deux mines à ciel ouvert de spath fluor exploitées par la SOGEREM (Rio Tinto) dans le Tarn.

Nous présenterons, sur la base d'une expertise de plusieurs années de recherche-développement, les avantages d'une approche d'ingénierie écologique ayant intégré : (i) la reconstitution d'un sol fonctionnel permettant de lever des facteurs limitants du milieu, (ii) l'intérêt des légumineuses pour l'installation et le développement d'un couvert végétal mixte durable, et (iii) la caractérisation de l'amélioration du sol en présence d'associations fixatrices d'azote.

Mots clés autres que dans le titre : sites miniers, ETMs, légumineuses, symbiose, fixation biologique de l'azote, ingénierie écologique, métallophytes

Elaboration d'un outil d'intégration et de partage des connaissances pour le choix de plantes de service à associer au colza

Safia Médiène, Valentin Verret, James Felix, Muriel Valantin-Morison
UMR 211 Agronomie, INRA-AgroParisTech, 78 850 Thiverval-Grignon

La réintroduction de légumineuses dans les systèmes de culture demande la mise à disposition pour les praticiens d'outils d'aide à la décision. En effet, ces cultures souffrent d'un déficit de connaissances et de références lié à l'historique des légumineuses en France (cf. projet ANR Légitimes). Un enjeu pour la recherche est d'identifier et d'apporter les connaissances nécessaires à la conception de systèmes de culture innovants à base de légumineuses.

L'utilisation de plantes de service (ou plantes compagnes) est une piste intéressante pour le développement de systèmes de culture économes en intrants : e.g. réduction de la fertilisation azotée via la minéralisation des résidus de la plante de service et réduction des herbicides via la compétition et la régulation des adventices par le couvert. Le projet Casdar Alliance vise à évaluer les espèces qui peuvent être associées au colza en tant que plantes de service en vue de l'obtention de différents services (Valantin-Morison et al. dans ce congrès), en particulier les légumineuses gélives (Lorin et al. dans ce congrès).

Nous présentons dans le poster les principales étapes suivies pour l'élaboration d'un outil d'intégration et de partage des connaissances qui vise à classer des espèces candidates - plantes de service à associer au colza en fonction de leur capacité à fournir quatre services (azote, adventices, insectes et production) :

- (i) Recensement des outils existants et des besoins des utilisateurs ;
- (ii) Décomposition des services en fonctions (processus) et traits (caractéristiques) qui permettent aux plantes de réaliser les services (approche fonctionnelle), mais aussi les conditions agro-pédo-climatiques qui sont susceptibles d'impacter les performances des espèces. Ce travail a été réalisé par consultation des différents experts (i.e. conseillers de chambres d'agriculture ; ingénieurs d'instituts techniques) notamment lors d'ateliers participatifs, et par étude bibliographique ;
- (iii) Constitution d'un tableau relationnel « traits-fonctions-services » et d'un arbre DEXI qui agrège les critères depuis les traits jusqu'aux services pour donner une note de réalisation des services ;
- (iv) Création d'une base de données compilant les traits des plantes de service (pour l'instant 10 espèces avec 8 légumineuses et 2 non légumineuses) qui servent, en plus de quelques données renseignées par l'utilisateur sur la parcelle, de données d'entrée dans l'arbre DEXI.

En sortie, l'outil permettra de classer les espèces en fonction de leur potentiel de réalisation des quatre services, et a pour objectif d'explicitier les relations entre les traits des plantes et la réalisation des services.

Mots clés autres que dans le titre : arbre DEXI, légumineuses gélives, plantes compagnes, services écosystémiques, traits fonctionnels

La perception des consommateurs envers les légumineuses

Goyon Annabelle - Groupe SEB

Quintas Virginia - Groupe SEB

Dominique Valentin - CSGA

La perception des consommateurs envers les légumineuses a été étudiée au travers d'une étude d'association de mots réalisée en France. 52 sujets ont dû indiquer les mots leur venant à l'esprit lorsque les stimuli « légumineuses », « protéines végétales » et « bonnes légumineuses » leurs étaient verbalement présentés. Les participants associaient généralement le mot « légumineuses » avec des idées de pays et culture étrangers et de long temps de préparation. Les termes « protéines végétales » étaient fréquemment associés aux concepts de produits agricoles et de durabilité. Concernant les mots « bonnes légumineuses », tous les participants ont reliés ces termes à la texture, au goût et à la nutrition. A partir de ces résultats, des procédés de cuisson innovants ont été créés pour offrir différents réglages de texture pour les légumineuses cuites et pour préparer plusieurs graines simultanément. La fermeté des légumineuses dépend de la température de trempage, du temps de trempage et du ratio eau : graines. Une étude a été menée dont les objectifs étaient de déterminer les textures préférées par les consommateurs et d'étudier si les céréales et légumineuses généralement peu consommées voyaient leur acceptabilité augmentée lorsqu'elles étaient proposées en mélange. Les propriétés de texture ont été mesurées instrumentalement et un test consommateur a été réalisé sur 106 sujets en France. Les résultats montrent que les mesures instrumentales de la texture sont corrélées avec les perceptions sensorielles de la texture des légumineuses. Lorsque que 4 textures différentes de lentilles cuites ont été présentées aux sujets, ceux-ci ont perçu des différences significatives de texture et même de goût. La texture pourrait donc influencer la perception des arômes et du goût des lentilles. Des résultats similaires ont été obtenus sur le quinoa. Concernant les mélanges, l'appréciation globale des légumineuses étaient augmentées lorsque celles-ci étaient mélangées avec 2/3 de céréales (ratio recommandé par les nutritionnistes pour un bon équilibre nutritionnel en termes d'acides aminés). L'appréciation globale des lentilles en mélanges avec de l'orge était de 5.65 contre 5.41 pour les lentilles seules.

Valorisation des protéagineux produits localement par l'élaboration de produits adaptés à l'alimentation humaine en vue d'une commercialisation à travers les circuits courts

CASDAR Transition Agroécologique des exploitations et ateliers technologiques de l'enseignement agricole - EPL 54

Elise Bourcier, Amélie Lorang, Claudine Elbisser - EPL 54

La production de protéagineux en Lorraine est passée de 7860 tonnes en 2009 à 46000 tonnes en 2014. L'EPLFPA de Meurthe-et-Moselle, dans le cadre d'un appel à projets CASDAR 2015-2017, et dans le cadre de sa spécialisation en transformation végétale au sein du RAL (Réseau Agroalimentaire Lorrain), accompagne les producteurs de protéagineux à valoriser leurs productions (de par leur intérêt agro-écologique, nutritionnel, technologique, économique...) par la transformation pour l'alimentation humaine et la commercialisation en circuits courts.

Mots clés autres que dans le titre : Protéagineux, légumineuse, innovation, transformation

Quelle stratégie pour la relance du secteur des légumineuses au Maroc ?

Fadlaoui, A. (INRA), Arrach, R. (MAPM), Al Balghitti1, A. (INRA), Dahan, R. (INRA), & El Mourid, M. (ICARDA)

Au Maroc, les légumineuses existent depuis longtemps aussi bien au niveau du système de production que des habitudes alimentaires. Toutefois, les investigations récentes ont révélé que parmi les cultures qui n'ont pas enregistré de progression figurent les légumineuses. Cette recherche consiste à dresser l'état des lieux des principales caractéristiques de ce secteur en relation avec les politiques agricoles ainsi que les déterminants de l'offre et de la demande. La revue des politiques agricoles a révélé non seulement une quasi-absence de stratégies et de politiques spécifiques au secteur, mais également des distorsions et des effets pervers des mesures de soutien adoptées en faveur d'autres cultures. Aussi, le secteur reste aussi marqué par la fragilité du tissu des acteurs et l'absence d'organisations professionnelles et de l'interprofession. Du côté de l'offre, les modes de production sont restés traditionnels et peu mécanisés engendrant ainsi une dégradation de la rentabilité des cultures. L'agro-industrie est encore au stade embryonnaire correspondant à une faible valorisation et diversification des utilisations ainsi qu'une absence de différenciation des produits. Du côté de la demande, l'évolution de la consommation des légumineuses a été plutôt modeste, peu diversifiée, et saisonnière avec des disparités selon le milieu de résidence, les revenus ainsi que les régions. Compte tenu des constats relevés ainsi que des orientations du Plan Maroc Vert, trois axes d'intervention interdépendants ont été identifiés pour la relance du secteur. Le premier axe consiste à améliorer la gouvernance de la filière à travers l'organisation des acteurs, la création de l'interprofession et la reconnaissance de la spécificité du secteur via un contrat-programme. Quant au second axe, il vise à accroître durablement la rentabilité des cultures en zones favorables dans le cadre d'un système d'approvisionnement contractuel en vue de renforcer les liens verticaux dans les chaînes d'approvisionnement des entreprises agroalimentaires, d'une part, et à prospecter les alternatives de valorisation et de différenciation des produits et dérivés, d'autre part. Le dernier axe consiste à informer et sensibiliser les consommateurs sur les avantages que procurent les légumineuses en matière de nutrition et de santé.

Mots clés autres que dans le titre : Maroc, politique agricole, secteur des légumineuses, offre et demande.

Quels leviers co-construire pour rendre les systèmes de culture avec protéagineux et soja plus attractifs ?

Anne Schneider et Mathieu Godet (Terres Inovia), Françoise Labalette (Terres Univia), Marie-Benoît Magrini (INRA)

Si l'on souhaite exploiter les atouts des légumineuses au sein des systèmes agricoles et alimentaires (nombreux sont avérés), il est indispensable de mieux cerner les spécificités de ces productions et produits mais également d'analyser les freins à leur développement afin de mobiliser les leviers les plus efficaces.

1. Pourquoi n'y a-t-il pas plus de légumineuses cultivées en France alors qu'elles ont des intérêts pluriels ? L'analyse détaillée des dynamiques socio-économiques du secteur replacé dans l'historique de la PAC (Magrini et al. 2015) montre clairement qu'un choix politique historique peut avoir des conséquences de très long terme, au-delà des effets de court terme visés, et que les effets s'imbriquent et s'auto-renforcent, nécessitant une approche systémique du changement. En effet les accords commerciaux d'après-guerre entre les États-Unis et l'Europe ont profondément impacté l'assolement des productions végétales françaises en défaveur des légumineuses, même si, temporairement, le lancement du premier plan protéines à partir de la fin des années 1970 a permis le développement rapide des légumineuses à graines, essentiellement du pois protéagineux, en France et en Europe, mais aussi du soja, notamment en Italie et en France. Actuellement, force est de constater que le différentiel de compétitivité estimé par les agriculteurs par rapport à d'autres cultures (comme les céréales majoritaires ou des cultures industrielles) n'est pas compensé.

2. Enclencher et favoriser la transition ?

La transition vers plus de durabilité avec plus de légumineuses nécessite une réelle décision collective et une approche systémique. Si l'on veut que les légumineuses contribuent à produire plus de protéines végétales en France, alors il est nécessaire d'assurer des volumes suffisants, réguliers et de qualité, et donc organiser les filières des légumineuses récoltées et développer l'offre et les innovations agro-alimentaires pour des produits à base de légumineuses attractifs pour le consommateur. Dans le système dominant basé actuellement sur la maîtrise des intrants (sélection de variétés améliorées, application d'engrais et de produits phytosanitaires), on constate la frilosité de la production agricole actuelle à investir des cultures qui semblent « plus compliquées » à conduire et aux performances « plus variables ». Or l'ensemble des connaissances acquises jusqu'à présent sur les légumineuses (Schneider and Huyghe 2015) montre clairement que la gestion des intrants ne suffit pas pour piloter les légumineuses (du fait notamment du processus biologique qu'elles peuvent utiliser de façon prioritaire pour leur nutrition azotée).

Si l'on veut utiliser les légumineuses dans les systèmes de grandes cultures comme source d'azote pour la croissance des productions végétales (utile pour la durabilité de l'agriculture française), alors il est indispensable de favoriser :

- la réappropriation par le conseil agricole et les agriculteurs de compétences spécifiques sur le fonctionnement et le pilotage de ces cultures
- la mobilisation de tous les acteurs pour imaginer et mettre en oeuvre les leviers adéquats selon les situations.

3. Perspectives pour des leviers efficaces et « durables »

Comme la société, les politiques et certains acteurs agricoles souhaitent effectivement avoir cette source d'azote et de protéines en grandes cultures, l'interprofession et l'institut technique liés aux légumineuses annuelles proposent de cibler plusieurs leviers professionnels et techniques en visant trois objectifs :

(i) Synergie entre les acteurs des filières : coordination et accords, investissement (dont l'amélioration variétale, pour laquelle la taille réduite des programmes de sélection privés limitent la force du levier et creuse l'écart avec les autres cultures), partage de la prise de « risque » du changement, visibilité des marchés, donner un prix à la durabilité, segmentation et gestion coordonnée des flux collectés.

(ii) Compétences renforcées pour les conseillers, les agriculteurs et les autres opérateurs : la priorité reste la conception et le pilotage des systèmes de cultures avec légumineuses. Les moyens doivent être basés sur l'accès facilité aux connaissances et leur co-appropriation pour pouvoir alors les adapter à chaque contexte. Quatre types d'actions doivent être privilégiés : partage d'expérience, démonstrations et formation, innovations (en aval et en amont), aide aux choix et outils.

(iii) Mobilisation : ce troisième enjeu est au croisement des leviers professionnels et techniques.

Pour cela les mécanismes d'appropriation par tous les acteurs doivent être facilités et une réelle attractivité compensant le déficit de compétitivité doit être inventée par l'attribution d'une valeur ajoutée pour la durabilité : segments de marché pour des qualités spécifiques, rationalisation logistique, segments de production permettant de valoriser l'amélioration de la durabilité (compensation carbone, prix des services écosystémiques, etc.).

Magrini M.-B., Thomas A., Schneider A., 2015. Analyses multi-enjeux et dynamiques socio-économiques des systèmes de production avec légumineuses. In : Schneider et Huyghe 2015 : Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables. Éditions Quæ, Versailles, 473 pages.

Mots clés autres que dans le titre : leviers, mobilisation, durabilité, protéagineux, soja

PSDR 4 : Un programme d'aide a la structuration des filières protéines végétales en Bourgogne-Franche Comté

Mathilde Astier, Gérard Duc, Marjorie Ubertosì, Christophe Lecomte, Hédi Ben Chedly, Marie-Sophie Petit, Alain Maire-Amiot

Afin de répondre aux enjeux actuels (réduction des intrants, circuits courts, changement climatique...) les acteurs chercheurs-professions-politiques de Bourgogne et Franche Comté, engagés sur la production de protéines végétales et leur utilisation en alimentation animale et humaine, ont convenu de construire une action PSDR 4 (Pour et Sur le Développement Régional) visant le développement et la triple performance économique-environnementale- sociale de cette filière importante pour l'activité de ce territoire. L'ambition de ce programme est de répondre aux principales questions que se posent actuellement les différents acteurs de la filière agriculture – alimentation – environnement :

- sur l'introduction de nouvelles cultures permettant d'augmenter la teneur et la production de protéines végétales
- sur l'augmentation des effets environnementaux positifs des systèmes agricoles,
- sur la complémentarité entre productions végétales et ateliers d'élevage pour améliorer l'autonomie, la durabilité et la résilience des exploitations,
- sur l'amélioration de la qualité des produits et leur valeur d'usage en alimentation animale et humaine

Ce programme PSDR 4 se compose de deux projets :

- Un projet PROSYS sur l'adaptation pédoclimatique, les impacts environnementaux et la valeur économique des systèmes de culture producteurs de protéines dont l'objectif est de favoriser le développement de systèmes durables dans le contexte de changement climatique.
- Un projet POEETE pour comprendre l'intérêt et le fonctionnement des systèmes de polyculture-élevage à l'échelle des exploitations et des territoires en vue d'optimiser leur durabilité et leur résilience.

Ce programme s'inscrit dans une stratégie territoriale et construira sur 5 ans une arène de réflexion entre les professionnels (réseau d'agriculteurs, collecteurs, plateformes d'essais, industriels etc...), les structures de développement (Instituts techniques, Chambre d'Agriculture, interprofessions, RMT, etc...) et les différents projets de recherche et développement, générateurs de nouvelles références et d'innovations en matière de légumineuses.

Il s'agit, sur la base de séminaires, diagnostics, visites, témoignages et expertises sur le territoire : (i) de construire des réseaux d'acteurs des filières en incluant amont et aval, participant ainsi à de nouveaux modes d'organisation sources de dynamiques territoriales (ii) d'analyser les attentes (consommateur, société, environnement, alimentation...)(iii) d'analyser les freins et de détecter les leviers à la production de protéines végétales (iv) de co-innover et co-évaluer des innovations et leurs impacts (v) et de développer une communication sur des résultats et des références partagées vers différents publics étudiants-professionnels-société.

Cette dynamique permettra d'organiser la filière et ses acteurs, pour une plus grande autonomie protéique et de nouveaux modes de production agro-écologiques.

Mots clés autres que dans le titre : Systèmes de culture, innovation, filières végétales et animales, légumineuses, alimentation humaine, changement climatique, environnement, écologie, durabilité, autonomie, économie, territoire, liens acteurs-recherche-société, filières amont-aval, polycu

**Effet des légumineuses sur la bio accessibilité des vitamines liposolubles :
Quand les légumineuses diminuent l'incorporation des vitamines liposolubles dans les micelles
mixtes au cours de la digestion.**

Marielle Margier¹, Aurélie Siriaco¹, Stéphane Georgé², Marie-Josèphe Amiot¹, Emmanuelle Reboul¹
1NORT, AMU, INSERM, INRA, Marseille, France
2 Département de Biochimie, CTCPA, Avignon, France

Dans le cadre d'une alimentation durable, la relance de la consommation de légumineuses en France est encouragée. Une plus grande consommation est associée à une diminution du taux de cholestérol et de triglycérides circulants, suggérant un impact sur l'absorption des lipides, dont les vitamines liposolubles.

Les vitamines liposolubles A, D, E et K jouent un rôle clé dans la prévention de nombreuses pathologies. Leurs effets santé dépendent de leur biodisponibilité qui est notamment influencée par la matrice alimentaire.

Le but de cette étude est d'évaluer l'impact des légumineuses les plus consommées en France (lentilles, haricots blancs, haricots rouges, flageolets et pois chiches) et du type de préparation (cuisson ménagère vs appertisation) sur la bioaccessibilité (fraction de vitamines retrouvée dans les micelles mixtes) des vitamines A (rétinyl palmitate et β -carotène), D (cholécalférol), E (α -tocophérol) et K (phylloquinone) au cours du processus de digestion.

Des digestions in vitro ont ainsi été mises en œuvre afin de comparer la bioaccessibilité des vitamines liposolubles lorsque celles-ci sont ingérées dans un repas type en présence ou non de légumineuses. La bioaccessibilité a été calculée en rapportant la quantité de vitamines retrouvée dans les micelles mixtes à la quantité de vitamines dans le digestat.

Nos données montrent que l'incorporation des vitamines liposolubles et du β -carotène dans les micelles mixtes en fin de digestion diminue dans la très grande majorité des cas en présence de légumineuses (-11% à -70%) par rapport au repas contrôle ($p < 0.05$). Dans certains cas, l'appertisation semble plus favorable que la cuisson ménagère. C'est notamment le cas pour les pois chiches où les pourcentages de bioaccessibilité du β -carotène et du cholécalférol sont plus importants lorsque ces derniers sont appertisés plutôt que cuits à l'eau (+52% et +18%, respectivement, $p < 0.05$). Cet effet se retrouve également sur la bioaccessibilité du rétinyl palmitate en présence de lentilles ou de haricots blancs (+37% et +58%, respectivement, $p < 0,05$).

Nos résultats montrent que la présence de légumineuses dans un repas diminue la bioaccessibilité des vitamines liposolubles et que le mode de préparation est un paramètre important. Des expériences d'absorption par des cellules intestinales humaines permettront de préciser l'impact des légumineuses et de leur mode de préparation sur la biodisponibilité des vitamines liposolubles. De plus, l'identification de composés limitant la bioaccessibilité de ces vitamines permettra de proposer des formulations de produits à base de légumineuses sans dégrader la qualité nutritionnelle globale du repas.

Mots clés autres que dans le titre : Vitamine A, vitamine D, vitamine E, vitamine K, digestion, absorption intestinale, micelles mixtes, lentilles, haricots blancs, haricots rouges, flageolets, pois chiches, cuisson ménagère, appertisation

Activité antioxydante des extraits micro-onde de différentes parties de graines de fève (Vicia Faba) et leur effet sur la production de l'interleukine-6

Boudjou S1., Zaidi F2., Bach H., Oomah D., Hosseinian F., Ould Saadi Linda.

Université Abderahmane Mira –Béjaia, faculté des Science de la Nature et de la Vie,

1Département Physico-chimie, Laboratoire de Nutrition- Alimentation.

2Département Science des Aliments, Laboratoire de Nutrition –Alimentation.

Parmi les plantes les plus connues au monde entier et les plus consommables en Algérie, les légumes secs. Ces légumineuses sont connues pour avoir beaucoup d'effets bénéfiques sur la santé humaine dans la réduction de l'index glycémique, la prévention contre le cancer, l'inflammation et certaines maladies cardio-vasculaires.

Cette étude consiste à la séparation de la fève en cotylédons et téguments et aussi à l'extraction des composés phénoliques à partir des poudres de ces différentes parties ainsi que leurs graines entières à l'aide d'une micro-onde en utilisant éthanol 80% comme solvant. L'identification des acides phénoliques dans les extraits a été réalisée sur une chromatographie liquide à haute performance (HPLC) et l'activité antioxydante de ces extraits a été déterminée selon le procédé de blanchiment à-carotène, la capacité d'absorption des radicaux oxygène (ORAC), et une activité de piégeage contre le radical diphényl-picrylhydrazyl (DPPH). L'activité anti-inflammatoire des extraits a été étudiée en mesurant la sécrétion d'interleukine-6, lorsque les macrophages ont été exposés à un lipopolysaccharide.

Les résultats de HPLC ont montré que l'acide cinnamique est l'acide phénolique le plus majoritaire dans tous les extraits. Les téguments de la fève présentent une forte activité antioxydante par rapport à leurs cotylédons et leurs graines entières avec une valeur de $30,50 \pm 0,33$ mg équivalents Trolox / g de matière sèche pour ORAC, $66,64 \pm 2,20\%$ dans l'inhibition de blanchissement de la β -carotène, tandis que l'activité anti-radicalaire(DPPH) des téguments de la fève est de $95,99 \pm 0,26\%$. Les résultats montrent que les téguments de la fève ont été efficaces pour réduire la sécrétion de l'IL-6 par 50%, indiquant que ces derniers contiennent des substances anti-inflammatoires.

Les bienfaits nutritionnels de ces cultures traditionnelles dans le maintien et l'amélioration de la santé humaine sont importants en raison de leur durabilité et le potentiel de sécheresse dans les zones arides.

Mots clés autres que dans le titre : activité anti-inflammatoire, l'activité antioxydante, les composés phénoliques, Vicia faba

Pitches (inscrits au 18/05/2016)

Mardi 31 mai		
10h50-10h55	Marie-Benoît MAGRINI INRA	Projet COSELAGE
10h55-11h00	Ghassen TRIGUI GEVES	Détection de dégâts d'insectes sur semences de féveroles et de pois par tomographie à rayons X
15h05-15h10	Elise THALINEAU INRA	Effets de la nutrition azotée sur la résistance de Medicago truncatula à Aphanomyces euteiches
15h10-15h15	Jean-Louis GARNOTEL ACCIR	Les producteurs du Burkina peuvent-ils faire l'économie de l'azote minéral sur Niébé ?
15h15-15h20	Nathalie BLOSSEVILLE Terres Univia	Projet ProtéaSupply
Mercredi 1^{er} juin		
14h50-14h55	Bertrand LAUNAY Top Semences	Le Pois Chiche en France
14h55-15h00	Olivier NOUVEL Nutrinat	Combinaison Céréales/Légumineuses : Salades traiteur, Pâtes sèches

Tables d'exposition (inscrites au 18/05/2016)

AgroSup Dijon - 26 Boulevard Dr Petitjean, 21000 Dijon

Barenbrug France – ZAC Les Portes de la Forêt - 43 allée du Clos des Charmes, 77090 Collégien

Cap Aliment - Rue de la Géraudière BP 71627, 44316 Nantes Cedex 3

Nutrinat – 2 rue Clémence Isaure, 31250 Revel

Qualiment - Inra Transfert, Filiale de l'Inra - 28, rue du Docteur Finlay, 75015 Paris

avec le soutien de

