



HAL
open science

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

Maud Bénézit, Annabelle Larmure, Nathalie Munier-Jolain, Marie-Helene M.-H. Jeuffroy

► To cite this version:

Maud Bénézit, Annabelle Larmure, Nathalie Munier-Jolain, Marie-Helene M.-H. Jeuffroy. Adaptation des types variétaux de pois dans différentes régions françaises : réponse du modèle AZODYN-pois. 1. Rencontres Francophones sur les Légumineuses (RFL1), May 2016, Dijon, France. 139 p., 2016. hal-02744337

HAL Id: hal-02744337

<https://hal.inrae.fr/hal-02744337>

Submitted on 3 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



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 luttes. | 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 hemizygote 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 proteagineux a grosses graines, inra dijon | 104 |
| Diversité biologique pour le maintien du patrimoine et la recherche de performances | 104 |
| Proteagineux : 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 legumineuses 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 legumineuses a grains en fonction de leurs potentiel d'aliments de betail et de leurs impacts sur le rendement du ble suivant les legumineuses en agriculture biologique dans des conditions defavorables du sol au luxem..... | 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 proteagineux 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 mé lange de pois et feverole 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 les utilisées 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-Pyrenees..... | 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 a 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 a 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 fève (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-Benoit 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 MOULOUNGUI | 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. | DREYON 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 ? | UIJTTEWAAL 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 international 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 international 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 commerciales. 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.

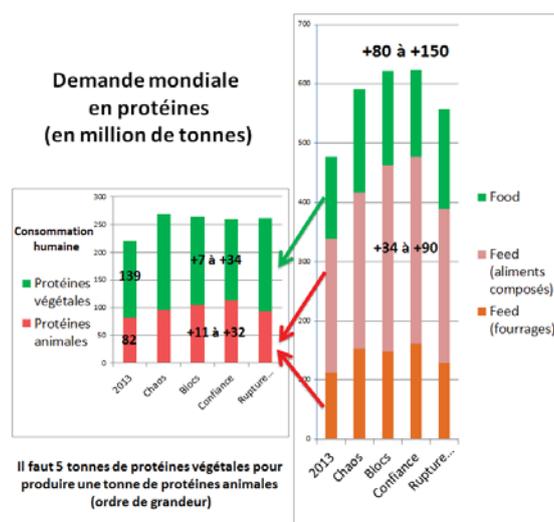
-L'autosuffisance protéique de l'Europe est possible à l'horizon 2030, en bilan net. L'autosuffisance protéique de l'Europe est possible en 2030, du moins en bilan net. Sauf immigration massive, les évolutions en cours de la démographie européenne et des habitudes alimentaires, vers une alimentation 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 Dhaouadi 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 féverole 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* (régliasse), *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'isolements 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 déshuilée 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'appétit 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 amylicées 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 (hypocholestérolémiant, 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 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 diversifié, 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 monogastrique 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 indispensable 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 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 culturaux. 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 gout, 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 gout, 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 GEV 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, Sojaxa (association française des fabricants d'aliments au soja) -
g.joubrel@sojaxa.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. Pernet¹ & M. Lazali⁵

¹INRA Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols & des Agroécosystèmes, 1 Place Viala, F34060, Montpellier, France. *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 bénéfiques 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 $149.7 \pm 5 \mu\text{g}/100\text{g}$ (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. Bonnarme, 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, arômatisante, 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 décrivons 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 ségrégantées 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-Nayel^{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.

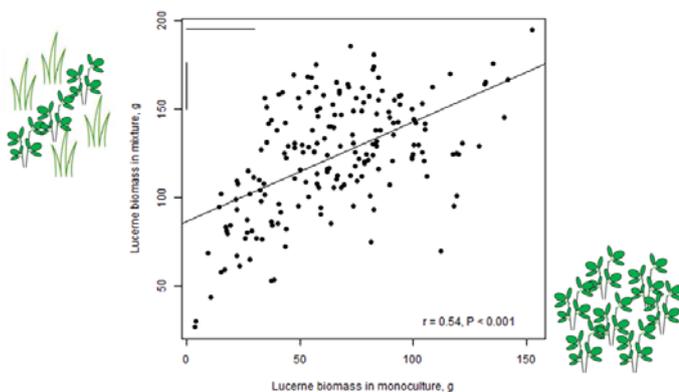


Figure : production de biomasse de la luzerne en culture pure et en culture associée (g/plante). Chaque point représente un génotype de la population de cartographie

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 PV. (2014) : LUZFIL - La luzerne en Pays de la Loire : réussir la récolte pour une valorisation optimale en élevage bovin lait, 6 pages
- Uijtewaal A., Chapis 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, Écophysologie
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 (Mediène 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., Mangenot, 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-Morison, 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-Zaier, 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-Zaier 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 (légumineuses 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-efficients 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 AgroImpact 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 géotypes avec différents mécanismes de tolérance. L'objectif était l'introgession 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 Settat, Maroc*

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

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