

Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables

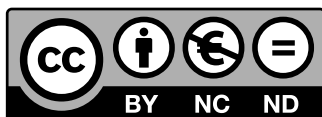
Anne Schneider, Christian Huyghe, coord.



Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables

Anne Schneider, Christian Huyghe,
coordinateurs

Éditions Quæ
RD 10, 78026 Versailles Cedex



© Éditions Quæ, 2015

ISBN : 978-2-7592-2335-0

Le code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction, même partielle, du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6^e.

Table des matières

Avant-propos	1
Introduction	3
Une approche agroécologique pour tendre plus facilement à des agrosystèmes durables.....	3
Les enjeux de la durabilité.....	4
La fonction d’approvisionnement de l’agriculture	5
Les légumineuses comme porte d’entrée d’azote symbiotique dans les systèmes	6
Penser au-delà de l’azote	7
Le contexte national et le besoin d’innovations.....	7
Analyser les spécificités des systèmes avec légumineuses.....	8
1. Rôle des légumineuses dans l’agriculture française	11
<i>Anne Schneider, Christian Huyghe, Thierry Maleplate, Françoise Labalette, Corinne Peyronnet, Benoît Carrouée</i>	
Mode d’exploitation des légumineuses dans les systèmes de production.....	16
Espèces de légumineuses et variabilité génétique utilisée	21
Production des légumineuses à graines.....	41
Production des légumineuses fourragères	52
Diversité d’utilisation des produits de récolte	61
Le nouveau contexte	74
Conclusion.....	77

2. Nutrition azotée et fonctionnement agrophysiologique spécifique des légumineuses.....	79
<i>Anne-Sophie Voisin et François Gastal</i>	
Qu'est-ce que la fixation symbiotique de l'azote ?	79
Dynamique d'acquisition et d'allocation de l'azote en fonction de la disponibilité en nitrate.....	89
Relations interspécifiques et nutrition azotée des légumineuses cultivées en association végétale	104
Facteurs de variation de la fixation symbiotique autres que les nitrates..	109
Flux azotés engendrés par les cultures de légumineuses	122
Autres spécificités agrophysiologiques des légumineuses (hors azote)....	134
Conclusion.....	137
3. Performances agronomiques et gestion des légumineuses dans les systèmes de productions végétales	139
<i>Marie-Hélène Jeuffroy, Véronique Biarnès, Jean-Pierre Cohan, Guénaëlle Corre-Hellou, François Gastal, Pierre Jouffret, Eric Justes, Nathalie Landé, Gaëtan Louarn, Sylvain Plantureux, Anne Schneider, Pascal Thiébeau, Muriel Valantin-Morison, Françoise Vertès</i>	
Systèmes de culture avec légumineuses annuelles à graines	142
Légumineuses non récoltées.....	187
Légumineuses fourragères dans les prairies	197
Conclusion.....	222
4. Conséquences zootechniques de l'introduction des légumineuses françaises dans les systèmes de productions animales....	225
<i>Jean-Louis Peyraud, Jean-Yves Dourmad, Michel Lessire, Françoise Médale, Corinne Peyronnet</i>	
Composition des légumineuses à graines	226
Utilisation des légumineuses à graines en alimentation animale	229
Composition et valeur alimentaire des légumineuses fourragères.....	246
Utilisation des légumineuses fourragères dans les rations des ruminants.....	254
Le concentré protéique de luzerne : un ingrédient aux multiples propriétés et utilisations	260
Conclusion.....	260

5. Les légumineuses pour l'alimentation humaine : apports nutritionnels et effets santé, usages et perspectives.....	263
<i>Martine Champ, Marie-Benoît Magrini, Noémie Simon, Céline Le Guillou</i>	
Apports nutritionnels et effets santé des légumes secs et produits agroalimentaires issus des légumineuses	264
Consommation et perceptions par le consommateur des légumes secs et produits issus de légumineuses à graines	277
Conclusion.....	294
6. Impacts environnementaux de l'introduction de légumineuses dans les systèmes de production.....	297
<i>Pierre Cellier, Anne Schneider, Pascal Thiébeau, Françoise Vertès</i>	
Légumineuses dans les cycles biogéochimiques	299
Flux d'azote dans les différents compartiments de l'environnement en culture de légumineuses	303
Impacts et performances environnementales de la culture de légumineuses et des systèmes incluant des légumineuses	315
Effets des légumineuses à l'échelle de l'exploitation agricole et du territoire.....	326
Conclusion.....	337
7. Analyses multi-enjeux et dynamiques socio-économiques des systèmes de production avec légumineuses	339
<i>Marie-Benoît Magrini, Alban Thomas, Anne Schneider</i>	
Analyses multi-dimensions des systèmes de production incluant des légumineuses	340
Analyse globale sur les dynamiques socio-économiques et technologiques	359
Leviers mobilisables pour des systèmes plus durables avec plus de légumineuses	395
Conclusion.....	412
Conclusion générale	415
Des connaissances en partie liées à un contexte français et européen.....	415
Appréhender la complexité par des approches systémiques.....	417
Ébaucher des recommandations.....	418
Inciter aux changements pour des systèmes plus durables incluant des légumineuses	421

Références bibliographiques	425
Lexique relatif au système de culture	463
Sigles et acronymes	467
Liste des auteurs	471

Avant-propos

Cet ouvrage est le fruit d'une sollicitation du comité N,P,C, à laquelle nous avons décidé de répondre en faisant appel à un groupe d'experts. Il vise à apporter une référence collective et consolidée sur les légumineuses, afin d'alimenter la réflexion globale sur les sources protéiques et la gestion de l'azote au niveau du territoire français.

Le comité N,P,C a été créé en 2011 par les ministères en charge de l'agriculture et de l'écologie. Il a une composition « grenellienne » avec quatre collègues principaux : les représentants de l'État, les représentants du monde agricole et agroalimentaire, les représentants des instituts techniques et des organismes de recherche, et les représentants des associations de défense de l'environnement. Ce comité est une instance d'échanges sur les travaux nécessaires en matière de gestion de l'azote, du phosphore et du carbone. L'objectif général est de dégager un consensus technique le plus large possible sur des sujets pouvant servir de base à l'action publique. Plus précisément, le comité contribue à la production de préconisations et de références techniques consensuelles validées au niveau national, références sur lesquelles l'administration peut s'appuyer pour établir ses politiques publiques et ses normes administratives¹. Ainsi, cette publication s'inscrit directement dans ce cadre.

Les légumineuses, fourragères et à graines, se démarquent des autres plantes cultivées principalement par leur alimentation azotée. Cependant, en tant que pilotes du projet, nous avons vite senti le besoin de dépasser le seul thème azote pour prendre en compte tous les processus qui sont en interaction avec le fonctionnement des légumineuses et l'utilisation de leurs produits de récolte.

Nous avons donc agrégé les connaissances de différents experts pour couvrir toutes les facettes du sujet et permettre à des non-spécialistes de comprendre les spécificités des légumineuses aux différentes échelles d'analyse. En préalable, une photographie actuelle de la situation française pour les légumineuses est donnée, avec un repositionnement dans le temps et sur la scène internationale. Ensuite, la progression des chapitres de l'ouvrage suit l'élargissement du champ d'étude depuis les mécanismes agrophysiologiques spécifiques de la plante de légumineuse pour aller jusqu'aux analyses socio-économiques des systèmes agroalimentaires. En s'appuyant sur la littérature scientifique et technique disponible aux niveaux national et international, chaque chapitre apporte les éléments de connaissances sur les processus spécifiquement liés aux légumineuses pour, respectivement, la production végétale,

1. Ces références pourraient ainsi participer à la définition d'indicateurs ou aider à concevoir des mesures volontaires.

la production animale, la nutrition et santé humaine et les activités socio-économiques du système agroalimentaire en France. L'étape finale a été d'identifier les enseignements que l'on pouvait tirer de l'ensemble de ces connaissances.

Cette compilation permet de montrer les services que peut rendre l'utilisation des légumineuses dans les systèmes de production agricoles et pour l'alimentation humaine, mais aussi les limites et les besoins de connaissances et d'innovations. Pour plagier Armstrong, cet ouvrage a même failli s'intituler *Légumineuses : un petit pois pour l'homme, un grand pas pour l'humanité*. Il avait effectivement prononcé ces mots quelques années avant l'embargo américain sur le soja de 1973 qui déclencha les importants travaux sur les légumineuses en France et en Europe.

Cet ouvrage est ainsi la résultante d'une sollicitation initiale. Il fournit une analyse à un temps donné de l'histoire des systèmes agroalimentaires, dépendante du contexte économique et environnemental et des connaissances disponibles. Il demande donc une réactualisation permanente. C'est un condensé qui donne du grain à moudre pour analyser la contribution possible des légumineuses à l'équilibre agroécologique des systèmes agricoles et alimentaires français.

Nous ne pouvons avoir la prétention de synthétiser l'ensemble des connaissances en un nombre limité de pages, même si ce type de mini-encyclopédie est unique en son genre par son sujet et une approche qui se veut à la fois factuelle et à visée opérationnelle. L'ouvrage appellerait volontiers des développements ultérieurs, que ce soit pour prendre en compte les avancées des connaissances, bénéficier de la nécessaire maturation de l'expertise multidisciplinaire, considérer les évolutions des besoins des acteurs du monde agricole et de la société, ou mettre en débat certains points développés dans les pages qui suivent.

Nous remercions chaleureusement chacun des contributeurs pour avoir apporté leur pierre à l'édifice, dans un contexte uniquement informel, et tout spécialement les coordinateurs de chapitres pour avoir orchestré l'alimentation des différentes thématiques de cet ouvrage collectif.

Nous sommes reconnaissants aux commanditaires, les membres du comité N,P,C, pour l'initiation du projet, et à nos organismes respectifs, l'Inra, l'Unip-Cetiom et le MAAF, pour avoir accordé du temps pour le pilotage du projet. Nos remerciements sincères vont également au ministère français en charge de l'agriculture et de l'agroalimentaire pour son soutien à la publication de cet ouvrage. Il se décline en deux versions : un document relié mais également un ouvrage électronique, dont nous espérons une large diffusion au sein des instances d'enseignement agricole et de développement agricole, clés de voûte du changement des approches permettant une évolution vers plus de durabilité.

Anne Schneider, Hacina Benahmed, Christian Huyghe

Introduction

La question vaut d'être posée : que savons-nous sur les apports et les potentiels des légumineuses pour contribuer à renforcer la durabilité des systèmes de productions agricoles français, en lien direct avec l'alimentation et la santé des citoyens et les activités socio-économiques ? Comment cette composante (hétérogène) des écosystèmes peut-elle les moduler, et comment l'utiliser pour accentuer les bénéfices potentiels et réduire les dommages éventuels sur toutes les composantes de l'environnement ?

En s'appuyant sur la définition du développement durable de la Commission Brutland², rappelons tout d'abord qu'une agriculture durable poursuit au moins 5 objectifs simultanément : c'est une agriculture respectueuse de l'environnement, économiquement viable et socialement équitable, qui est source de produits sains et de haute qualité, et qui ne présente pas de menace sur le futur potentiel agricole (Wezel et Jauneau, 2011).

C'est donc à l'aune de cette échelle multidimensionnelle qu'il faut appréhender le rôle des légumineuses selon la façon dont on les utilise.

► Une approche agroécologique pour tendre plus facilement à des agrosystèmes durables

L'agroécologie*, c'est-à-dire l'écologie des systèmes agricoles, est une approche multidimensionnelle s'appuyant sur le croisement des sciences agronomiques, écologiques, humaines et sociales (Francis, 2003 ; Gliessman, 2007 ; Tomich *et al.*, 2011). L'agroécologie permet d'appréhender dans leur complexité tous les mécanismes de régulation en jeu au sein des systèmes cultivés et naturels, eux-mêmes en étroite interaction avec les différents êtres vivants dont les hommes, en repositionnant le tout dans la sphère sociale et économique, et en considérant les dimensions géographique, temporelle, voire éthique. Elle permet d'envisager les voies pour parvenir à un bouclage des cycles de fertilité.

2. *Notre avenir à tous (Our Common Future)* est une publication rédigée en 1987 par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'Organisation des Nations Unies, où la notion de développement durable est définie pour la première fois : « Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de « besoins », et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir ».

* Terme défini dans le lexique.

Appliquée à la sphère de production agricole (David *et al.*, 2011), l'agroécologie peut se traduire en un ensemble de pratiques agricoles dont la cohérence repose sur l'utilisation des processus écologiques et la valorisation de l'(agro)biodiversité. Élargie aux dynamiques territoriales et aux acteurs sociaux, elle traite des systèmes pour les penser en termes de développement durable. Une telle approche permet alors de tendre de façon plus pertinente vers des agrosystèmes durables, en prenant en compte la complexité des mécanismes, l'interdépendance des différentes composantes, et la relation aux conditions locales.

► Les enjeux de la durabilité

Comment l'agriculture française peut-elle évoluer vers une agriculture plus durable et contribuer à relever les défis alimentaire et environnemental auxquels le monde doit faire face, avec l'augmentation de la demande alimentaire mondiale ? Ces défis doivent être relevés dans un contexte mouvant : en termes climatiques (augmentation continue de la teneur en CO₂ de l'atmosphère), en termes géopolitiques (globalisation et mondialisation des échanges), en termes économique et financier (volatilité des prix), et en termes de ressources naturelles fossiles (épuisement).

Il s'agit tout d'abord de maintenir le potentiel agricole, c'est-à-dire la qualité de l'écosystème productif reposant sur la qualité physique, chimique et biologique des sols. Il s'agit ensuite d'améliorer l'efficacité de l'agriculture, en exploitant en priorité les processus et les régulations biologiques inhérents aux écosystèmes, afin de remplir différents rôles de l'agriculture : fonction de production, nourricière et économique, fonction de support et de régulation des systèmes cultivés et naturels, fonction culturelle et sociale.

Ces bienfaits que les humains obtiennent des écosystèmes ont été baptisés « services écosystémiques »* lors de l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (Millennium Ecosystem Assessment), réalisé en 2005 par les Nations Unies³. La fonction culturelle et sociale figure également parmi les services écosystémiques. Elle est souvent sous-estimée mais est pourtant essentielle, tant par le lien qui lie la société à l'acte de production agricole ou aux paysages ruraux, que par la dimension culturelle des produits agricoles et de leur lien aux territoires.

La fonction nourricière de l'agriculture a été la plus travaillée, notamment depuis la seconde guerre mondiale, avec un succès largement reconnu, mais l'approche mono-objectif a engendré des dommages collatéraux que l'on ne peut plus ignorer. Ainsi en mars 2005, les 1 300 scientifiques et experts de 95 pays qui ont travaillé au rapport onusien ont dressé un sombre bilan : « 60 % des services fournis par les écosystèmes et qui permettent la vie sur Terre sont dégradés ou surexploités ».

Il est maintenant clair qu'il s'agit de trouver collectivement, sans stigmatiser un acteur ou un autre, les moyens de progresser pour intégrer plus fortement les fonctions autres que la fonction de production dans l'organisation des systèmes agroalimentaires.

3. Rapport de synthèse de l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire, sous la co-présidence de Watson R.T. et Zakri A.H. <http://www.millenniumassessment.org/en/index.aspx>

Cependant, un tel changement pour passer d'une éthique productionniste à une éthique agroécologique est un processus de longue haleine. Et l'être humain doit résoudre ou dépasser sa dissonance éthique (Kirschenmann, 2000) au cœur de ce paradoxe : comment éviter le biais de l'être humain qui oriente ses activités vers son propre intérêt à court terme alors qu'il n'est qu'une composante d'un tout qui l'englobe largement, et dont le fonctionnement à toutes les échelles spatiales et temporelles conditionne aussi la survie et le bien-être de l'être humain ?

► La fonction d'approvisionnement de l'agriculture

L'agriculture a pour fonction première de nourrir les hommes et les animaux, et elle est également source de matières premières pour l'industrie non alimentaire. L'augmentation de la population mondiale et la globalisation des échanges de matières premières agricoles ont remis la fonction d'approvisionnement parmi les priorités de l'agenda mondial.

Par le nombre conséquent d'emplois et les excédents commerciaux qu'il représente, le secteur d'activité agricole et agroalimentaire est hautement stratégique pour la France. Cependant, ce secteur est, plus que tout autre, en interaction étroite et continue avec les processus qui se déroulent à la surface de notre planète Terre.

Comment concilier les objectifs stratégiques de productivité avec ceux de durabilité que l'Union européenne et la France se sont fixés, afin de préserver la qualité de la vie d'aujourd'hui et de demain, en protégeant les ressources naturelles et la santé des êtres vivants ?

En termes d'alimentation, l'être humain a besoin de protéines à la fois pour la constitution et le fonctionnement de son organisme (composants des organes et muscles, éléments intra- et inter-cellulaires, comme les récepteurs membranaires), de glucides comme source d'énergie pour son métabolisme, de lipides pour ses constituants membranaires et réserves énergétiques, et enfin d'éléments minéraux et de vitamines pour le bon fonctionnement de son métabolisme.

En agriculture, l'azote est un des facteurs clés de la productivité et de la compétitivité agricoles, car les productions végétales, qui nourrissent animaux et humains, ont besoin de grandes quantités d'azote pour des rendements élevés. En effet, avec le carbone (C), l'azote (N) est un élément constitutif des processus vivants, c'est-à-dire que tout organisme vivant en a besoin : les animaux comme les plantes absorbent cet élément de leur environnement pour élaborer les acides nucléiques et les protéines nécessaires à leur métabolisme. Pour les plantes, le processus de photosynthèse qui permet la captation du CO₂ grâce à l'énergie lumineuse interceptée est assuré par des protéines, et surtout la RuBisCO. Si l'azote est un atome essentiel pour la constitution des protéines, les organismes vivants ne peuvent assimiler que l'azote dit « réactif » des composés azotés comme l'ammoniac, les nitrates, les acides aminés, les protéines, etc. Dans le monde végétal, les légumineuses (de la sous-famille botanique des Fabaceae, également nommée Leguminosae) jouent un rôle particulier par leur capacité à exploiter l'azote gazeux (en quantité illimitée sous forme N₂ dans l'air ambiant), contrairement aux autres plantes qui ne peuvent utiliser que l'azote

minéral, en quantité limitée dans le sol. Elle réalise ceci grâce à une symbiose* avec des bactéries des genres *Rhizobium* ou *Bradyrhizobium*. Elles partagent cette particularité biologique avec quelques autres sous-familles botaniques proches (Cesalpinoaceae et Mimosaceae). Quelques rares autres cas de symbiose* permettent l'absorption d'azote gazeux, comme celles avec les bactéries du genre *Azospirillum*.

► Les légumineuses comme porte d'entrée d'azote symbiotique dans les systèmes

Les cultures de légumineuses fournissent majoritairement des glucides (source d'énergie métabolique) et des protéines (sources d'éléments constitutifs et régulateurs) mais également une panoplie variée selon les espèces des autres éléments (lipides, fibres, éléments minéraux, vitamines) pour l'alimentation des hommes et des animaux. Outre leur rôle dans le cycle de l'azote, la production de légumineuses interagit avec d'autres cycles biogéochimiques comme ceux relatifs au phosphore ou aux xénobiotiques. La présence de légumineuses dans les systèmes de production agricoles concourt à l'augmentation de la diversité fonctionnelle des agroécosystèmes, ce qui est favorable à la biodiversité des paysages et territoires agricoles. Elles contribuent ainsi à plusieurs titres à l'équilibre des systèmes agroécologiques.

Cependant, en Europe, les légumineuses à graines représentent actuellement moins de 2 % des surfaces de grandes cultures alors que les autres continents en comptent 10 à 25 % (avec notamment soja, pois, haricot, arachide). Les surfaces de légumineuses fourragères en culture pure sont également limitées (1 % de la SAU), alors que leur utilisation en association avec des graminées tend à se généraliser dans les prairies temporaires. Cette régression des surfaces de légumineuses, ainsi que celle d'autres cultures mineures, sous le double effet du marché et de la réglementation, est-elle compatible avec l'objectif de durabilité des systèmes ?

L'azote est aussi un élément majeur des enjeux environnementaux. Trois sources sont à l'origine des composés azotés actifs sur la planète : la fixation symbiotique, la production industrielle d'engrais et les processus de combustion. L'encadré 6.1 illustre et quantifie le détail des flux concernés. Actuellement, l'azote présent dans les systèmes agricoles et issu de la fixation symbiotique ne représente que 50 millions de tonnes (Mt) dans le monde, 1 Mt dans l'EU-27 et 0,5 Mt en France (encadré 1.1). La plus grande expérimentation de géo-ingénierie mondiale est la production d'azote réactif* en grande quantité inventée au début du xx^e siècle *via* le procédé industriel Haber-Bosch produisant de l'ammoniac et conçu en 1909 par deux chimistes allemands, Fritz Haber et Carl Bosch, qui reste le seul utilisé au monde aujourd'hui. Nécessaire pour répondre à l'augmentation de la population au cours du xix^e siècle, face à laquelle la fixation symbiotique ne suffisait plus (ni les ressources limitées d'azote fossile comme le guano), cette production exponentielle d'azote réactif* a généré un cumul d'effets environnementaux inattendus, notamment en Europe, l'une des principales régions productrices d'azote réactif. La particularité du procédé industriel est de fonctionner à très haute température et sous très hautes pressions pour rompre la triple liaison chimique associant les deux

atomes de N de l'azote gazeux et pour permettre la réaction avec l'hydrogène. Ce processus, qui mobilise du gaz naturel comme source d'énergie et d'atomes d'hydrogène, est donc très énergivore puisqu'il faut 2 kg équivalent pétrole pour fixer 1 kg d'azote sous forme d'ammonitrate⁴. En plus de la consommation accrue en énergie non renouvelable, cinq menaces majeures pour la société ont été identifiées par le collectif de l'ENA (*European Nitrogen Assessment*) : qualité de l'eau, qualité de l'air, augmentation de l'effet de serre, écosystèmes et biodiversité (Sutton *et al.*, 2011).

►► Penser au-delà de l'azote

L'azote et les flux azotés ne constituent pas le seul élément à considérer dans une réflexion sur la place des légumineuses dans la durabilité des systèmes de production agricoles et la durabilité des systèmes alimentaires. Il est essentiel de prendre en compte de façon holistique tous les éléments composant les systèmes considérés. Il est souvent entendu que la diversité des composantes d'un système de production en assure la résilience* (capacité à retrouver sa forme initiale après une déformation) ou la robustesse* (capacité à résister à la déformation) (étude Inra pour le CGSP : Inra, 2013). La présence et l'utilisation de légumineuses dans les systèmes agricoles peuvent être analysées à cette aune.

Les défis majeurs de la durabilité des systèmes de production agricoles et des systèmes agroalimentaires sont :

- la production de matières premières en quantité et qualité suffisantes pour assurer la performance* économique et la satisfaction sociale des acteurs de la production et de la transformation, et pour répondre aux attentes des consommateurs ;
- l'efficacité énergétique et la réduction des émissions de gaz polluants ;
- la réduction des produits phytosanitaires et des pertes de phosphore et nitrates ;
- le maintien de la biodiversité au sein des écosystèmes naturels et cultivés ;
- l'amélioration du bilan environnemental des industries de l'aval et de la sécurité des approvisionnements.

►► Le contexte national et le besoin d'innovations

Le contexte français est une déclinaison nationale d'un cadre réglementaire européen. La production agricole est largement encadrée et coordonnée au niveau communautaire et elle bénéficie d'une politique agricole commune ayant permis le développement, au cours du xx^e siècle, d'une agriculture productive et compétitive. Actuellement, les priorités évoluent et la déclinaison nationale se traduit dans le projet agroécologique dénommé « Produire autrement » et dans la loi d'Avenir de l'agriculture, de l'alimentation et de la forêt du 11 septembre 2014. Le projet

4. On notera la publication en 2013 des travaux de deux équipes japonaises et d'une équipe chinoise rapportant la découverte d'un nouveau catalyseur, composé organique avec trois atomes de titane, le trihydruure, permettant de casser les trois liaisons du N₂ et la réaction avec l'hydrogène (Shima *et al.*, 2013).

agroécologique se décline en différents plans, dont certains sont pertinents pour la question des légumineuses. On citera le plan Ecophyto visant à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires de synthèse dans la protection des cultures, le plan Semences et Agriculture Durable qui encadre l'orientation de la sélection et de l'inscription de variétés au Registre National et favorise la prise en compte de la dimension environnementale, le plan Ambition Bio visant le développement de l'agriculture biologique sur le territoire national, le plan Abeilles ayant pour objectif de limiter le dépérissement des populations d'abeilles mellifères et plus largement des pollinisateurs et de relancer la production apicole.

Ces plans répondent clairement à des attentes fortes de la société vis-à-vis d'une agriculture productive, capable de produire des produits sûrs et sains à des prix bas, et respectueuse de l'environnement. Ils conduisent également à la mise en place de différentes politiques incitatives françaises, liées à la politique agricole commune et l'articulation entre le Premier et le Second Pilier.

Les relations entre des performances productives et environnementales sont souvent analysées comme une simple opposition entre deux performances antinomiques ou comme un compromis entre deux composantes. Au lieu de penser que la performance productive diminue lorsque la performance environnementale augmente et que le compromis doit être géré par les forces du marché ou les réglementations et politiques publiques, il faut s'interroger sur l'existence éventuelle (ou la possibilité de créer) une relation curvilinéaire convexe. Par exemple, lorsqu'il approche les mécanismes en jeu derrière les flux azotés polluants, un agriculteur comprend très vite que « ce qu'il perd en azote (et qui risque de polluer), il le paye en intrants inutiles et le perd en rendement et en prix de vente », ce qui le conduit à considérer alors la réduction des impacts environnementaux comme une amélioration de l'efficacité de son système et de sa compétitivité. De même, si on décide de donner de la valeur (sociétale ou monétaire) à un système qui réduit les dommages environnementaux, alors les performances peuvent augmenter conjointement.

Pour créer ces situations nouvelles, avec des combinaisons novatrices, il faut souligner le besoin impératif d'innovations, définies par l'OCDE en 2005 dans le Manuel d'Oslo comme étant l'adoption de nouveautés. Ces innovations sont non seulement technologiques mais aussi organisationnelles. Elles obligent à des démarches de conception, permettant des innovations incrémentielles ou de rupture. Dans le cas des légumineuses, ces besoins d'innovations concernent à la fois les systèmes de production agricoles et les systèmes alimentaires et agroalimentaires. Si l'innovation est le fait d'amener une nouveauté au marché, la conception d'une nouveauté requiert la mobilisation de savoirs, qu'ils soient académiques et formalisés ou détenus par les agriculteurs et les praticiens.

► Analyser les spécificités des systèmes avec légumineuses

Cet ouvrage présente et analyse la situation actuelle, en la replaçant dans une évolution historique. Ensuite, il documente le fonctionnement spécifique des légumineuses et analyse les conséquences de leur présence dans les productions végétales

et dans les productions animales. Enfin, il décrit les dynamiques qui valorisent ou freinent leur potentiel d'utilisation dans les systèmes agricoles français.

En compilant les connaissances disponibles au niveau national et international, cet ouvrage documente ce en quoi les légumineuses intégrées dans les systèmes agraires et les systèmes alimentaires peuvent contribuer à :

- assurer la fourniture de matières premières agricoles, fourragères ou en graines, sources d'énergie et de protéines ;
- augmenter les rendements agricoles *via* les effets agronomiques et l'ensemble des services écosystémiques apportés par les légumineuses aux cultures qui les suivent ou auxquelles elles sont associées, permettant une meilleure productivité globale par hectare avec moins d'intrants, tout en modulant l'offre des matières premières agricoles ;
- valoriser la voie symbiotique pour faire entrer l'azote dans le système agricole, en évitant notamment les émissions polluantes liées à la fabrication et à l'épandage des engrais azotés industriels, au stockage et l'épandage des effluents d'élevage ou des boues résiduaires industrielles ou urbaines ;
- diversifier les familles de plantes cultivées pour une meilleure régulation naturelle des bioagresseurs, et réduire ainsi le recours aux fongicides et herbicides ;
- assurer l'alimentation du bétail, tant en ce qui concerne la ration de base que la complémentation protéique des rations ;
- diversifier l'offre alimentaire des consommateurs pour varier les sources et valoriser certains atouts santé des produits des légumineuses ;
- valoriser la richesse des terroirs et la diversité culturelle.

Toutes les cultures de légumineuses sont considérées dans cet ouvrage : les légumineuses à graines récoltées à maturité (comme les protéagineux, les légumes secs ou le soja), les légumineuses fourragères (luzerne, trèfle, sainfoin) récoltées ou pâturées, ainsi que toute espèce de légumineuse valorisée au sein d'un couvert végétal même si elle n'est pas récoltée.

Le chapitre 1 donne la photographie de la diversité des espèces utilisées et de la production de légumineuses en France aujourd'hui (en la situant historiquement, au sein de l'Europe et du monde). Ensuite, par un élargissement progressif de l'échelle d'analyse, le déroulé des chapitres suivants décline les éléments de connaissances sur le rôle des légumineuses dans les processus impliqués au sein des systèmes agraires :

- le fonctionnement agrophysiologique de la plante de légumineuses et du couvert végétal (chapitre 2) : les spécificités de la plante liées au cycle de l'azote fixé symbiotiquement et les mécanismes agrophysiologiques spécifiques qui en découlent au sein du couvert végétal ;
- le fonctionnement de la culture de légumineuses et ses services de production au sein des systèmes de production végétale (chapitre 3) ;
- les conséquences zootechniques de l'utilisation de ces matières premières dans l'alimentation des animaux (chapitre 4) ;
- les conséquences de l'utilisation des légumineuses dans l'alimentation humaine et dans l'industrie agroalimentaire ou non alimentaire (chapitre 5) ;
- les impacts environnementaux (positifs ou négatifs) des systèmes agricoles comprenant des légumineuses sur les différents compartiments de l'environnement (chapitre 6) : en quoi les légumineuses modulent la gestion des ressources et des

nutriments comme l'azote, les flux des polluants, et les impacts possibles de ces polluants sur l'environnement à différentes échelles d'analyse (du cycle biogéochimique à la planète) ;

– les analyses multi-enjeux et les dynamiques socio-économiques des systèmes incluant les légumineuses (chapitre 7) : évaluation multicritère selon les types de système, analyse des jeux d'acteurs et des dynamiques des systèmes agricoles à l'échelle de l'exploitation agricole, des systèmes agroalimentaires et du territoire.

Ainsi, après avoir apporté les éléments d'analyse pour apprécier le potentiel de ces cultures (chapitres 2, 3, 6 et 7) et de leurs produits (chapitres 4 à 7), sont étudiées les stratégies de déverrouillage (chapitre 7) possibles si l'on veut faire évoluer le système dominant actuel. Il s'agit alors d'identifier des leviers à actionner par les différents acteurs publics et privés du monde agricole et industriel, en s'appuyant sur des opportunités existantes ou en faisant émerger celles qui seraient encore plus incitatives. Des éléments essentiels à retenir sont résumés tout au long de l'ouvrage. La conclusion reprend quelques éléments clés et esquisse des recommandations.

Chapitre 1

Rôle des légumineuses dans l'agriculture française

Anne SCHNEIDER, Christian HUYGHE, Thierry MALEPLATE,
Françoise LABALETTE, Corinne PEYRONNET, Benoît CARROUÉE

Les légumineuses sont des plantes dicotylédones appartenant à la famille botanique des Fabacées⁵, qui représente la troisième famille de plante par le nombre d'espèces (à savoir 18 000 référencées), après les composées (Astéracées) et les orchidées. La plupart des légumineuses cultivées appartiennent à une des sous-familles (les *Faboideae* ou *Papilionoideae*) et plus précisément aux tribus des Fabeae, des Phaseoleae et des Trifolieae. On connaît environ 376 espèces de légumineuses naturelles ou spontanées en France (y compris les légumineuses cultivées en grandes parcelles) soit seulement 2 % de la flore mondiale de légumineuses.

Les légumineuses sont caractérisées par :

- des fleurs papilionacées (en forme de papillon) pour la plupart des espèces cultivées,
- une gousse contenant des graines (la gousse étant le fruit issu de l'ovaire de la fleur),
- et pour la majorité des membres de cette famille, la capacité d'utiliser l'azote atmosphérique (N₂) pour produire ses propres composants protéiques. Cette capacité est permise par la symbiose* avec des bactéries du sol fixatrices de l'azote au sein d'organes spécialisés (les nodules) qui se développent sur les racines (voir p. 79).

Par cette troisième caractéristique, et contrairement aux autres espèces cultivées, la culture de légumineuses n'a en général pas besoin d'apport de fertilisants azotés pour exprimer une croissance optimale, et elle représente une porte d'entrée d'azote symbiotique (c'est-à-dire azote issu de la fixation symbiotique) dans les systèmes de production agricole (encadré 1.1).

5. Cette famille, nommée *Fabaceae* (lato sensu) ou *Leguminosae*, comprend 18 000 espèces réparties dans trois sous-familles : sous-famille Caesalpinioideae avec une fleur pseudo-papilionacée ; sous-famille Mimosoideae avec une fleur régulière ; sous-famille Faboideae ou Papilionoideae avec une fleur typique en papillon.

Encadré 1.1. L'azote symbiotique des systèmes agricoles s'élève à 50 millions de tonnes (Mt) dans le monde, 1 Mt dans l'EU-27 et 0,5 Mt en France.

La fixation symbiotique azotée mondiale représente entre 100 et 290 millions de tonnes (Mt) d'azote par an (Cleveland *et al.*, 1999) dont 40-48 Mt d'azote par an fixés par les cultures agricoles (Jenkinson, 2001 ; Peoples *et al.*, 2009), et 50-70 Mt si on inclut les savanes extensives (14 Mt) (Herridge *et al.*, 2008). À titre de comparaison, la production azotée industrielle réalisée lors de la fabrication d'engrais azotés (par le procédé Haber-Bosch) produit environ 87 Mt d'ammoniac par an (Peoples *et al.*, 2009) soit plus de 105 Mt d'azote par an dans le monde.

Au sein de l'ensemble de l'azote fixé par les cultures agricoles dans le monde, la fixation de N₂ par les légumineuses à graines est estimée à 21 Mt dont 3 Mt de N₂ fixés par les légumineuses riches en protéines (avec par ordre de contribution : pois chiche, haricot, pois, féverole, cornille, lentille pour les principales) et 18 Mt d'azote fixé par les légumineuses riches en huile (dont 16 par le soja et 2 par l'arachide) (Herridge *et al.*, 2008). Le soja représente ainsi les 2/3 de la quantité de N₂ fixée par les légumineuses à graines dans le monde. La quantité fixée par les légumineuses fourragères serait dans la fourchette de 12 à 25 Mt (Herridge *et al.*, 2008).

Pour l'EU-27, en 2000, la fixation symbiotique des cultures agricoles fait entrer 1 Mt d'azote par an dans le cycle de l'azote réactif*, en plus des 0,3 Mt dus à la fixation symbiotique des milieux naturels (*via* les légumineuses sauvages, les bactéries libres des sols ou les cyanobactéries dans les océans), et à côté des 11 Mt d'azote apportés par les engrais industriels azotés (Nitrogen European Assessment, 2011) (figure 1.1).

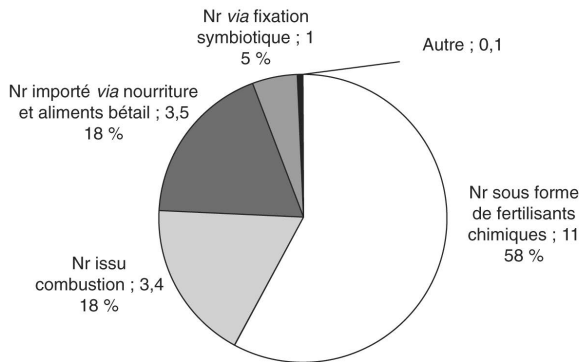


Figure 1.1. Estimation de l'azote réactif (en Mt N/ha) créé en Europe en 2000, d'après les experts du « Nitrogen European Assessment ». D'après les données de Sutton *et al.*, 2011.

En France, on peut estimer à 0,52 Mt l'apport d'azote par la fixation symbiotique des légumineuses dans les cultures agricoles (prairies, fourrages et protéagineux) en 2010, quantité à laquelle il convient d'ajouter 260 000 t en provenance du soja importé, le tout à comparer aux 2,1 Mt d'engrais chimiques azotés utilisés en France en 2009 (Duc *et al.*, 2010) comme résumé dans le tableau 1.1.

.../...