



**HAL**  
open science

## **Les services écosystémiques rendus par les légumineuses vis-à-vis du cycle de l'azote**

Anne-Sophie Voisin, Bernard Nicolardot, Pierre Cellier, Marie-Helene Jeuffroy

### ► **To cite this version:**

Anne-Sophie Voisin, Bernard Nicolardot, Pierre Cellier, Marie-Helene Jeuffroy. Les services écosystémiques rendus par les légumineuses vis-à-vis du cycle de l'azote. Fabuleuses Légumineuses. Journée de conférences et d'échanges de la Société Nationale d'Horticulture de France, Société Nationale d'Horticulture de France (SNHF). FRA., Mar 2017, Clermont-Ferrand, France. 4 p. <hal-02733997>

**HAL Id: hal-02733997**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02733997v1>**

Submitted on 2 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.



HAL Authorization

# Principes de fonctionnement de la symbiose fixatrice de l'azote :

## Impacts Agronomiques et Environnementaux.

<sup>1</sup>Anne-Sophie VOISIN, <sup>2</sup>Bernard NICOLARDOT, <sup>3</sup>Pierre CELLIER, <sup>4</sup>Marie-Hélène JEUFFROY

<sup>1</sup>Chercheur, UMR Agroécologie, INRA Dijon

<sup>2</sup>Enseignant-Chercheur, AgroSup Dijon, UMR Agroécologie, INRA Dijon

<sup>3</sup>Chercheur, UMR Ecosys, INRA Grignon

<sup>3</sup>Chercheur, UMR Agronomie, INRA Grignon

Correspondance : Anne-Sophie.Voisin@inra.fr

---

**Résumé.** Par leur capacité à s'associer avec des bactéries du sol fixant l'azote atmosphérique, les légumineuses ont la particularité de pouvoir être cultivées sans utiliser d'engrais azotés, et d'être une source d'azote pour d'autres cultures. Elles ont ainsi un rôle particulier dans la gestion des flux d'azote au sein des systèmes de culture, et dans les bilans environnementaux qui en découlent. Dans ce texte, nous décrivons le processus de fixation symbiotique de N<sub>2</sub> au cours de la culture, en considérant sa réponse à la disponibilité en nitrate, et aux autres facteurs environnementaux et facteurs génétiques. Puis, nous explicitons la façon dont la minéralisation des résidus de légumineuses peut contribuer à l'alimentation en azote de la culture suivante. Enfin, nous décrivons les autres bénéfices ainsi que les risques (notamment risques de pertes d'azote) liés à l'introduction de légumineuses dans des systèmes de culture et les bilans environnementaux qui en découlent.

**Mots-clés :** azote, nitrate, fixation symbiotique, effets précédents, systèmes de culture, impacts environnementaux

---

## Fonctionnement agrophysiologique des légumineuses à l'échelle annuelle

**Une nutrition azotée autonome et flexible :** Dans le monde végétal, les légumineuses (Fabacées) ont la capacité unique de fixer l'azote atmosphérique (N<sub>2</sub>), via une symbiose avec certaines bactéries présentes dans le sol, au sein d'excroissances spécifiques des racines, les nodosités.

La réussite de la fixation symbiotique est conditionnée à la présence de bactéries symbiotiques efficaces (du genre *Rhizobium*) dans le sol. Ainsi, alors que les cultures de légumineuses d'origine tropicale (soja) nécessitent une inoculation au semis, le pois, la féverole, le lupin et les légumineuses fourragères trouvent en général dans les sols français des souches indigènes de bactéries qui leur sont adaptées. Toutefois, pour certaines espèces (lupin, luzerne), une inoculation peut s'avérer bénéfique voire nécessaire dans certaines conditions de pH (acide) ou sur des parcelles n'ayant pas hébergé ces cultures depuis longtemps.

Les bénéfices de la symbiose sont réciproques : la bactérie fournit à la plante le N<sub>2</sub> fixé et en retour la plante apporte l'énergie nécessaire à la synthèse des nodosités et à leur fonctionnement. Ainsi, la fixation symbiotique de N<sub>2</sub> est étroitement régulée par la plante. Ainsi, plus la disponibilité en nitrates du sol est élevée, plus la fixation symbiotique est réduite. En effet, les légumineuses prélèvent préférentiellement l'azote minéral disponible du sol, lorsqu'il est disponible, car ce processus est moins coûteux en énergie pour la plante. La fixation symbiotique prend le relais quand l'azote minéral se raréfie. La fixation symbiotique peut donc être vue comme une adaptation à des milieux pauvres en azote.

**Dynamique de la nutrition azotée au cours du cycle de croissance.** Chez les légumineuses à graines annuelles, en culture monospécifique, le prélèvement d'azote se divise en 3 étapes :

1. En début de cycle, les besoins en azote nécessaires à la mise en place de la plantule sont assurés par l'azote provenant de la semence et de l'absorption de l'azote minéral du sol ;

2. De la levée à l'apparition des graines : A partir de la levée, l'absorption racinaire d'azote minéral du sol diminue au fur et à mesure de l'épuisement du stock. La fixation symbiotique démarre dès que les réserves de la graine et l'azote minéral du sol ne permettent plus de subvenir aux besoins en azote de la légumineuse. La mise en place des nodosités implique un coût en assimilats carbonés pour la plante, la formation des nodosités ayant lieu au

détriment des racines ; ainsi la croissance est légèrement diminuée en situation de fixation symbiotique. Ensuite, une fois la fixation symbiotique en place, la légumineuse a la capacité de basculer d'une voie à l'autre, en fonction des variations de fourniture d'azote minéral par le sol et des besoins de la plante, sauf si le fonctionnement des nodosités a été longtemps inhibé par des facteurs de milieu défavorables (sécheresse, anoxie, pathogènes, etc.). Les légumineuses ont donc une grande adaptabilité pour utiliser la fixation de l'azote de l'air ou l'absorption de l'azote minéral du sol, selon les sources d'azote disponibles.

3. À partir du début du remplissage des graines, la fixation symbiotique décroît : cette baisse est interprétée comme une conséquence de la compétition exercée par les graines en formation pour les nutriments carbonés issus de la photosynthèse, aux dépens des nodosités.

**Variations de la fixation symbiotique.** Les principaux facteurs environnementaux qui peuvent limiter la fixation symbiotique sont un excès d'eau, un état structural du sol dégradé (du lit de semence et/ou de la couche labourée), un déficit hydrique, une alimentation minérale déficiente (en P et K), et/ou la présence de maladies ou de ravageurs. En effet, tous ces facteurs affectent l'installation des nodosités et/ou leur fonctionnement, avec des conséquences sur la fixation symbiotique d'azote.

Par ailleurs, même s'il existe une variabilité importante pour chaque espèce entre contextes pédoclimatiques, on observe des différences marquées entre espèces des taux de fixation moyens (azote issu de la fixation symbiotique par rapport à l'azote total accumulé). En France, parmi les légumineuses à graines, le pois, le pois chiche, la lentille et le soja ont des taux de fixation moyens de l'ordre de 60-70 %. Le haricot se distingue par des taux de fixation moyens autour de 40 %, et la féverole et le lupin par des taux moyens autour de 75 %. Les légumineuses fourragères (trèfle, luzerne, prairies) présentent des taux de fixation moyens encore plus élevés : autour de 90 %.

**Production de protéines.** Par ailleurs, les légumineuses ont la capacité de produire des graines riches en protéines. Ainsi, même si leur rendement en matière sèche a encore aujourd'hui un niveau inférieur à celui des céréales, la quantité de protéines produites à l'hectare par un peuplement de pois ou d'autres légumineuses à graines est plus élevée que celle d'un blé ou d'autres céréales fertilisées. Toutefois, produire des protéines mobilise davantage de ressources énergétiques pour la plante que produire de l'amidon. Le potentiel de rendement en matière sèche atteignable par les légumineuses à graines serait donc en théorie inférieur à celui des céréales. Il existe cependant une marge de progrès importante pour augmenter conjointement les rendements et la teneur en protéines des protéagineux européens, car les travaux d'amélioration variétale sont plus récents que ceux sur céréales.



*Culture de légumineuses à graines. (Source : AS Voisin, INRA Dijon)*

## **Effet des légumineuses sur les états du milieu : Impacts agronomiques et environnementaux**

**Minéralisation de l'azote des résidus de culture :** la minéralisation des résidus de culture de légumineuses est plus rapide que celle des graminées, car leur teneur en azote est plus élevée que celle des autres grandes cultures. Contrairement à ce qui est habituellement supposé, l'incorporation de résidus de pois dans un sol nu résulte en une organisation nette de l'azote et non pas en une minéralisation nette. Mais cette organisation nette est inférieure à celle observée en sol nu ou en présence de résidus d'autres espèces (comme les céréales), ce qui induit de fait une disponibilité en azote minéral plus élevée dans le sol après légumineuse. La vitesse de décomposition des résidus de pois induit une libération de cet azote pendant les 6 mois suivant l'enfouissement des résidus, cet azote étant donc le plus souvent disponible pour la culture suivante.

**Effet sur le stock d'azote minéral du sol à court et à moyen terme.** A la récolte des cultures, la valeur du reliquat d'azote minéral dans le sol est généralement supérieure derrière un pois, par rapport à d'autres cultures. Ceci est lié (1) à un arrêt de l'absorption d'azote minéral dans le sol plus précoce chez un pois que chez une céréale ou un colza, à une période où la minéralisation nette dans le sol est en général encore active, et (2) à son système racinaire moins profond. Ce surplus d'azote minéral du sol peut contribuer à accroître les risques de lixiviation de l'azote minéral pendant l'hiver suivant. Cependant ces risques sont maîtrisables grâce à l'implantation d'une culture intermédiaire après la récolte du pois ou d'un colza, semé tôt, dont les capacités d'absorption d'azote à l'automne sont très élevées. Après soja, la période plus tardive de minéralisation des résidus permet de limiter le risque de lixiviation d'azote pendant la période où la pluviométrie est importante et l'évapotranspiration faible (automne et hiver en particulier). En revanche, les phénomènes s'inversent lors de la campagne suivante. Le stock d'azote minéral dans le sol après récolte d'un blé de pois est significativement plus faible par rapport à celui d'un blé de blé. Ce résultat semble majoritairement expliqué par une meilleure efficacité d'absorption de l'azote par la culture qui suit le pois, probablement grâce à un système racinaire plus sain.

**Effet sur le rendement et qualité des cultures suivantes.** La culture de rente suivant une culture de légumineuse à graines a généralement un rendement supérieur à celui de la même culture suivant un autre précédent, même lorsque tous les facteurs limitants du rendement sont maîtrisés. Les phénomènes explicatifs sont en partie, mais pas uniquement, liés à l'azote. La conjugaison de différents facteurs est en cause : minéralisation de l'azote organique des résidus aériens et souterrains, meilleure structure du sol, meilleur état sanitaire du système racinaire avec moins de maladies d'origine tellurique, grâce à l'alternance ou la diversité des familles botaniques. Par ailleurs, les effets précédents des légumineuses impactent aussi positivement la qualité des produits de récolte de la culture suivante : moins de mycotoxines dans les grains de la culture suivante de céréales et une teneur en protéines qui peut être améliorée.

**Conséquences sur la fertilisation azotée de la culture suivante.** Les effets d'une culture de légumineuse sur les flux azotés à court et moyen termes permettent une réduction de la fertilisation azotée sur la culture suivante de l'ordre de 20 à 50 kg N/ha par rapport à un précédent pailles. Cependant, cette fourniture est en réalité très variable et peut monter jusqu'à 80 kg N/ha en parcelles agricoles. Ce surplus d'azote disponible pour la culture suivante, lié à la légumineuse, est délicat à prévoir car il est très variable selon l'espèce, son mode d'exploitation, ses performances, les conditions pédoclimatiques, et le mode de gestion de la succession culturale.

**Autres bénéfices et risques non liés à l'azote.** L'insertion d'une légumineuse dans des rotations peu diversifiées, en introduisant une culture non hôte, permet de bénéficier d'un effet de rupture des cycles des pathogènes, et ainsi de réduire la quantité d'inoculum maintenu dans le sol. L'alternance des périodes de semis entre espèces dans la succession de cultures permet également une rupture du cycle des adventices et donc de limiter leur développement. Ces bénéfices conduisent à des réductions d'application de pesticides sur la culture suivante pouvant aller jusqu'à 35 %, et jusqu'à 15 % à l'échelle de la succession, à condition d'optimiser le contrôle sanitaire, ce qui n'est pas toujours réalisé. Enfin, l'introduction d'espèces de diversification, dont les légumineuses, permet l'alternance des matières actives utilisées sur une même parcelle, ce qui permet de limiter le risque d'apparition d'adventices, de maladies ou de ravageurs pouvant acquérir une résistance à une matière active trop souvent employée sur une culture donnée. Cela doit ainsi contribuer, à terme, à limiter les traitements effectués sur l'ensemble de la sole de l'exploitation agricole.

L'augmentation de la part des légumineuses dans la rotation peut toutefois avoir pour conséquences l'augmentation des populations des pathogènes (survie, dispersion, pouvoir pathogène,...) effectuant une partie de leur cycle sur ces espèces. Ainsi, en France, la pourriture racinaire du pois due à *Aphanomyces euteiches*, est apparue à partir des années 1990. Plusieurs bio-agresseurs ont vu leur fréquence accrue avec l'augmentation de la fréquence de la légumineuse hôte : les nématodes de la tige de la féverole (*Ditylenchus dipsaci gigas*) plus fréquents dans les années 2010 ; et la bruche de la féverole (*Bruchus rufimanus*), dont le risque s'est également accentué au cours de ces deux dernières campagnes agricoles.

**Bénéfice pour réduire la consommation d'énergie et les pertes d'azote par voie gazeuse** : Les légumineuses ont globalement un effet positif sur le bilan des émissions de gaz à effet de serre du système de culture, et d'autant plus important que la part d'azote fixé est important. L'élément majeur est l'énergie économisée grâce à la fixation symbiotique de l'azote. Le poste « engrais » est en effet généralement de loin le poste de consommation énergétique le plus important d'une exploitation agricole. Vient ensuite la diminution très sensible des émissions de N<sub>2</sub>O liée au fait que les légumineuses ne nécessitent pas ou peu d'apports d'engrais industriels ou organiques, et que la fixation symbiotique ne produit que peu de N<sub>2</sub>O. De plus, les systèmes avec légumineuses contribuent également significativement à la réduction des émissions acidifiantes (NH<sub>3</sub>, NO) vers l'atmosphère et les écosystèmes naturels. À l'échelle de la culture, en système conventionnel, l'ordre de grandeur des réductions est de 50 à 60 % pour l'énergie fossile, de 60 à 70 % pour les GES, de 80 % pour les gaz acidifiants par rapport à une céréale fertilisée. Toutefois, c'est l'échelle de la rotation culturale qui est pertinente pour ces évaluations ; à cette échelle, l'introduction de culture de légumineuses induit une la réduction des impacts environnementaux est de l'ordre de 10 à 50 %, selon les impacts et les systèmes considérés.

**Un plus pour la biodiversité** (cultivée et sauvage) : La famille botanique des légumineuses apporte de la diversité dans les agrosystèmes dominés par les graminées et les crucifères, favorisant une faune et une flore sauvage également plus diversifiée, à l'échelle micro, méso ou macro. Tous les effets liés aux légumineuses contribuent à la biodiversité à l'échelle du paysage, en interaction avec les autres composantes du territoire.

À l'échelle de la culture, de la prairie ou de la rotation culturale, l'environnement racinaire des légumineuses augmente la biodiversité souterraine (diversité microbienne, effets positifs sur certaines populations de vers de terre, etc.). Ces effets sont favorisés par une moindre application d'engrais minéraux et, pour certaines espèces, de produits phytosanitaires (moindre pression sanitaire liée à la rupture de cycle de certains bioagresseurs des cultures dominantes).

Agissant comme source de nectar pour les insectes pollinisateurs ou de protéines pour la macrofaune, les légumineuses annuelles et surtout pérennes favorisent la biodiversité à l'échelle du paysage. Les légumineuses peuvent également servir de refuge pour différentes populations d'insectes auxiliaires ou de bioagresseurs. Cette fonction de refuge, où se cumulent les effets liés au caractère pérenne et/ou à la richesse en protéines de certaines légumineuses, concerne également différentes espèces de petits ou grands mammifères ou d'oiseaux.

**Conclusion** : La fixation symbiotique de l'azote atmosphérique est la caractéristique spécifique des légumineuses dont l'intérêt est renouvelé dans une perspective agroécologique, où l'on cherche à mieux mobiliser les processus biologiques pour produire des denrées agricoles à diverses destinations dans des conditions respectueuses de l'environnement. Cependant, bien valoriser l'azote fixé par la légumineuse tout en limitant les risques pour l'environnement demande de bien adapter les pratiques culturales, en particulier de bien choisir les cultures suivant la légumineuse, et adapter les plans de fertilisation et de traitement phytosanitaire des cultures suivantes.

**Références.** Les éléments présentés dans cet article sont tirés des articles et ouvrages suivants :

JUSTES Eric, Thiébeau Pascal, Cattin G, Larbre D, B. Nicolardot Bernard, 2001. "Libération d'azote après retournement de luzerne - Un effet sur deux campagnes." Perspectives Agricoles 264: 22-28.

VOISIN Anne-Sophie, CELLIER Pierre, JEUFFROY, Marie-Hélène, 2015. Fonctionnement de la symbiose fixatrice de N<sub>2</sub> des légumineuses à graines : Impacts Agronomiques et Environnementaux. *Innovations Agronomiques.*, 43, 139-160.

SCHNEIDER, Anne, HUYGHE, Christian. *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables*, Versailles : Éditions Quae, 2015, 425 p.