



HAL
open science

Dix espèces de légumineuses à graines bien différentes en termes de fixation d'azote symbiotique et d'effet précédent

Maé Guinet, Bernard Nicolardot, Anne-Sophie Voisin

► To cite this version:

Maé Guinet, Bernard Nicolardot, Anne-Sophie Voisin. Dix espèces de légumineuses à graines bien différentes en termes de fixation d'azote symbiotique et d'effet précédent. Inrae Dijon, UMR Agroécologie, 17 rue Sully, 21000 Dijon. 2020, 8 p. collection PSDR4 ProSys. hal-04562261

HAL Id: hal-04562261

<https://hal.science/hal-04562261>

Submitted on 29 Apr 2024

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.

DIX ESPÈCES DE LÉGUMINEUSES À GRAINES bien différentes en termes de fixation symbiotique et d'effet précédent



Les légumineuses et l'azote

Aujourd'hui, les bénéfices associés à l'introduction des légumineuses dans les systèmes de culture sont largement reconnus dans le but de tendre vers des systèmes agroécologiques plus économes en intrants azotés. Cependant, les bénéfices fournis par les légumineuses restent difficiles à estimer compte tenu d'un manque de références sur une diversité d'espèces de légumineuses. Plusieurs essais expérimentaux ont ainsi été mis en place par l'Inrae de Dijon afin de mener une étude comparative de dix espèces de légumineuses à graines. La fixation symbiotique et la variabilité selon le niveau d'azote minéral du sol ainsi que l'effet des légumineuses sur le rendement d'un blé suivant ont été étudiés.

Les auteurs

Maé GUINET ¹
Bernard NICOLARDOT ¹
Anne-Sophie VOISIN ²

¹ UMR Agroécologie, AgroSup Dijon

² UMR Agroécologie, INRAE Dijon

EN SAVOIR PLUS →



CONTACT

Maé GUINET
mae.guinet@agrosupdijon.fr

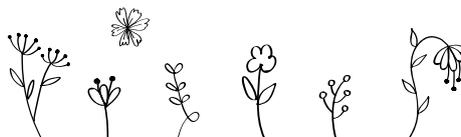
Quelques mots d'introduction

Les légumineuses ont un rôle majeur à jouer dans la transition vers une agriculture plus durable, en réduisant notamment le recours aux intrants azotés, du fait de leurs propriétés spécifiques vis-à-vis du cycle de l'azote.



En effet, les légumineuses fourragères ou à graines constituent une source de protéines végétales avec une bonne valeur nutritionnelle pour l'alimentation humaine et animale. D'autre part, elles permettent de réduire le recours aux intrants azotés pendant leur culture grâce à leur capacité à fixer l'azote atmosphérique, en symbiose avec les bactéries du sol ; après leur culture, la minéralisation de leurs résidus riches en azote permet la fourniture d'azote au sol, bénéfique à la culture suivante. De ce fait, elles permettent également de réduire la consommation d'énergie et l'émission de gaz à effet de serre (CO₂ et N₂O) associées à la production, au transport et à l'épandage des fertilisants azotés de synthèse.

Néanmoins, des impacts négatifs liés à l'azote peuvent également résulter de l'introduction des légumineuses dans les systèmes de culture. La plus faible capacité des légumineuses à prélever l'azote minéral du sol par rapport aux céréales (du fait de leurs racines moins profondes), ainsi que la désynchronisation entre l'apport d'azote au sol par les résidus de légumineuses et les besoins en azote de la culture suivante, peuvent générer des risques de pertes d'azote par lixiviation pendant la culture des légumineuses et/ou après leur récolte durant la période automne-hiver.

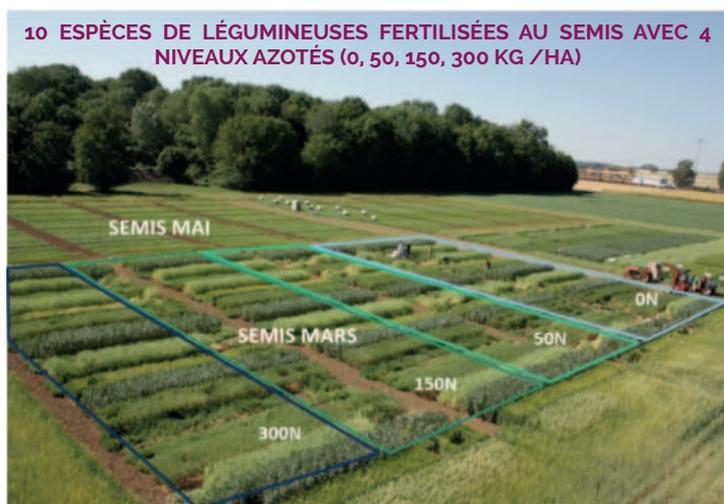


Afin de gérer au mieux l'azote lors de l'introduction de légumineuses dans les systèmes de culture, il est nécessaire d'avoir une meilleure compréhension des flux azotés induits par les légumineuses et de leur variabilité selon les espèces considérées. Pourtant, peu de références sont disponibles sur une diversité d'espèces de légumineuses à graines et leur comparaison reste difficile sur la base des études existantes, compte tenu des différences entre les conditions expérimentales.

Etude de l'effet l'azote minéral du sol sur la nutrition azotée des légumineuses

Dispositif expérimental

En théorie, les légumineuses reposent leur nutrition azotée sur la fixation symbiotique et ne sont pas fertilisées en conditions agricoles. Cependant, dans certains cas, on peut observer des carences azotées au champ. Ces carences peuvent-être liées à des facteurs climatiques ou biologiques (maladies, ravageurs) qui limitent la fixation symbiotique, ou encore à un manque d'efficacité de la souche de rhizobium. Ainsi, nous avons cherché à savoir si la fixation symbiotique permet de répondre aux besoins de la plante et si cela dépend de l'espèce de légumineuse considérée. Dans un second temps, nous avons cherché à comprendre s'il existait des différences de réponse de la fixation symbiotique à la présence d'azote minéral dans le sol entre les espèces de légumineuses.

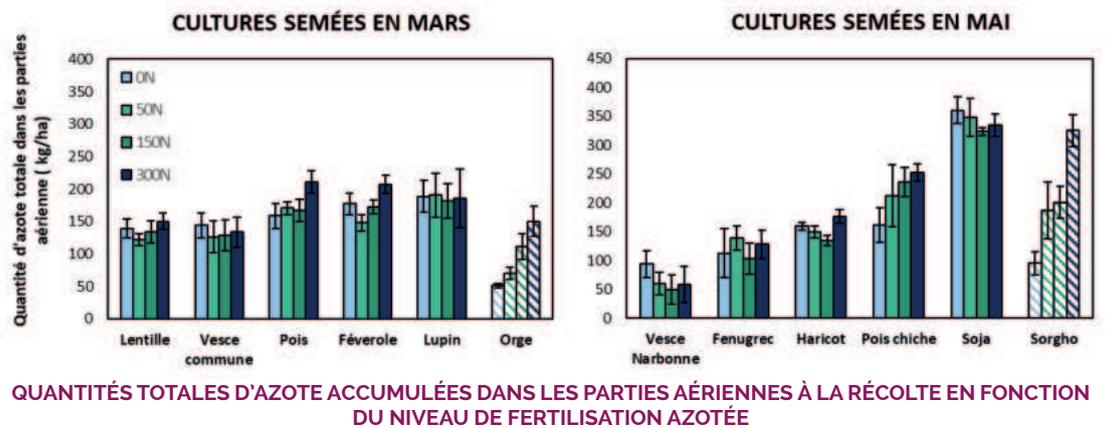


En 2014, un essai au champ a été mis en place à l'unité expérimentale INRA de Bretenière, près de Dijon. Dix espèces de légumineuses et deux céréales témoin ont été semées en mars (féverole, lentille, lupin, pois, vesce commune et orge) ou en mai (fenugrec, haricot, pois chiche, soja, vesce de Narbonne et sorgho). Les légumineuses ont été inoculées au semis avec une souche de rhizobium spécifique à chaque espèce afin d'assurer une bonne efficacité de la fixation symbiotique. Afin de faire varier la quantité d'azote minéral du sol, différents niveaux de fertilisation azotée (0, 50, 150 et 300 kg N/ha) ont été appliqués au semis. Les parties aériennes ont été récoltées à maturité afin de calculer la quantité d'azote totale accumulée par les espèces, ainsi que la part de cet azote issu de la fixation symbiotique et du prélèvement d'azote minéral présent dans le sol.

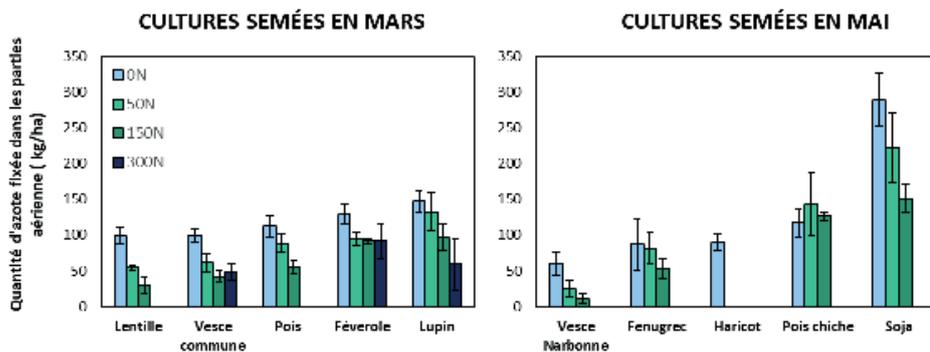


La fertilisation azotée impacte-t-elle la quantité d'azote accumulée par les légumineuses ?

Contrairement aux céréales, la quantité d'azote minérale du sol n'a pas eu d'effet sur la quantité d'azote totale prélevée par les légumineuses (lentille, lupin, vesce commune, fenugrec, soja et vesce de Narbonne) ou a engendré une faible augmentation lorsque 300 kg/ha d'azote étaient apporté au semis (féverole, haricot, pois). Pour ces 9 espèces, cela indique une complémentation totale du prélèvement d'azote minéral du sol par la fixation symbiotique pour subvenir aux besoins de la plante (Figure ci-dessous). Seul le pois chiche a fortement répondu à la fertilisation azotée avec une augmentation graduelle de la quantité d'azote accumulée avec le niveau de fertilisation (+ 57 % pour le traitement 300N par rapport au traitement 0N). Pour cette espèce, des observations complémentaires ont indiqué une mise en place tardive de la fixation symbiotique, ayant conduit à une carence azotée qui a limité la croissance pour les faibles niveaux d'azote minéral du sol. Les conditions très sèches du sol au moment du semis de mai en 2014, combinées à un éventuel manque adéquat entre la souche de rhizobium et la variété de pois chiche (Twist) peuvent être à l'origine du délai de mise en place de la fixation symbiotique dans nos conditions expérimentales. Cet exemple souligne l'importance de la présence de souches spécifiques de Rhizobium dans le sol et d'optimiser leur efficacité afin d'assurer la fixation symbiotique.



La fixation symbiotique est négativement impactée par l'azote minéral du sol



Quantités d'azote issues de la fixation symbiotique et accumulées dans les parties aériennes à la récolte en fonction du niveau de fertilisation azotée



En l'absence d'azote minéral apporté au semis (traitement 0N), la quantité d'azote fixée varie entre 99 kg N/ha (lentille) et 147 kg N/ha (lupin) pour les espèces semées en mars, et entre 60 kg N/ha (vesce de Narbonne) et 290 kg N/ha (soja) pour les espèces semées en mai (Figure à gauche). Les variations entre espèces dépendent à la fois des caractéristiques spécifiques à chaque espèce et des conditions climatiques, qui ensemble, déterminent le niveau de croissance et les besoins en azote.

Pour toutes les espèces étudiées, on observe une diminution de la quantité issue de la fixation symbiotique avec le niveau de fertilisation azotée (Figure ci-dessus). En présence d'azote minéral dans le sol les légumineuses prélèvent préférentiellement l'azote minéral du sol. Le déclenchement de la fixation symbiotique a lieu lorsque le niveau de disponibilité en azote minéral devient insuffisant pour subvenir aux besoins en azote de la plante pour sa croissance.



Néanmoins, la réponse de la fixation à l'azote est très variable entre espèces. Pour les espèces semées en mars, la fixation symbiotique du pois et de la lentille est nulle lorsque 300 kg/ha d'azote minéral sont apporté au semis. Au contraire la vesce commune, le lupin et la féverole maintiennent leur fixation symbiotique et fixent respectivement 49, 59 et 91 kg/ha d'azote atmosphérique même lorsque 300 kg/ha d'azote minéral sont apportés au semis. Pour les espèces semées en mai, la fixation symbiotique est nulle pour toutes les espèces pour le traitement 300N (fenu grec, soja, pois chiche, vesce de Narbonne). Pour le haricot, la fixation est totalement inhibée dès lors que 50 kg/ha d'azote minéral sont apportés au semis.

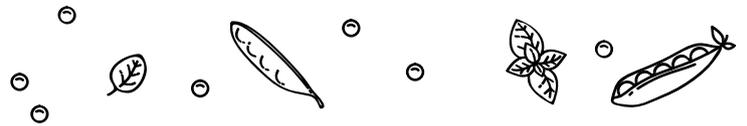
Différentes capacités des légumineuses à prélever l'azote minéral du sol



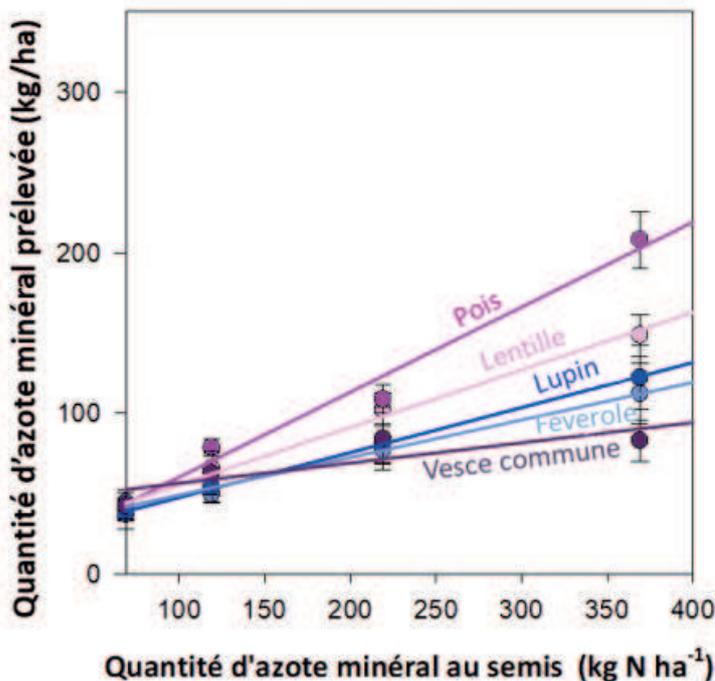
Les différences de réponse de la fixation symbiotique au niveau d'azote minéral peuvent s'expliquer d'une part par des différences de besoins azotés des légumineuses. Des espèces avec de forts besoins en azote peuvent maintenir la fixation symbiotique si la quantité d'azote minéral n'est pas suffisante pour combler les besoins azotés de la culture.

D'autre part, les différences de réponse de la fixation symbiotique au niveau d'azote minéral du sol peuvent également s'expliquer par des différences de capacité de prélèvement de l'azote minéral entre les espèces de légumineuses, en raison de différence d'architecture racinaire, qui leur donne accès à tout ou partie de l'azote du sol (Figure ci-dessous). Le haricot et le soja présentent une très forte capacité à prélever l'azote minéral présent dans le sol (Figure ci-dessous ; plus la pente est élevée plus la légumineuse a une forte capacité à prélever l'azote minéral du sol), tandis que la vesce de Narbonne, le fenu grec, la vesce commune, la féverole, le lupin et la lentille ont de faibles capacités de prélèvement de l'azote minéral présent dans le sol.

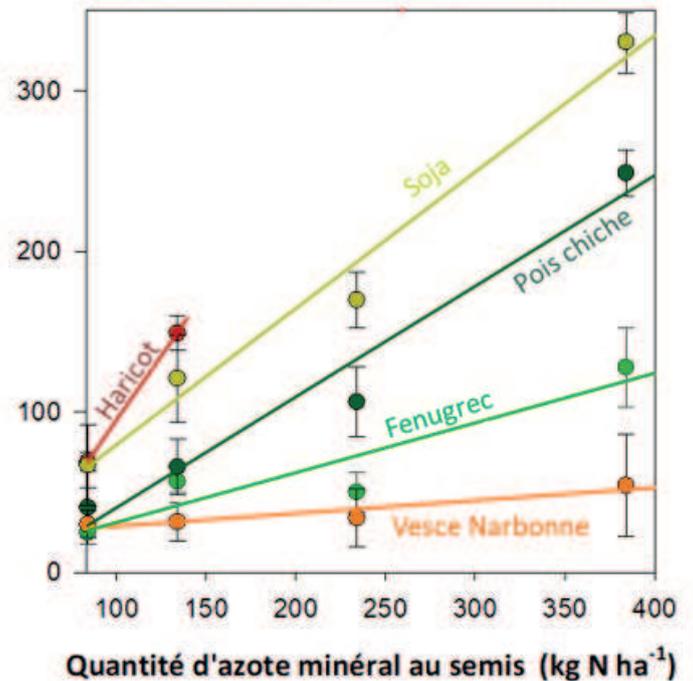
Ainsi, la fixation symbiotique du haricot est rapidement inhibée lorsque de l'azote minéral est présent dans le sol du fait de la forte capacité de son système racinaire à le prélever. Malgré la forte capacité de prélèvement de l'azote minéral du soja, la fixation symbiotique est maintenue lorsque 50 et 150 kg/ha d'azote minéral étaient apportés au semis. Pour cette espèce les quantités d'azote apportées n'étaient pas suffisante pour combler l'ensemble des besoins azotés du soja qui s'élevaient à 350 kg N/ha. Au contraire, pour la féverole, le lupin et la vesce commune, même lorsque les quantités d'azote minéral apportées au semis étaient bien supérieures aux besoins des cultures, la fixation symbiotique était maintenue. La faible capacité de prélèvement d'azote minéral présent dans le sol n'a pas permis à ces espèces de correctement valoriser l'azote minéral apporté par fertilisation et donc de combler la totalité de leurs besoins azotés.



CULTURES SEMÉES EN MARS



CULTURES SEMÉES EN MAI

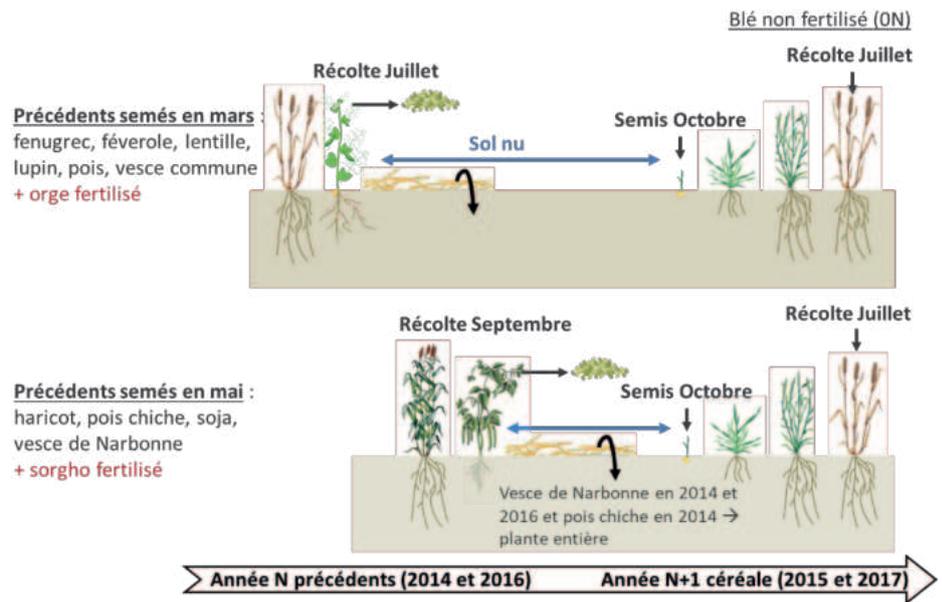


QUANTITÉS D'AZOTE MINÉRAL PRÉLEVÉES PAR LES LÉGUMINEUSES EN FONCTION DE LA QUANTITÉ D'AZOTE MINÉRAL DU SOL DISPONIBLE AU SEMIS

Etude de l'effet précédent azoté des légumineuses

Dispositif expérimental

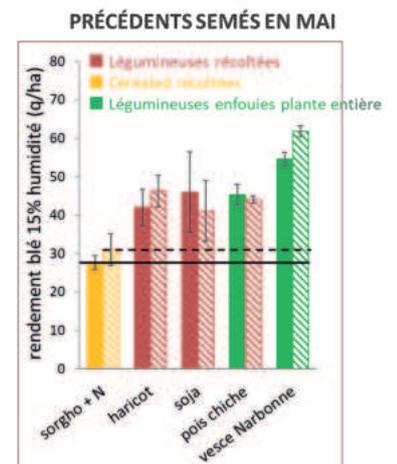
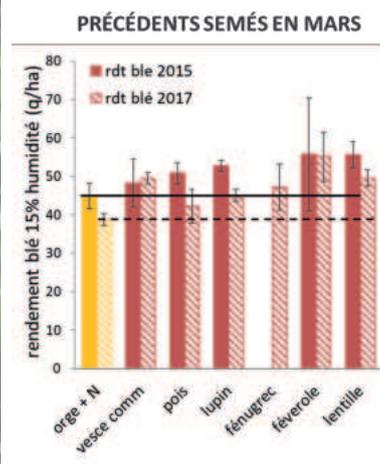
L'effet positif des précédents légumineuses sur le rendement des cultures suivantes est largement reconnu. Cependant, très peu d'informations sont disponibles quant à la variabilité de l'effet précédent pour une diversité d'espèces de légumineuses à graines. Afin d'étudier l'effet de dix précédents légumineuses sur le rendement d'un blé suivant en comparaison à deux précédents céréales, deux essais bisannuels ont également été mis en place (2014-2015 et 2016-2017). La première année de chaque essai (2014 et 2016), dix précédents légumineuses non fertilisés en azote et deux précédents céréales ayant reçu une fertilisation azotée raisonnée, ont été implantés en mars ou en mai selon la physiologie de chaque espèce (Figure à droite). A maturité physiologique, les graines ont été récoltées sauf pour la vesce de Narbonne en 2014 et 2016 et le pois chiche en 2014 du fait de conditions climatiques non favorables à la production de graines. Les pailles ont été broyées et enfouies à 5-10 cm de profondeur dans le sol. Un blé non fertilisé en azote a été semé en octobre, puis récolté en juillet de l'année suivante (2015 et 2017).



DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL MIS EN PLACE POUR ÉTUDIER L'EFFET PRÉCÉDENT DES LÉGUMINEUSES SUR LE BLÉ SUIVANT

Effet positif des précédents légumineuses sur le rendement du blé

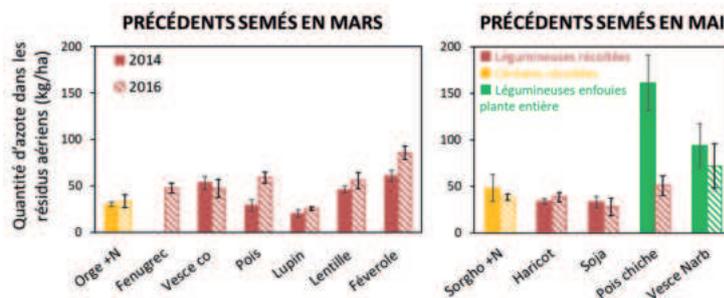
Les rendements du blé cultivé après des légumineuses semées en mars étaient supérieurs en moyenne de 7.7 q/ha en 2015 et 9.4 q/ha en 2017 par rapport au blé cultivé après de l'orge (Figure ci-dessous). Pour les précédents semés en mars, les rendements de blé les plus élevés ont été mesurés après la féverole et la lentille. Les rendements du blé cultivé après des légumineuses semées en mai étaient supérieurs en moyenne de 19.4 q/ha en 2015 et 17.3 q/ha en 2017 par rapport au blé cultivé après du sorgho, avec les rendements les plus élevés mesurés pour le blé précédé de la vesce de Narbonne enfouie plante entière. Il est à noter que le précédent sorgho engendre de bien plus faibles rendements du blé par rapport au précédent orge (en moyenne 29/q ha comparé à 42 q/ha). Ceci explique les plus grandes différences de rendement pour les précédents légumineuses semés en mai en comparaison au précédent sorgho par rapport aux précédents légumineuses semés en mars en comparaison au précédent orge.



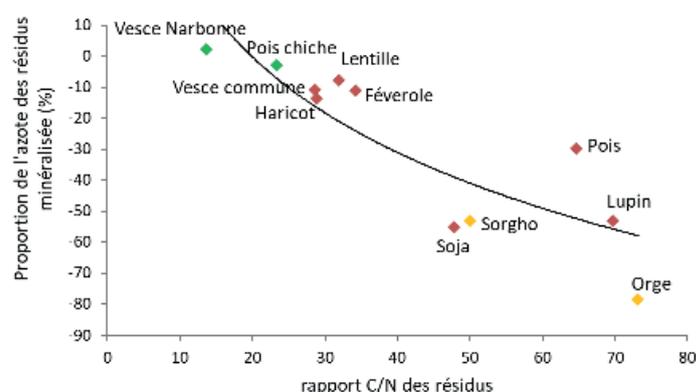
RENDEMENTS DU BLÉ SELON LE PRÉCÉDENT CULTURAL

Des différences de minéralisation des résidus de culture

Afin d'expliquer les différences de rendements du blé selon les précédents culturaux, la quantité d'azote organique dans les résidus des précédents culturaux a été mesurée. Pour les précédents semés en mars, les quantités d'azote laissées au sol par les résidus aériens étaient les plus faibles pour le lupin, le pois en 2014 et l'orge (en moyenne de 28 kg N/ha) tandis que les valeurs les plus élevées ont été mesurées pour la féverole (en moyenne 73 kg N/ha pour les deux années d'expérimentation). Pour les précédents semés en mai, les quantités d'azote présent dans les résidus aériens des légumineuses dont les graines ont été récoltées (barres rouges) et du sorgho (barres jaunes) était en moyenne de 39 kg N/ha. Les plus grandes quantités d'azote dans les résidus ont été mesurées pour les plantes sans production de graines pour lesquelles la plante entière était considérée comme résidu de culture (vesce de Narbonne en 2014 et 2016 et pois chiche en 2014 ; barres vertes).



QUANTITES D'AZOTE ORGANIQUE PRESENTES DANS LES RESIDUS AERIENS DES PRECEDENTS CULTURAUX



RELATION ENTRE LE RAPPORT C/N DES RESIDUS AERIENS ET LA PROPORTION D'AZOTE DES RESIDUS MINERALISEE

La quantité d'azote organique des résidus ne renseigne pas directement sur la quantité d'azote minéral disponible pour le blé suivant. En effet, l'azote organique des résidus doit être minéralisé par les micro-organismes du sol. La proportion d'azote des résidus minéralisée dépend notamment leur rapport carbone / azote (C/N), et a été estimée en laboratoire en 2014.

Le rapport C/N des résidus aériens était compris entre 17 (vesce de Narbonne enfouie en plante entière) et 73 (orge) (Figure 7). Les plus faibles rapports C/N (= résidus riches en azote) ont été mesurés pour les plantes sans production de graines. En l'absence de production de graines et de récolte, l'azote accumulé dans les parties végétatives n'est pas remobilisé vers les graines ni exporté par la récolte, ce qui explique ces faibles rapports C/N des résidus. Au contraire, le sorgho et l'orge présentaient les rapports C/N parmi les plus élevés (= faibles concentrations en azote) comme cela est souvent observé. Il est cependant intéressant de noter que le pois, le lupin et le soja présentaient également des résidus avec des rapports C/N élevés, proches de ceux mesurés pour les deux céréales. En 2014, pour ces trois espèces de légumineuses, 87 % de l'azote total a été exporté dans les graines laissant peu d'azote dans les tiges et les feuilles et engendrant des rapports C/N de résidus élevés. La vesce commune, le haricot, la lentille et la féverole présentaient des rapports C/N des résidus de culture intermédiaires entre les légumineuses non récoltées et les légumineuses avec une forte exportation d'azote dans leurs graines. La quantité d'azote ainsi que le rapport C/N des résidus peuvent varier selon les conditions climatiques qui influencent le potentiel de croissance des espèces et donc les besoins en azote mais également selon le processus de remobilisation de l'azote des parties végétatives vers les graines qui joue sur la répartition de l'azote entre les pailles et les graines.

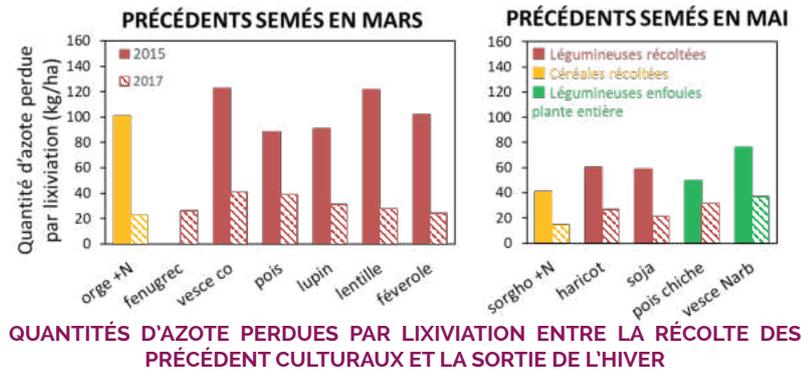
A partir des mesures réalisées en laboratoire, on montre que plus le rapport C/N des résidus est élevé, plus la proportion d'azote des résidus minéralisée est faible. Les mesures indiquent également qu'une grande partie des espèces engendrent des proportions d'azote minéralisées négatives, reflétant le processus d'organisation nette de l'azote par les microorganismes du sol. En effet, lors de la minéralisation des résidus, les microorganismes utilisent une partie de l'azote des résidus pour répondre à leurs besoins azotés. Ainsi, pour les résidus avec des rapports C/N élevés, l'azote issu de la décomposition des résidus ne permet pas de combler les besoins azotés des micro-organismes. La limitation en azote est donc surmontée par le prélèvement d'azote minéral du sol par les micro-organismes du sol ce qui conduit à un phénomène d'organisation nette de l'azote (valeurs négatives). Seuls les résidus avec un C/N inférieur à 25 engendrent une minéralisation nette de l'azote (valeurs positives), c'est-à-dire qu'ils augmentent le pool d'azote minéral du sol. Même si la majorité des espèces de légumineuses à graines ont des résidus qui engendrent une organisation nette de l'azote lors de leur minéralisation, il est intéressant de noter que leur processus d'organisation est généralement plus faible par rapport aux résidus de céréales. Ainsi, la quantité d'azote minéral disponible pour la culture suivante est plus élevée.



Quantités d'azote perdues par lixiviation

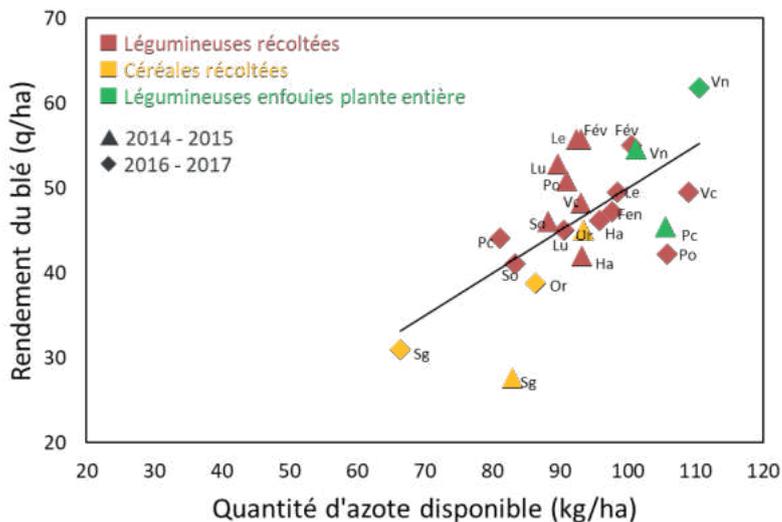


Une part de l'azote minéral disponible après les cultures de légumineuses peuvent être perdu par lixiviation s'il n'est pas prélevé par la culture suivante. Ainsi, à partir de simulations réalisées avec un modèle agronomique (STICS), les quantités d'azote perdues par lixiviation entre la récolte des précédents culturels et la sortie de l'hiver ont été estimées.



En moyenne, 104 kg N/ha d'azote ont été estimés perdus par lixiviation entre la récolte des précédents de printemps (en juillet 2014) et la sortie de l'hiver contre 57 kg N/ha entre la récolte des précédents d'été (en septembre 2014) et la sortie de l'hiver. Les précédents de printemps ont été récoltés un à deux mois avant les précédents d'été. Le décalage de cycle entre les deux types de précédents a certainement permis de maintenir le prélèvement d'azote minéral plus tard dans la saison pour les précédents d'été par rapport aux précédents de printemps. Ainsi l'accumulation d'azote minéral dans le sol et les inhabituelles fortes précipitations du mois de juillet et août 2014 (246 mm) ont favorisé les pertes d'azote minéral par lixiviation après la récolte des précédents de printemps. Dans la deuxième expérimentation les quantités d'azote perdues par lixiviation étaient bien plus faibles du fait de faibles précipitations durant l'été et l'automne 2016-2017 par rapport à 2014-2015.

Quantité d'azote totale disponible pour le blé



RELATION ENTRE LE RENDREMENT DU BLÉ EN 2015 ET LA QUANTITÉ D'AZOTE MINÉRAL DISPONIBLE AU COURS DU CYCLE DU BLÉ ; FEN : FENUGREC ; FEV : FÉVEROLE ; HA : HARICOT ; LE : LENTILLE, LU : LUPIN ; OR : ORGE ; PO : POIS ; PC : POIS CHICHE ; SO : SOJA ; SG : SORGHO ; VC : VESCE COMMUNE ; VN : VESCE DE NARBONNE



Une relation entre le rendement du blé et la quantité d'azote totale disponible pour le blé suivant a été établie. L'azote disponible pour le blé prend en compte les reliquats azotés mesurés après la récolte des précédents, l'azote issu de minéralisation des résidus de culture et de l'azote organique du sol moins les pertes par lixiviation. Cette relation positive met en avant la limitation de l'azote du blé pour sa croissance. En effet, les précédents culturels qui engendrent la plus grande disponibilité en azote pour le blé suivant sont ceux qui en moyenne génèrent les rendements du blé les plus élevés. Ainsi, les rendements du blé auraient pu être d'avantage augmentés en bénéficiant d'une plus grande partie de l'azote fourni par le sol et les résidus de culture, si cet azote n'avait pas été perdu par lixiviation pendant la période automne-hiver.

Cependant, les variations de rendement du blé selon les précédents culturels (et années) ne s'expliquent pas uniquement par des variations de quantité d'azote disponible. D'autres facteurs azotés non mesurés, tels que l'azote issu de la minéralisation des racines, l'azote émis dans la rhizosphère des légumineuses au cours de leur cycle, ainsi que les pertes par émissions de protoxydes d'azote contribuent à moduler le pool d'azote disponible pour le blé suivant. Par ailleurs, des processus non associés au cycle de l'azote, tels que la rupture des cycles des ravageurs, l'amélioration de la structure du sol ou encore l'amélioration de la diversité et de l'activité microbienne du sol après les cultures de légumineuses peuvent également expliquer une part de la variabilité des rendements du blé selon les précédents culturels.



En synthèse

Cette étude a permis d'étendre les connaissances majoritairement acquises sur le pois, espèce de légumineuses à graines jusqu'à présent la plus étudiée en France et en Europe, à une large gamme d'espèces de légumineuses à graines pouvant être introduites dans les systèmes de culture, comme cultures de diversification. Dans les conditions environnementales de notre étude, la fixation symbiotique a permis de répondre aux besoins azotés des dix espèces légumineuses, hormis pour le pois chiche. Ces résultats confirment la capacité des légumineuses en culture à atteindre leur potentiel de productivité sans recours aux fertilisants azotés. D'autre part, la minéralisation des résidus des légumineuses souvent riches en azote engendre dans la majorité des cas des rendements du blé suivant en moyenne 25 % à supérieurs à ceux du blé cultivé après des céréales.

Des espèces différentes

Cette étude a par ailleurs mis en avant des différences entre les espèces, à prendre en compte lors de leur insertion dans les systèmes de culture. Des différences entre espèces en termes d'efficacité d'utilisation de l'azote minéral du sol ont été mises en évidence et sont partiellement à l'origine des différences de réponse de la fixation symbiotique à la présence d'azote minéral dans le sol. Les différences de capacité de prélèvement d'azote minéral peuvent aussi moduler les risques de lixiviation pendant le cycle des légumineuses, avec des risques plus grands pour les espèces avec une faible efficacité d'utilisation de l'azote minéral telle que le fenugrec, la féverole, le lupin, la lentille, la vesce commune et la vesce de Narbonne.



Des risques de lixiviation

D'autre part, l'azote minéral du sol peut également être perdu par lixiviation après la culture des légumineuses du fait de la fourniture d'azote au sol par les résidus de légumineuses au moment où les risques de lixiviation de l'azote sont les plus élevés. Le risque varie avec la position du cycle des légumineuses dans l'année et selon les précipitations entre la récolte des légumineuses et le semis de la culture suivante. Une longue période d'interculture comme pour les légumineuses de printemps récoltées en juillet, augmente les risques de lixiviation de l'azote entre la fin de l'été et l'automne, du fait de l'accumulation d'azote minéral dans le sol, et des précipitations plus fréquentes pendant cette période de l'année. Il est donc indispensable d'adapter la conduite des systèmes de cultures à base de légumineuses pour valoriser au mieux l'azote biologique fourni par les cultures de légumineuses, en limitant ses pertes par lixiviation et en maximisant son utilisation par les cultures suivantes.

Des pratiques agricoles adaptées

Ainsi, la mise en place de pratiques agricoles adaptées telles que les associations céréales-légumineuses permettrait de mieux valoriser l'azote minéral en période de culture, en particulier pour les espèces de légumineuses avec une faible efficacité de prélèvement de l'azote minéral. Suite à la récolte des légumineuses, il est primordial d'introduire des couverts végétaux pour piéger l'azote pendant la période d'interculture, notamment en cas d'interculture longue, afin de réduire les risques de pertes d'azote. Enfin, le choix d'une culture valorisant bien l'azote disponible à l'automne (comme le colza) peut être judicieux.