

Ce que les légumineuses fourragères et prairiales apportent à l'environnement

Pierre Cellier¹, Jean-François Odoux², Pascal Thiébeau³, Françoise Vertès⁴

1 : INRA, UMR 1402 Ecologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes (ECOSYS), 1, route de la Ferme, F-78850 Thiverval-Grignon

2 : INRA, UE 1255 Entomologie, Station du Magneraud, F-17700 Surgères

3 : INRA, UMR 614 Fractionnement des AgroRessources et Environnement (FARE), 2, esplanade Roland Garros, F-51100 Reims

4 : INRA, UMR 1069 Sol Agro-hydrosystèmes Spatialisation , Agrocampus-Ouest, F-29000 Quimper

Résumé

Les légumineuses sont une composante essentielle des écosystèmes par leur capacité à fixer l'azote atmosphérique et donc à être une source d'azote pour les écosystèmes. Cet azote présente l'avantage d'être produit sans utilisation de combustibles fossiles. Dans le contexte des fourragères, sur lesquelles se focalise cet article, les légumineuses permettent de maintenir des écosystèmes prairiaux à bas niveaux d'intrants qui ont en conséquence des pertes d'azote réactif (NH_3 , N_2O , NO_3^-) limitées vers l'environnement. Des risques demeurent toutefois en cas d'exploitation intensive et au moment du retournement des prairies avec légumineuses, où de grandes quantités d'azote sont alors libérées par la décomposition de matières organiques très dégradables (fèces, résidus).

Contribuant à la diversification des systèmes de culture, les légumineuses ont également tout un ensemble d'effets positifs sur la biodiversité à différents niveaux. Elles stimulent la microflore du sol et les prairies permanentes, qui contiennent généralement des légumineuses et ont habituellement une flore riche. Les légumineuses favorisent de manière générale les populations d'insectes et par conséquent les animaux insectivores, en particulier les oiseaux. Les légumineuses pluriannuelles constituent des refuges pour la nidification de certaines espèces d'oiseaux, pour l'alimentation d'insectes, d'oiseaux et de mammifères. Tous ces effets contribuent à la biodiversité générale à l'échelle du paysage.

Les légumineuses prairiales présentent donc un faisceau convergent d'effets positifs pour l'environnement, agissant tant sur le changement climatique, la pollution des eaux et de l'air que sur la biodiversité, dont les principaux sont sans doute de favoriser la pérennité d'écosystèmes prairiaux à bas niveaux d'intrants et de maintenir la diversité des écosystèmes à l'échelle du paysage.

Légumineuses et environnement : azote et biodiversité

Les légumineuses, herbacées ou ligneuses, sont très présentes dans les écosystèmes naturels, quels que soient le climat et le sol. Elles occupent aussi depuis très longtemps une place importante dans les systèmes agricoles du fait de leur capacité à fixer l'azote atmosphérique. Jusqu'à la fin du XIX^e siècle, la fixation symbiotique était la principale source d'entrée d'azote réactif¹ dans les systèmes de cultures, et le bilan d'azote à l'échelle mondiale s'équilibrait entre fixation symbiotique et dénitrification (GALLOWAY *et al.*, 2004). Depuis qu'existe la possibilité de produire des engrais industriels (procédé Haber-Bosch, développé industriellement depuis le milieu du XIX^e siècle), l'intérêt des légumineuses a régressé, car celles-ci sont moins productives que les graminées ou céréales fertilisées en raison notamment du coût énergétique de la fixation. Aux échelles de l'Europe et de la France, la fixation représente respectivement 8 % et 16 % de l'azote utilisable par les plantes (SUTTON *et al.*, 2011 ; DUC *et al.*, 2010) dont une majorité provenant des légumineuses prairiales. Notons également que l'importation d'azote par le biais des aliments pour le bétail (en grande partie du soja) représente une entrée très significative dans le bilan d'azote européen (3,5 Mt/an à comparer à 11,2 Mt/an pour la production d'engrais industriels) et français.

D'autres atouts des légumineuses ont émergé plus récemment du fait de la montée en puissance des thématiques environnementales et d'autonomie protéique (SCHNEIDER et HUYGHE, 2015). En effet, l'introduction de légumineuses dans les systèmes de cultures et à l'échelle de paysages agricoles permet d'améliorer le bilan énergétique en économisant les engrais azotés et favoriserait certaines formes de biodiversité végétale et animale. Les légumineuses ont notamment un rôle majeur dans le maintien de prairies à faible niveau de fertilisation azotée, qui sont reconnues comme ayant de faibles pertes vers l'environnement et comme étant riches en biodiversité. De plus, l'introduction de légumineuses dans des systèmes de culture permet, dans certains cas, de diminuer l'usage des produits phytosanitaires, du fait de l'accroissement de la diversité fonctionnelle.

Cet article détaille les principaux effets sur l'environnement des légumineuses fourragères et prairiales, en peuplement monospécifique comme la luzerne ou en association au sein de prairies plurispécifiques, avec deux leviers liés à i) la fixation symbiotique (cycle de l'azote, bilan d'énergie, émissions de gaz à effet de serre) et ii) la diversification (biodiversité, toxicité...) à différentes échelles (parcelle, exploitation, paysage). Ces différents éléments sont ensuite intégrés pour illustrer l'impact multicritère des légumineuses sur l'environnement et le cycle de l'azote dans les écosystèmes prairiaux.

1. Les légumineuses prairiales dans le cycle de l'azote

Considérant qu'une culture de légumineuses peut fixer des quantités d'azote équivalentes à celles apportées à une culture fertilisée, par exemple plus de 300 kg N pour une luzerne ou un trèfle violet (RASMUSSEN *et al.*, 2012), les pertes vers l'environnement pourraient être semblables. Mais, par rapport à la voie chimique de fixation de l'azote atmosphérique (N₂), l'azote issu de la fixation symbiotique des légumineuses est incorporé à la matière organique, couplé au cycle du carbone. Il est de ce fait beaucoup moins labile. En conséquence, la production d'azote réactif par fixation symbiotique, puis la production d'exsudats racinaires dans le sol et la minéralisation (décomposition) des résidus en surface ou dans le sol, sont une source d'azote plus progressive qu'un apport d'engrais azoté, ce qui diminue *a priori* certains risques de pertes vers l'environnement.

Pendant la phase de culture, les pertes d'azote vers l'environnement sont en général faibles. Elles vont être générées essentiellement par la dégradation de la matière organique des résidus : à court terme par volatilisation d'ammoniac après sénescence des feuilles, destruction de couverts intermédiaires "engrais verts" ou de prairies/luzerne ; à moyen terme, les émissions concernent toutes les formes d'azote réactif, suite au déchaumage, au labour et à la dégradation des racines et parties aériennes enfouies. La richesse plus grande en azote des résidus issus de légumineuses, néanmoins variable selon le mode de production et/ou le stade de récolte, pourrait favoriser ces émissions vers l'air et les eaux de drainage et de ruissellement. La variabilité de ces émissions va dépendre des quantités de résidus laissés au sol, de leur rapport C/N et de leur gestion agricole.

¹ On entend par azote réactif (Nr) tous les composés azotés biologiquement, photochimiquement ou radiativement actifs dans l'atmosphère et la biosphère terrestre et aquatique (NH₃ et NH₄⁺, NO_x, HNO₃, N₂O, NO₃⁻...) et les formes organiques (e.g., urée, amines, protéines et acides nucléiques).

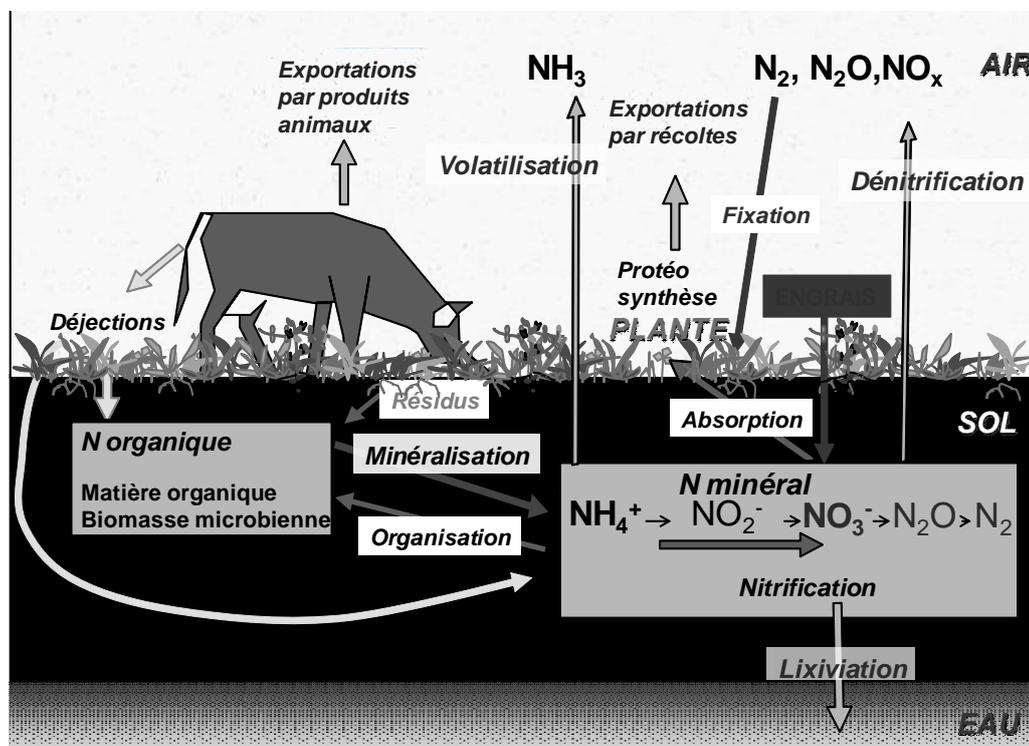
1.1. Légumineuses et fertilisation azotée des prairies

En France, les 4/5^e de l'azote d'origine symbiotique sont fournis par des légumineuses des prairies temporaires ou permanentes (DUC *et al.*, 2010), ce qui fait des prairies un type d'écosystème essentiel lorsqu'on parle de légumineuses. Plus des 2/3 des prairies semées actuellement en contiennent et la luzerne connaît un regain d'intérêt depuis quelques années dans différentes configurations. Les pratiques de fertilisation varient avec la présence des légumineuses dans les prairies mais l'apport est rarement nul. En Bretagne, des données 2000-2006² indiquent un niveau moyen de 120, 105 et 60 kg N/ha/an apporté par les fertilisants minéraux ou organiques sur les prairies pâturées de graminées, de graminées - légumineuses à faible et à fort taux de légumineuses (> 30 %), respectivement.

La présence des animaux dans le cas des prairies pâturées modifie très sensiblement les flux d'azote. En consommant des fourrages, les animaux découplent les cycles du carbone et de l'azote. Le carbone consommé est en partie transformé en méthane dans le rumen et restitué au sol dans les bouses, tandis que l'azote organique contribue à la formation d'azote labile (protéines du lait, urée, acides aminés...) dont une partie est restituée au sol dans l'urine, directement dans les systèmes pâturés ou indirectement *via* les épandages d'effluents d'élevage. Les fourrages à base de légumineuses étant en général riches en azote, cela induit des risques accrus de pertes d'azote réactif vers les eaux et l'air, par rapport à d'autres fourrages.

A l'échelle du système de production animale, l'utilisation de légumineuses dans la sole cultivée ou les prairies est l'un des principaux moyens d'améliorer l'autonomie protéique des troupeaux. Elles sont donc un élément important de la durabilité des systèmes de production animale. Leur présence améliore le bilan de gaz à effet de serre de l'exploitation (par rapport à l'achat de protéines et d'engrais azotés) et peut limiter les pertes d'azote réactif sur la sole cultivée en favorisant une meilleure adéquation entre production et surfaces disponibles localement.

FIGURE 1 – Cycle de l'azote dans une prairie : le remplacement des apports d'engrais par la fixation symbiotique des légumineuses modifie les apports externes d'azote et modifie flux de N (et C) vers l'atmosphère (NH₃, N₂O, NO, N₂) et les eaux (NO₃⁻, azote organique dissous).



² Enquête Pratiques agricoles Agreste 2006 et analyse de plans prévisionnels de fertilisation.

1.2. Différents effets de la fixation symbiotique sur les pertes de composés azotés vers l'environnement

Comme mentionné précédemment, pour des fertilisations azotées faibles ou nulles, les risques d'émissions d'azote vers l'environnement dans les écosystèmes prairiaux sont liés principalement i) au métabolisme des animaux, ii) à la récolte et iii) au retournement des prairies. Les pertes se font immédiatement après le rejet des déjections ou l'opération agricole (récolte, travail du sol) et après transformation de l'azote dans le sol (Figure 1).

- Ammoniac

Les émissions d'ammoniac en agriculture proviennent principalement des engrais minéraux et des déjections animales. Toutefois, une fraction parfois non négligeable provient de la plante par ses stomates pendant sa phase d'activité ou lors de sa décomposition (résidus post-récoltes, enfouissement...) (RUIJTER *et al.*, 2010). Concernant les légumineuses, les émissions d'ammoniac depuis la plante (feuillage) présentent une gamme de variation importante, mais ces émissions foliaires restent en général faibles (SUTTON *et al.*, 2011). De plus, la même plante peut agir à d'autres périodes comme un puits pour l'ammoniac en le réabsorbant par ses stomates.

Plusieurs publications ont montré que les émissions résultant de la décomposition des résidus des parties aériennes des plantes dépendaient de leur rapport C/N et de leur teneur en azote : émissions négligeables pour des teneurs inférieures à 2 %, et s'élevant à 10 % de l'azote contenu dans ces résidus pour des teneurs proches de 4 %, cas de certains résidus de légumineuses fourragères récoltées avant maturité (C/N ~ 10). Typiquement, les légumineuses ont ici un comportement similaire aux cultures ou graminées prairiales fortement fertilisées. La volatilisation devient négligeable dès lors que les résidus sont incorporés au sol.

Les émissions d'ammoniac sont souvent plus fortes sur prairies pâturées, l'animal transformant l'azote stable de la matière organique des plantes en azote labile (SCHNEIDER et HUYGHE, 2015). La part due aux légumineuses n'est cependant pas facile à identifier et passe en pratique par sa possible influence sur les quantités d'azote excrétées. De manière générale, ces émissions sont limitées lors du pâturage grâce à la capacité du couvert végétal à absorber une partie de l'ammoniac émis à la surface du sol.

- Nitrate

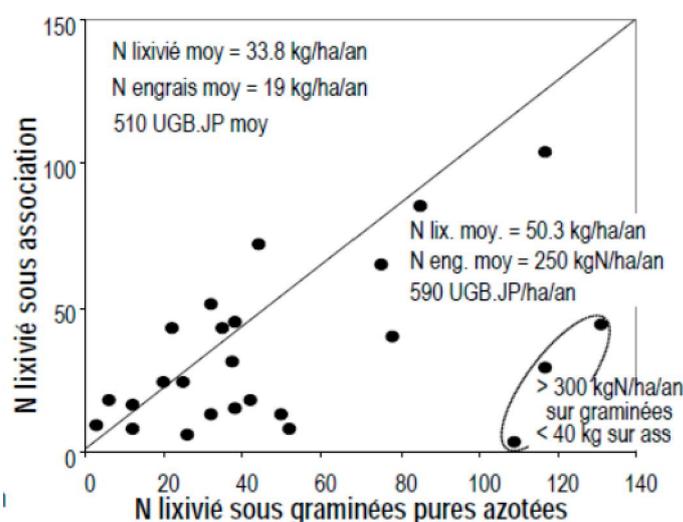
Comme pour l'ammoniac, il convient de distinguer la phase de croissance et la phase post-récolte. En période de croissance, les légumineuses peuvent prélever des quantités importantes de nitrate dans le sol en réduisant leur fixation symbiotique (SCHNEIDER et HUYGHE, 2015). De ce fait, elles ne présentent généralement pas de risques de lixiviation, en particulier pour les légumineuses fourragères pérennes et les prairies, en dehors des périodes de pâturage. De plus, les pertes de nitrate sont limitées par la durée de la période de croissance assez longue de ces couverts prairiaux. La luzerne, en particulier, est à même de récupérer du nitrate dans les couches profondes du sol grâce à son système racinaire profond. Il en résulte une teneur en nitrate de l'eau de drainage généralement faible sous cette culture (THIEBEAU *et al.*, 2003).

Les pertes de nitrate par lixiviation sont en général moindres sous prairies avec légumineuses comparées aux prairies fertilisées sans légumineuse (environ 10 % de moins à même chargement animal), ainsi que sous prairies fauchées (y compris les légumineuses pures) comparées aux prairies pâturées. Plusieurs facteurs suggèrent que les systèmes basés sur l'utilisation de légumineuses prairiales sont plus efficaces dans la conversion de l'azote : i) les légumineuses fixent l'azote atmosphérique en phase avec leur aptitude à le valoriser, ii) elles réduisent leur fixation en présence d'azote minéral facilement disponible dans le sol (SCHNEIDER et HUYGHE, 2015), iii) elles évitent des apports ponctuels et importants d'azote minéral, iv) les durées de pâturage sont réduites sur les systèmes de prairies sans fertilisation et avec trèfle blanc, limitant ainsi les pertes. Une synthèse (VERTES *et al.*, 2010, Figure 2) recense les principaux résultats en termes de lixiviation de nitrate sous légumineuses pures ou associées.

L'enfouissement des résidus des légumineuses, annuelles ou pérennes, est l'étape au cours de laquelle le risque de lixiviation de nitrate est le plus fort si des précautions ne sont pas mises en place. En effet, au cours de l'automne, des risques de pertes de nitrate sont possibles si la culture

suivante n'est pas suffisamment implantée. L'intensité de ce phénomène dépend avant tout de la quantité de résidus enfouis et de la vitesse de décomposition qui est liée au rapport carbone/azote des résidus (espèce et mode d'exploitation), au type de sol et au climat. Plusieurs dizaines à centaines de kg d'azote vont être produites par minéralisation, donc potentiellement lixiviables, après le labour d'une luzerne ou d'une prairie comprenant des légumineuses (VERTÈS *et al.*, 2015). L'azote libéré par une culture de luzerne se fait sur plusieurs années, avec un pic les deux premières années, alors que la minéralisation est plus rapide pour les prairies temporaires avec la quasi-totalité sur les deux années suivant le retournement (COMIFER, 2011). Pour valoriser au mieux l'azote libéré et réduire les pertes par lixiviation de nitrate, il est donc essentiel de bien raisonner la valorisation de l'azote post-enfouissement : utilisation de cultures valorisant bien cet azote, enfouissement en phase avec les besoins de la culture suivante, prise en compte à moyen terme de la libération d'azote.

FIGURE 2 – Lixiviation de nitrate (en kg N/ha/an) sous prairies de graminées pures ou d'association. Comparaison à partir d'un essai international (FR, UK, DK, NZ). Chaque point représente la moyenne de plusieurs années de mesures expérimentales (VERTÈS *et al.*, 2010).



– Protoxyde d'azote

La source majeure de N_2O dans les sols est la transformation de l'azote minéral par la nitrification et la dénitrification. L'azote minéral apporté par les engrais et celui produit par la minéralisation des résidus de légumineuses après récolte ou après retournement va subir ces transformations microbiennes et donc pouvoir être source de N_2O . Le processus de fixation symbiotique s'accompagne lui-même d'un processus de dénitrification qui a longtemps été suspecté de produire des quantités significatives de N_2O . Mais il a été établi que les pertes de N_2O étaient finalement négligeables par rapport à celles liées à la minéralisation des exsudats racinaires et à la décomposition des résidus. ROCHETTE *et al.* (2004) ont observé des émissions sur légumineuses prairiales et luzerne variant de 0,5 à 4,5 kg $N-N_2O$ /ha/an. Sur prairie comprenant plus (35 ± 4 %) ou moins (19 ± 4 %) de trèfle blanc, KLUMPP *et al.* (2011) rapportent des émissions correspondant à 0,6 % de l'azote apporté au bout de 6 mois de suivi, ce qui est dans la partie basse de la proportion relevée dans la littérature, comprise entre 0,4 et 5,2 %. Des émissions de N_2O plus faibles ont été mesurées sur les prairies d'associations par rapport à des prairies de graminées (0,2 vs 1,3 % de l'azote apporté ou fixé).

– Stockage de carbone et azote dans les sols

Les effets de la diversité floristique en prairies sur le stockage de carbone et azote organique sont de plus en plus avérés (JONES *et al.*, 2004). Les études s'accordent sur le rôle clé des légumineuses qui apportent, *via* la fixation symbiotique, de l'azote et augmentent la productivité des prairies, en particulier celles qui sont faiblement fertilisées, ce qui permet d'accroître le stockage de carbone et d'azote dans les sols (FORNARA et TILMAN, 2008 ; DE DEYN *et al.*, 2009). L'augmentation du stockage de matière organique dans les sols peut également être lié à une réduction des pertes.

– Effets des légumineuses sur le cycle de l'azote et sur ses impacts à l'échelle du paysage

Les prairies à légumineuses étant faiblement émettrices d'ammoniac, voire un puits pendant l'essentiel de leur cycle, elles ont un impact potentiellement faible sur les écosystèmes proches. On pourrait imaginer qu'elles puissent contribuer à constituer des zones tampons autour des zones sensibles (HICKS *et al.*, 2011), avec l'autre avantage de réduire la pression phytosanitaire et ses conséquences sur les écosystèmes voisins. Ces atouts peuvent être particulièrement importants dans des paysages à parcellaire très morcelé (multiplication des lignes de contact entre agroécosystèmes différents) et proches de zones sensibles, notamment des zones humides. Le même constat peut être fait, dans certaines conditions de pratiques, pour les fuites de nitrate. L'implantation de légumineuses pluriannuelles et/ou en associations prairiales peut être envisagée dans les périmètres de captage d'eau potable pour limiter les risques de contamination des eaux par le nitrate et les produits phytosanitaires. Comme indiqué précédemment, des précautions doivent être prises au moment du retournement de ces couverts.

2. Les légumineuses, actrices de la diversification des cultures et de la biodiversité

En France, l'agriculture, par son emprise de longue date sur le territoire et les transformations des milieux naturels qu'elle opère, entretient des liens étroits avec la biodiversité. Les légumineuses favorisent la présence d'agroécosystèmes à faible niveau d'intrants et peuvent avoir une action sur la biodiversité en milieu agricole. Ces effets résultent :

- Des caractéristiques intrinsèques des légumineuses : la fixation symbiotique favorise la biodiversité du sol par le biais des exsudats riches en azote et les fleurs nectarifères favorisent les insectes butineurs.

- Du rôle des légumineuses dans la pérennité des couverts végétaux (luzernières, prairies permanentes), qui est favorable à certaines espèces animales (refuge, réservoir de nourriture).

- De leur contribution à la diversité spécifique et fonctionnelle à l'échelle des couverts végétaux et des paysages agricoles.

On verra également que les légumineuses offrent des possibilités de gestion assez spécifiques, contribuant à des impacts moindres sur l'environnement.

– La biodiversité des sols

Pour la microflore du sol, les systèmes de culture avec légumineuses induisent une convergence d'effets positifs pour la biodiversité microbienne en raison principalement des spécificités de l'environnement racinaire des légumineuses (EISENHAEUER *et al.*, 2009) : exsudats riches en azote, mobilisation du phosphore. De plus, le faible recours à la fertilisation minérale limite les impacts des engrais industriels sur la microflore.

Pour la méso-faune du sol (vers de terre, insectes...), des recherches anciennes et récentes se sont intéressées au rôle des légumineuses sur les populations et activités de la faune du sol. GASTINE *et al.* (2003) suggèrent que les légumineuses et les vers de terre forment une sorte de relation mutualiste affectant les fonctions essentielles de l'écosystème dans les prairies tempérées, notamment *via* la production d'exsudats racinaires et la décomposition d'organes riches en azote, améliorant la productivité végétale. Il est bien établi qu'une des caractéristiques des prairies permanentes, pour lesquelles la pérennité est due en bonne partie à la présence de légumineuses, est la richesse de leur mésofaune (insectes, vers de terre ...).

– Les insectes

Les abeilles domestiques et sauvages, ainsi que les autres pollinisateurs sont nécessaires à la production agricole car elles permettent d'assurer la reproduction de 70 à 80 % des plantes à fleurs. Toutes les légumineuses cultivées sont classées comme cultures attractives pour les abeilles et autres insectes pollinisateurs, contrairement aux céréales (sauf quelques-unes comme le maïs, le millet et le sorgho pour le pollen).

L'attractivité du nectar des légumineuses est forte. La luzerne en culture fourragère monospécifique, entre autres, offre des ressources appréciées d'un large cortège d'espèces d'abeilles (DECOURTYE *et al.*, 2014). Malgré une variabilité variétale souvent observée, la sécrétion nectarifère est un trait spécifique, qui peut être estimée par une production théorique de miel intégrant la quantité de sucre produite par une surface fleurie. Le lotier, la minette ou les vesces ont des potentiels mellifères relativement modestes (en dessous de 100 kg/ha). Les trèfles hybride, incarnat et violet représentent la catégorie intermédiaire, alors que la luzerne cultivée, le trèfle blanc, le mélilot blanc et le sainfoin ont parfois des potentiels au-delà de 200-300 kg/ha (www.interapi.itsap.asso.fr). Suivant les modes de conduite, les légumineuses peuvent offrir aux insectes des floraisons continues ou ponctuelles, mais qui peuvent être providentielles à des périodes critiques pour les abeilles en mai-juin ou fin d'été.

Concernant le pollen, celui des légumineuses est riche en lipides et en protéines nécessaires à la défense immunitaire des insectes, à leur développement ainsi qu'à leur adaptation fonctionnelle aux besoins de la colonie d'abeilles (élevage des jeunes, butinage, hivernage). D'une façon générale, les prairies ont une influence assez peu importante sur les apports polliniques des colonies d'abeilles mais en contexte céréalier, les légumineuses en particulier entrent en jeu à la fin du printemps où les ressources disponibles en pollen sont faibles. Le sainfoin, la vesce, le trèfle blanc ou, plus tard, la luzerne peuvent représenter près d'un tiers du butin à ce moment. Par ailleurs, dans certaines situations d'intercultures, des espèces telles que les pois fourragers, trèfles, sainfoin, lotier peuvent également représenter des apports de pollen significatifs (DECOURTYE *et al.*, 2014 ; FEUILLET *et al.*, 2015).

Les prairies présentent l'atout supplémentaire de constituer des zones refuges (haies, bandes enherbées), qui peuvent être des refuges à auxiliaires des cultures pour repeupler les parcelles adjacentes après les travaux agricoles (THIEBEAU *et al.*, 2003). La luzerne, de par son caractère pérenne, contribue à héberger davantage de papillons qu'une culture annuelle. La différence se révèle particulièrement intéressante pour les luzernes aménagées³ qui représentent un bassin de nourriture pour des espèces comme *la Vanesse du Chardon* et *la Piéride de la Rave*, mais aussi comme site de reproduction pour *l'Argus bleu* (voir la synthèse de THIEBEAU *et al.*, 2010).

– Pour les mammifères et les oiseaux

Des observations récentes ont montré l'intérêt des cultures pérennes pour la faune sauvage, à la fois comme abri et comme source d'alimentation (plante, mais aussi les populations d'insectes et autres espèces qu'elles abritent). Des initiatives en faveur d'une biodiversité végétale comprenant des légumineuses pérennes ont été engagées pour maintenir et développer cette biodiversité animale. La luzerne, en tendance, contribue à héberger davantage d'oiseaux qu'une céréale classique. La différence est particulièrement intéressante pour les luzernes aménagées, qui représentent un bassin de nourriture pour la faune de ces campagnes de grandes cultures. Des nids ont été trouvés sur le sol de luzernes aménagées, ce qui traduit une augmentation des chances des couvées de pouvoir arriver à terme (THIEBEAU *et al.*, 2010).

– Biodiversité des flores et des écosystèmes en général

En plus de ces différents effets sur la faune, la présence de légumineuses favorise la biodiversité à l'échelle des écosystèmes en constituant un support important de la fertilité des écosystèmes extensifs tels que des prairies permanentes pas ou peu fertilisées, souvent riches en biodiversité, permettant ainsi leur maintien. La base e-Flora-Sys (<http://eflorasys.univ-lorraine.fr/>) a ainsi montré que, dans des systèmes pastoraux, les légumineuses étaient présentes dans plus de 80 % des situations, avec une soixantaine d'espèces recensées. Des légumineuses comme les lotiers, vesces, gesses sont assez fréquentes dans des prairies peu intensives, souvent présentes dans des milieux à faible fertilité, mais régressent très rapidement lorsque le niveau de fertilité du milieu s'accroît (DIQUELOU *et al.*, 2003).

³ On entend par « luzerne aménagée » une luzernière conduite de manière à laisser une bande de luzerne non récoltée au moment de la coupe 1, qui sera récoltée en coupe 2, tandis qu'une autre bande ne sera pas récoltée sur le côté opposé du champ, mais le sera en coupe 3, etc. Cette technique permet de laisser fleurir les luzernes et de maintenir un abri pour la faune sauvage

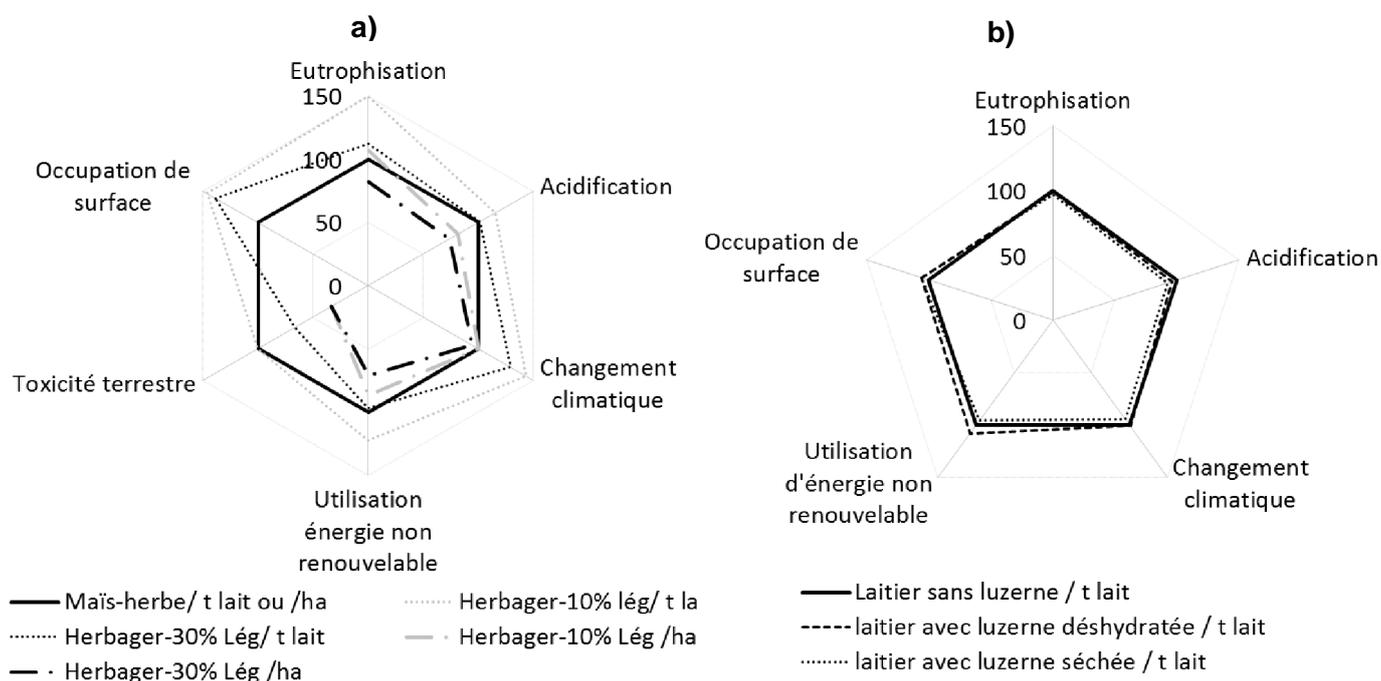
Au sein des paysages agricoles, les cultures de légumineuses ou les prairies sont connectées à d'autres parcelles et à d'autres écosystèmes (forêts, haies, fossés, bordures). Ces relations de proximité créent des échanges à la fois abiotiques (composés azotés) et biotiques (micro-organismes pathogènes ou non, insectes, oiseaux, petits mammifères). Elles contribuent à la réalisation d'un « damier » végétal, constituant une offre potentielle de nourriture et de site de reproduction à la biodiversité animale.

3. Analyses multicritères des systèmes de production incluant des légumineuses

Pour une évaluation globale des impacts d'une activité sur l'environnement, il est nécessaire de regarder simultanément des indicateurs reflétant plusieurs types d'impacts potentiels afin d'éviter les transferts d'impact qui se produisent lorsque l'amélioration d'un critère en dégrade un autre. Les approches basées sur la méthodologie « analyse de cycle de vie » (ACV) permettent de prendre en compte simultanément différents impacts environnementaux potentiels et de caractériser, sur chacun d'eux, le rôle de toutes les étapes de la production d'un produit donné. Elaborée pour les produits industriels, la méthode a été adaptée aux produits agricoles, avec de nombreuses questions méthodologiques à résoudre, dont l'unité de référence. Les exemples ci-dessous concernent des systèmes laitiers comprenant plus ou moins de surface en herbe et deux taux de présence de légumineuses. Les impacts sont exprimés par hectare et par tonne de lait produit.

FIGURE 3 – Performances environnementales de systèmes de production avec légumineuses :

a) Comparaison des impacts de systèmes avec légumineuses ou avec maïs (ACV rapportée à la tonne de lait produit ou à l'hectare d'exploitation, d'après VERTÈS *et al.*, 2011) et b) Importance des choix techniques sur l'ACV d'exploitations de polyculture - élevage visant une meilleure autonomie protéique avec de la luzerne (Coopédome, d'après CORSON *et al.*, 2015 ; projet FP7 Cantogather).



Six indicateurs sont calculés (pour l'eutrophisation, l'acidification, le changement climatique, la toxicité terrestre, l'utilisation d'énergie non renouvelable et l'occupation des sols) pour établir les impacts en sortie d'exploitation. Comparés au système maïs-herbe, les deux systèmes herbagers (prairies avec 10 ou 30 % de légumineuses ; Figure 3a) ont des impacts égaux ou supérieurs lorsqu'ils sont rapportés au lait produit, mais inférieurs lorsqu'ils sont rapportés à l'hectare, sauf pour l'impact toxicité, toujours supérieur pour le système maïs - herbe. Les gains les plus sensibles des systèmes de production riches en légumineuses sur le poste énergie sont dus i) aux moindres apports d'intrants (engrais et aliments concentrés) et à la moindre utilisation de combustibles fossiles (moins de transport, d'engins agricoles et d'engrais) et ii) à la réduction de consommation d'électricité.

Pour l'impact « changement climatique », les émissions de CO₂ sont réduites de 74 et 62 % pour les systèmes à 10 et 30 % de légumineuses comparés au système maïs - herbe, en raison d'une moindre utilisation d'énergie pour produire les intrants (Figure 3a). Les émissions de N₂O et NO_x sont aussi relativement basses pour les systèmes utilisant des légumineuses, avec une réduction des pertes à partir des excréments animales dans le bâtiment, au pâturage et lors du stockage des aliments. Enfin, les plus faibles émissions de nitrate pour le système avec 30 % de légumineuses (- 26 % comparé au système maïs - herbe) s'expliquent essentiellement par des différences dans le bilan apparent global azoté. La part des impacts indirects dans les impacts totaux rapportés à la tonne de lait produite diminue : système maïs - herbe > système avec 30 % de légumineuses. Enfin, la prise en compte des hectares nécessaires pour fournir les intrants dans ces trois systèmes montre des besoins en surface quasi équivalents.

L'introduction de luzerne sur 6 % de la surface dans des exploitations laitières spécialisées et intensives modifie peu les impacts potentiels calculés par tonne de lait produit (Figure 3b). Le choix technique de déshydratation vs séchage de la luzerne augmente significativement l'impact "utilisation de ressources non renouvelables". Le séchage réduit légèrement les impacts "changement climatique", "acidification" et "eutrophisation" en comparaison des 2 autres scénarios.

Les principaux gains liés aux légumineuses en termes d'impacts calculés par l'ACV peuvent concerner le changement climatique (moins de N₂O émis), une moindre eutrophisation et acidification (moins d'émissions de NH₃, NO_x et nitrate) et une moindre utilisation de ressources non renouvelables (notamment pour fabriquer et épandre les engrais azotés de synthèse). Une évaluation multicritère devrait également inclure des critères actuellement non pris en compte par l'ACV, dont la biodiversité ainsi que des composantes socio-économiques. Peu d'études sont actuellement disponibles pour généraliser ces résultats, qui peuvent s'inverser selon l'unité de référence (t de produit ou ha) et les techniques impliquées (séchage à l'air vs déshydratation pour la luzerne).

Conclusion

Les légumineuses prairiales étant partie intégrante des écosystèmes prairiaux, leur effet spécifique est difficile à individualiser. Mais, du fait de la fixation d'azote par voie symbiotique, on peut affirmer qu'elles contribuent à l'existence et à la pérennité d'écosystèmes prairiaux à faibles niveaux d'intrants, ayant globalement des impacts sur l'environnement plus faibles que les systèmes fondés sur l'utilisation d'intrants azotés exogènes. Hormis la période de retournement des prairies ou des luzernières, la production et la libération d'azote réactif sont plus progressives dans le cas des prairies d'association ou des prairies permanentes riches en légumineuses, limitant ainsi les risques de fuite sous des formes diverses vers l'air ou les eaux. En outre, l'azote réactif produit par la fixation symbiotique n'est pas consommateur d'énergies fossiles, contrairement à l'azote des engrais industriels.

Les légumineuses ont également de nombreux impacts positifs sur la biodiversité à différents niveaux. Elles stimulent la microflore du sol et, de manière générale, les populations d'insectes et par conséquent les animaux insectivores, en particulier les oiseaux. Les légumineuses pluriannuelles constituent des refuges pour des petits mammifères et pour la nidification de certaines espèces d'oiseaux. Tous ces effets contribuent à la biodiversité générale à l'échelle du paysage.

Les légumineuses prairiales présentent donc un faisceau convergent d'effets positifs pour l'environnement, agissant tant sur le changement climatique, la pollution des eaux et de l'air que sur la biodiversité. L'expression de ces effets dépend toutefois des modalités de gestion des prairies. Les principaux effets sont sans doute de favoriser la pérennité d'écosystèmes prairiaux à bas niveaux d'intrants et la diversité des écosystèmes à l'échelle du paysage.

Références bibliographiques

- DECOURTYE A., GAYRARD M., CHABERT A., REQUIER F., ROLLIN O., ODOUX J.-F., HENRY M., ALLIER F., CERRUTTI N., CHAIGNE G., PETREQUIN P., PLANTUREUX S., GAUJOUR E., EMONET E., BOCKSTALLER C., AUPINEL P., MICHEL N., BRETAGNOLLE V., 2014. Concevoir des systèmes de cultures innovants favorables aux abeilles. *Innovations Agronomiques*, 34, 19-33.
- DE DEYN, G.B., QUIRK, H., YI, Z., OAKLEY, S., OSTLE, N.J. & BARDGETT, R.D., 2009. Vegetation composition promotes carbon and nitrogen storage in model grassland communities of contrasting soil fertility. *Journal of Ecology*, 97, 864-875.

- DIQUÉLOU S., SIMON J.C., LÉCONTE D., 2003, Diversité floristique des prairies permanentes de Basse-Normandie (synthèse). Fourrages, 173, 3-22
- DUC G., MIGNOLET C., CARROUÉE B., HUYGHE C., 2010. Importance économique passée et présente des légumineuses : rôle historique dans les assolements et facteurs d'évolution. Innovations Agronomiques, 11, 1-24.
- EISENHAEUER N., MILCU A., NITSCHKE N., SABAI ACV., SCHERBER C., SCHEU S., 2009. Earthworm and below ground competition effects on plant productivity in a plant diversity gradient. *Oecologia*, 161, 291-301.
- FEUILLET D., ODOUX J.F., AUPINEL P., LOUBLIER Y., TASEI J.N., MATEESCU C., 2015. Biodiversité territoriale et conséquences sur les caractéristiques physico-chimiques des pollens collectés par les colonies d'abeilles domestiques, in: Quae (Ed.), Abeilles et paysages: enjeux apicoles et agricoles. E. Maire & D. Laffly pp. 89-99.
- GALLOWAY JN, DENTENER FJ, CAPONE DG, BOYER EW, HOWARTH RW, SEITZINGER SP, *et al.*, 2004. Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry* 70: 153-226.
- GASTINE A., SCHERER-LORENZEN M., LEADLEY P.W., 2003. No consistent effects of plant diversity on root biomass, soil biota and soil abiotic conditions in temperate grassland communities. *Applied Soil Ecology*, 24, 101-111
- HICKS W.K., WHITFIELD C.P., BEALEY W.J., SUTTON M.A., 2011. Nitrogen Deposition and Natura 2000, Science & practice in determining environmental impacts. COST729/ Nine/ESF/CCW/JNCC/SEI Workshop Proceedings, publié par COST. <http://cost729.ceh.ac.uk/n2kworkshop>, consulté le 6 janvier 2015.
- JONES, M.B. & DONNELLY, A., 2004. Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO₂. *New Phytologist*, 164, 423-439.
- KLUMPP K., BLOOR J.M.G., AMBUS P., SOUSSANA J.F., 2011. Effects of clover density on N₂O emissions and plant-soil N transfers in a fertilised upland pasture. *Plant Soil*, 343 (1/2), 97-107.
- LE ROUX X., BARBAULT R., BAUDRY J., BUREL F., DOUSSAN I., GARNIER E., HERZOG F., LAVOREL S., LIFRAN R., ROGER-ESTRADE J., SARTHOU J-P., TROMMETTER M., 2008. Agriculture et biodiversité, Valoriser les synergies. Rapport d'expertise collective Inra (http://www.inra.fr/1_institut/expertise/expertises_realisees/agriculture_et_biodiversite__1)
- RASMUSSEN J., SØEGAARD K., PIRHOFER-WALZL K., ERIKSEN J., 2012. N₂-fixation and residual N effect of four legume species and four companion grass species. *European Journal Agronomy* 36, 66-74
- ROCHETTE P., ANGERS D.A., BÉLANGER G., CHANTIGNY M.H., PRÉVOST D., LÉVESQUE G., 2004. Emissions of N₂O from alfalfa and soybean crops in eastern Canada. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68, 493-506.
- RUIJTER F.J. DE, HUIJSMANS J.F.M., RUTGERS B., 2010. Ammonia volatilization from crop residues and frozen green manure crops. *Atmospheric Environment*, 44, 3362-3368.
- SCHNEIDER A. ET HUYGHE C. (coord.) 2015. Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables », Editions Quae, 473 p. <http://www.quae.com/fr/r4709-les-legumineuses-pour-des-systemes-agricoles-et-alimentaires-durables.html>
- SUTTON, M. A., HOWARD, C. M., Erisman J. W., Billen G., Bleeker A., Grennfelt P., van Grinsven H., Grizzetti B., 2011. The European Nitrogen Assessment, Cambridge University Press, 612 pages.
- THIÉBEAU P., PARNAUDEAU V., GUY P., 2003. Quel avenir pour la luzerne en France et en Europe ? *Courrier de l'Environnement de l'Inra*, 49, 29-46.
- THIÉBEAU P., BADENHAUSSER I., MEISS H., BRETAGNOLLE V., CARRÈRE P., CHAGUÉ J., DECOURTYE A., MALEPLATE T., MÉDIÈNE S., LÉCOMPTE P., PLANTUREUX S., VERTÈS F., 2010. Contribution des légumineuses à la biodiversité des paysages ruraux. *Innovations Agronomiques*, 11, 187-204.
- VERTÈS F., JEUFFROY M.H., JUSTES E., THIÉBEAU P., CORSON M., 2010. Connaître et maximiser les bénéfices environnementaux liés à l'azote chez les légumineuses, à l'échelle de la culture, de la rotation et de l'exploitation. *Innovations Agronomiques*, 11, 25-43.
- VERTÈS F., JEUFFROY M-H., LOUARN G., VOISIN A-S, JUSTES E. (2015) Légumineuses et prairies temporaires : des fournitures d'azote pour les rotations, *Fourrages*, 59-72.