

Contribution des légumineuses à la biodiversité des paysages ruraux

Thiébeau P.¹, Badenhauer I.², Meiss H.², Bretagnolle V.², Carrère P.³, Chagué J.⁴, Decourtye A.⁵, Maleplate T.⁶, Médiène S.⁷, Lecompte P.⁴, Plantureux S.⁸, Vertès F.⁹

¹ INRA UMR-FARE614, 2 esplanade R. Garros, F-51686 Reims Cedex 2

² UPR1934 INRA-CNRS, Centre d'Etudes Biologiques de Chizé, F-79360 Beauvoir-sur-Niort

³ INRA UREP 874, 234 Avenue du Brézet, F-63100 Clermont-Ferrand

⁴ Réseau Biodiversité pour les Abeilles, BP1, F-69690 Bessenay

⁵ ACTA UMT PrADE, UMR 406 Abeilles et Environnement, F-84914 Avignon Cedex 9

⁶ Coop de France Déshydratation, 43 rue Sedaine, F-75538 Paris Cedex 11

⁷ INRA UMR Agronomie INRA-AgroParisTech, BP 01, F-78850 Thiverval-Grignon

⁸ Nancy Université-INRA, UMR Agronomie et Environnement 2 avenue de la forêt de Haye, F-54505 Vandoeuvre Cedex

⁹ INRA UMR 1069 SAS, 4 rue Stang Vihan, 29000 Quimper

Correspondance : thiebeau@reims.inra.fr

Résumé

Les légumineuses, en dehors de leur autonomie de nutrition azotée, contribuent à enrichir le panel de cultures que l'exploitant peut insérer dans ses systèmes de productions animales ou grandes cultures, ou favoriser dans ses surfaces en prairies permanentes. Leur présence contribue dès lors à diversifier les paysages des campagnes, directement en tant qu'espèces de légumineuses prairiales ou à graine, et indirectement en offrant habitat et ressources à diverses espèces animales. Néanmoins, les systèmes d'exploitation conditionnent leur présence en plus ou moins grande quantité et diversité. En systèmes prairiaux, leur diversité, leur développement et leur abondance sont influencés par les modalités d'utilisation et de fertilisation, et des études récentes sur les traits fonctionnels permettent de mieux comprendre et maîtriser les processus de compétitions entre espèces. En région de grandes cultures, leur insertion dans les rotations peut améliorer la gestion des adventices des cultures annuelles, réduisant le recours aux herbicides. Après avoir réalisé un état de l'art sur l'impact des systèmes d'exploitation sur l'abondance et la croissance des légumineuses, nous illustrerons, à partir de deux exemples de conduite de systèmes de culture avec luzerne, comment des pratiques de cultures, de récolte, et de gestion des assolements adaptées peuvent permettre d'inverser des tendances à la baisse des légumineuses et redynamiser à la fois le développement et la diversité végétale et animale.

Mots clés : légumineuses, prairies, systèmes de cultures, adventices, biodiversité, indicateurs.

Abstract

Legumes, besides being self-sufficient for nitrogen nutrition, contribute to enrich the pool of crops rotations in livestock, crop or mixed agricultural systems. Therefore legumes contribute to biodiversity in rural landscape, directly as grassland and crop species (and plant genotypes), and indirectly as habitats for wild fauna (insects, birds, soils fauna and micro biomass). Agricultural systems and practices greatly influence their abundance. Management of permanent grasslands, including cut/graze ratio, stocking rates, fertilization, interacting with soil and climate conditions, determine legumes abundance and diversity, that react quickly to changes of grassland use, and contribute to grassland resilience. In cash

crop areas, introducing grain legumes or alfalfa allow a decrease in weeds development and in the use of herbicides. After the state of the art survey concerning impacts of farming systems on legumes, we illustrate some examples of cropping system management including alfalfa, to highlight how adapted practices (crop growth, harvest, crops rotations) can help to reverse legumes decline, by substantially improving both agricultural production, animal and plant biodiversity

Keywords: grain and grassland legumes, ley- arable rotation, cropping systems permanent pastures, weeds, biodiversity

Introduction

De nombreuses études en France et en Europe attestent du déclin spectaculaire de la biodiversité dans les espaces agricoles (Robinson et Sutherland, 2002), à tel point que son érosion est un enjeu aujourd'hui reconnu dans les politiques publiques (Le Roux *et al.*, 2008). De multiples facteurs peuvent impacter la biodiversité à l'échelle des paysages agricoles. Le choix des systèmes de production, les pratiques culturales peuvent avoir une influence, de même que l'occupation de l'espace au sens large : agencement des cultures, usages non agricoles et éléments semi-naturels. En zones prairiales, comme en zones céréalières, l'intensification et la réduction de la diversité des cultures sont des éléments d'appauvrissement des paysages agricoles et de leur biodiversité (végétale et animale). La sous utilisation, voire l'abandon, des prairies constitue également des menaces pour la biodiversité (Broyer, 2001).

En France, seulement six régions regroupent près de 54% de la surface en Céréales et Oléo-Protéagineux (Decourtye *et al.*, 2007). Des assolements peu variés, souvent couplés à de grandes tailles de parcelles, des zones de bordures et des îlots d'arbustes réduits aux portions congrues, signifient également un appauvrissement des sources de nourriture de nombreuses espèces animales et des zones refuge, dont les populations d'oiseaux peuvent être considérées comme des indicateurs de synthèse. En effet, situés au sommet d'une chaîne alimentaire, leur survie dépend de la présence d'un nombre important d'espèces végétales et animales ; ils constituent de ce fait des espèces suffisamment intégratrices pour la réalisation d'un diagnostic de biodiversité (abondance et diversité d'espèces).

Les agriculteurs connaissent tout l'intérêt des légumineuses (Pointereau, 2001 ; Thiébeau *et al.*, 2003 ; Duc *et al.*, 2010 ; Thiébeau *et al.*, 2010 ; Vertès *et al.*, 2010). Fixatrices d'azote atmosphérique, leurs tissus sont riches en protéines. C'est pourquoi, parmi celles-ci (341 espèces en France et 7000 dans le monde), les hommes en ont sélectionné quelques-unes d'abord pour se nourrir (lentille, pois sec, fève, pois chiche, soja, haricot, lupin,..), puis nourrir leur bétail (luzerne, trèfle, sainfoin, vesce, etc.). Elles ont un rôle agronomique et environnemental important (Thiébeau *et al.*, 2003). Elles constituent une attractivité pour une multitude d'animaux, dont les insectes (Decourtye *et al.*, 2007, Decourtye *et al.*, 2008 ; Decourtye et Bouquet, 2010), comme source de nourriture et d'habitat (Broyer, 2001). Malgré tout, leurs surfaces connaissent un déclin certain (Thiébeau *et al.*, 2003 ; Duc *et al.*, 2010) qui a des conséquences sur notre environnement.

L'émergence de problèmes environnementaux, la prise de conscience et les enjeux de développement durable modifient peu à peu l'attitude des partenaires, agriculteurs et pouvoirs publics, vis-à-vis des légumineuses. Par exemple, mis en demeure de couvrir les sols en hivernage, avec des couverts intermédiaires pièges à nitrates entre deux cultures principales, les exploitants profitent de ces périodes pour semer des mélanges d'espèces comprenant notamment des légumineuses (avoines ou triticales avec des vesces, trèfle d'Alexandrie, trèfle incarnat, etc.). Potentiellement mellifères, certaines d'entre elles représentent une opportunité en nectar et en pollen pour la faune pollinisatrice (abeilles, bourdons), mais le délai de croissance assez court (2 à 3 mois, en automne-hiver) leur permet rarement

d'atteindre le stade de la floraison. Elles sont néanmoins intéressantes pour offrir un abri et un site d'alimentation pour la petite faune de plaine (Decourtye et Bouquet, 2010).

Si l'on considère un gradient d'anthropisation des modes d'occupation des sols, les prairies temporaires et permanentes, qui comprennent la plupart du temps des légumineuses dans leur composition botanique, présentant une grande diversité selon leur type et leur mode d'exploitation (Huyghe, 2009) occupent une place intermédiaire entre les cultures annuelles et les forêts et contribuent largement à la biodiversité végétale et animale (Broyer, 2001 ; Le Roux *et al.*, 2008).

L'objectif de cet article est d'illustrer les liens entre intensification agricole et biodiversité végétale et animale liée aux légumineuses, à des échelles allant de la parcelle au paysage, et de court au moyen terme (modifications de la composition des peuplements végétaux). Il permet également d'ouvrir des perspectives sur la place des légumineuses dans une production agricole durable. En se basant sur quelques exemples emblématiques (modifications de pratiques agricoles en région Champagne-Ardenne et en région Poitou-Charentes), il s'agit de montrer qu'après une prise de conscience des dommages occasionnés par une agriculture très simplifiée et reposant sur des intrants, l'homme peut par le biais de la conduite de ses assolements, corriger en partie des dommages générés par des pratiques antérieures et contribuer à une amélioration durable de la biodiversité et des services écosystémiques rendus.

Impact des systèmes d'exploitation sur la biodiversité végétale des milieux agricoles, en particulier sur les légumineuses

Effet de la pression d'exploitation sur la diversité et l'abondance des légumineuses au sein des prairies

Des travaux anciens ou récents (par exemple Delpech, 1963 ; Balent *et al.*, 1999 ; Louault *et al.*, 2002 ; Le Roux *et al.*, 2008) montrent que les conséquences des activités humaines sur le fonctionnement des systèmes écologiques, au-delà de la perte d'une ou plusieurs espèces, se traduisent surtout par des impacts affectant le type d'espèce et son rôle dans la structure, ainsi que le fonctionnement du système. En ce sens, les légumineuses, qui ont un rôle fonctionnel irremplaçable dans le cycle de l'azote, méritent une grande attention : il est important de mieux connaître les modes d'utilisation et les traits fonctionnels des espèces favorisant à la fois le maintien de la diversité des légumineuses dans ces milieux et un niveau de production viable, pour contribuer à la durabilité des systèmes de production.

La variété des facteurs climatiques et édaphiques, mais également la diversité des pratiques de gestion ont produit des systèmes pastoraux très contrastés, qui diffèrent par leur capacité de production et leur composition botanique. L'analyse de 4330 relevés floristiques récents de prairies permanentes (plaine et montagne) extraits de la base e-Flora-Sys (Plantureux *et al.*, 2009) montre que des légumineuses sont présentes dans plus de 80 % des cas, avec une soixantaine d'espèces recensées dont une douzaine seulement sont observées dans plus de 5% des relevés. *Trifolium repens* L. est l'espèce la plus fréquente (70% des relevés) suivi de *Trifolium pratense* L. (45% des relevés) et de *Lotus corniculatus* s.l. (dans 22% de relevés). Les deux trèfles sont bien adaptés à des niveaux d'intensification importants en situation de pâturage et de fauche pour le trèfle blanc ou de faible pression de pâturage pour le trèfle violet.

Les autres légumineuses comme les lotiers, vesces, gesses, assez fréquentes dans des prairies peu intensives, régressent très rapidement lorsque le niveau de fertilité du milieu s'accroît, comme le concluaient Diquélou *et al.* (2003) dans une synthèse sur les prairies normandes. La Figure 1 illustre le lien entre nombre d'espèces de légumineuses et la richesse spécifique des prairies (a) ou leur valeur pastorale (b). La diversité d'espèces de légumineuses s'accompagne d'une diversité d'espèces globale (l'inverse étant moins vrai), tandis que les valeurs pastorales maximales sont observées lorsque le

nombre d'espèces de légumineuses reste limité (de 0 à 6). En considérant les espèces citées plus haut, l'abondance peut atteindre 5 à 20% de la biomasse présente.

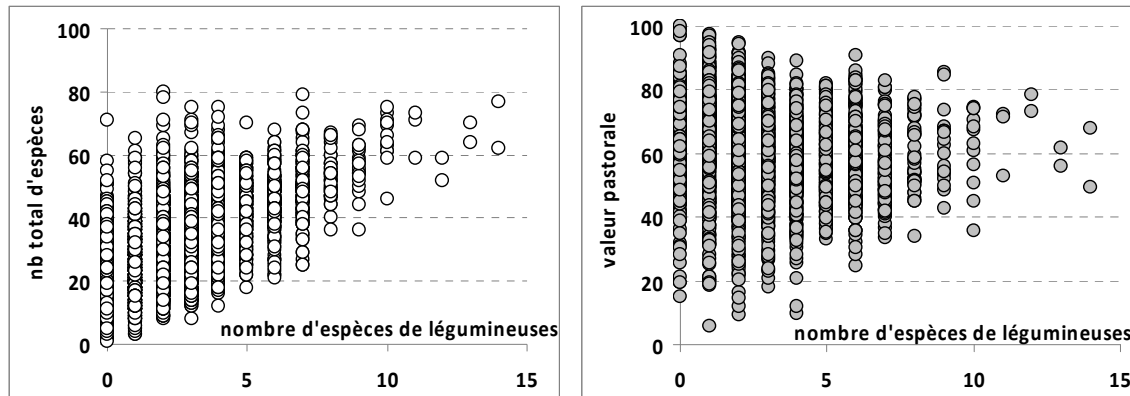


Figure 1 : Liens entre le nombre d'espèces de légumineuses et la richesse spécifique des prairies (a) ou leur valeur pastorale (b), établi à partir de la base de données e-FLORA-sys. (Plantureux *et al.*, 2009).

Une exploitation assez extensive (e.g. fertilisations faibles, fauches tardives) maintient une richesse floristique élevée, oscillant de 30 à 50 espèces par relevé selon Duru *et al.* (2001). Inversement, un changement de gestion des prairies vers une intensification des pratiques conduit à des réponses rapides en termes de production et d'abondance relative des espèces, puis à des évolutions de la composition botanique (Loiseau *et al.*, 1998). Les techniques d'amélioration de la production se sont souvent accompagnées d'une réduction drastique de la diversité spécifique, conduisant à une convergence des séries évolutives vers des communautés végétales appauvries et à une banalisation de la flore locale (de Foucault 1992, Plantureux *et al.*, 1993 ; Duru *et al.*, 2001 ; Herben et Huber-Sannwald, 2002 ; Diquélou *et al.*, 2003). En termes de fonctionnement, une enquête réalisée sur les prairies du Massif Central (Figure 2) montre nettement que le niveau d'intrants, associé à l'intensité de l'exploitation, est le moteur des performances et de la composition botanique. Les légumineuses (e.g. le taux de trèfle) apparaissent sensibles à l'intensité d'exploitation, alors qu'une exploitation régulière favorise le développement du trèfle blanc (Vertès et Annezo, 1989). Elles sont également sensibles au niveau de fertilisation : les apports azotés minéraux favorisent la croissance des graminées, compétitrices du trèfle pour la lumière.

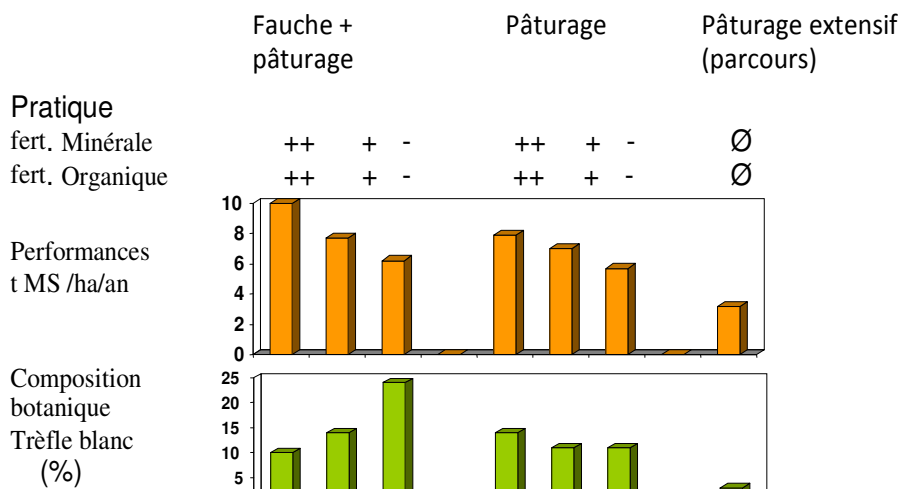


Figure 2 : Variabilité des performances et de la contribution du trèfle blanc à la biomasse produite par des prairies du massif central volcanique (Loiseau *et al.*, 1998).

Une approche par groupes fonctionnels d'espèces végétales montre qu'une même réponse d'un indicateur de diversité peut avoir des causes extrêmement diverses, et quelquefois contradictoires. Par exemple, si on considère le seul gradient d'intensité d'exploitation dans des prairies mésophiles (prairies de la SAU, niveau de disponibilité en nutriments satisfaisante), Louault *et al.* (2005) ont montré qu'une réduction de cette intensité entraînait rapidement une réduction des légumineuses traçantes (Figure 3), contribuant au renouvellement du cortège floristique des légumineuses en remplaçant les morphotypes « rampants » (trèfle blanc, luzerne lupuline) par des morphotypes capables de se hisser dans les strates supérieures du couvert grâce à des vrilles (vesces et gesses pérennes).

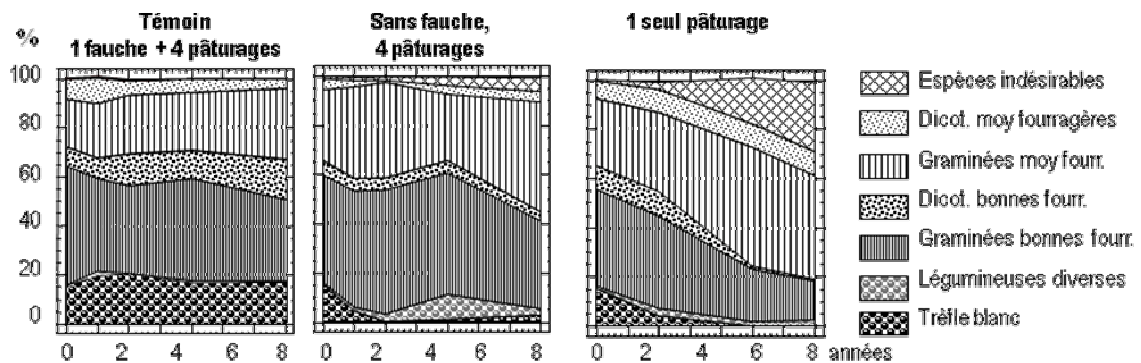


Figure 3 : Impact de l'intensité d'exploitation sur la composition botanique (contribution à la biomasse) d'une prairie. Essai longue durée « excédent » sur le site de Theix (alt. 890 m - INRA-UREP-UR874). Le témoin correspond à une fauche et quatre passages d'animaux au cours de l'année. (d'après Louault *et al.*, 2005)

S'il est largement connu que les herbivores domestiques présentent des différences de sélectivité bien caractérisées, la diversité végétale est également un facteur de stimulation de l'ingestion par l'animal (Carrère *et al.*, 2002). Ainsi, en situation de choix, l'animal sélectionne le plus souvent un régime mixte, qui peut stimuler l'ingestion des animaux de 10-15%, comme cela a été montré dans des associations ray-grass anglais - trèfle blanc par Parsons *et al.* (1994). Des conclusions similaires ont été obtenues par Meuret et Bruchou (1994) en parcours diversifié pour lesquels l'offre est plus complexe, avec des espèces de légumineuses plus diverses dont l'intérêt alimentaire est variable. Ces résultats confortent l'intérêt de l'utilisation de prairies permanentes à flore complexe, même si des questions subsistent concernant le pas de temps sur lequel devrait s'organiser la diversité de l'offre, le niveau de diversité requis et les interactions avec le niveau de motivation alimentaire des animaux (Dumont *et al.*, 2001). Cependant, le niveau de la sélection dépend aussi de la représentation de l'espèce dans le couvert. Ginane *et al.* (2008) montrent que la sélection du trèfle diminue lorsque son abondance est faible, et lorsqu'il est imbriqué avec d'autres espèces de caractéristiques morphologiques voisines (limite des capacités de discrimination des animaux ?).

La distribution et l'association locale d'espèces entre-elles sont donc un facteur de maintien de cette diversité, et cela d'autant plus que l'espèce est recherchée par les animaux, comme c'est le cas des légumineuses. La dissémination des espèces dans le couvert peut contribuer à la persistance d'espèces minoritaires, ou peu abondantes ou risquant d'être soumises à une pression de défoliation très forte comme observé pour le pâturage des ovins (Dumont *et al.*, 2002), et favoriser leur reconquête, selon leur mode de reproduction. Ainsi, les modes de gestion des prairies (e.g. vitesse de rotation, chargement instantané) n'auront probablement pas les mêmes conséquences selon la répartition des espèces dans le couvert. Des travaux en cours insèrent l'étude de ces effets, dans un cadre plus général de compréhension des relations entre gestion des prairies (fertilisation, pâturage, types d'animaux) et dynamique de végétation, afin de concilier différents enjeux tels la nutrition et la santé animale avec la biodiversité (Adler *et al.*, 2001 ; Dumont *et al.*, 2010).

Effets de l'introduction de cultures pérennes (légumineuses) dans les assolements de grandes cultures, sur la gestion de la flore des adventices

En région de grandes cultures, la rotation de cultures annuelles et pérennes (prairies temporaires) peut être utilisée pour empêcher la sélection continue d'espèces adventices adaptées à un type de culture (Liebman et Dyck, 1993; Bellinder *et al.*, 2004; Nazarko *et al.*, 2005; Smith et Gross, 2007). De telles rotations pourraient ainsi favoriser la gestion des adventices, l'économie d'herbicides et la biodiversité dans les paysages agricoles à forte empreinte anthropique. Les successions de cultures simples d'aujourd'hui pourraient être diversifiées par l'introduction de cultures fourragères pérennes comme les luzernes, trèfles, prairies, ou des mélanges entre légumineuses et graminées (Sebillotte, 1980; Sjurson, 2001; Teasdale *et al.*, 2004; Albrecht, 2005; Heggenstaller et Liebman, 2006; Meiss *et al.*, 2010a).

Les impacts de ces cultures pérennes sur les adventices ont été étudiés en utilisant quatre approches (notés a à d) à l'échelle des individus, populations, et communautés de plantes.

a) Des relevés floristiques dans 632 champs dans la Zone Atelier du CNRS "Plaine et Val de Sèvres" (ouest de la France) montrent que les différences de composition spécifique des communautés adventices entre des cultures fourragères pérennes à base de luzerne (*Medicago sativa* L.) et six cultures annuelles (blé d'hiver, colza, pois, tournesol, maïs, et sorgho), sont plus importantes que les différences, mieux connues, entre les cultures annuelles d'automne et de printemps (Meiss *et al.*, 2010a). La comparaison de 420 champs de blés succédant soit à des luzernes pérennes, soit à des cultures annuelles suggère que ces différences des communautés peuvent avoir des effets à long terme : la composition des communautés avant, pendant, et après des cultures pérennes (basée sur une « substitution statistique du temps par l'espace ») varie selon une trajectoire cyclique pendant ce type de rotation (Figure 4, Meiss *et al.*, 2010b).

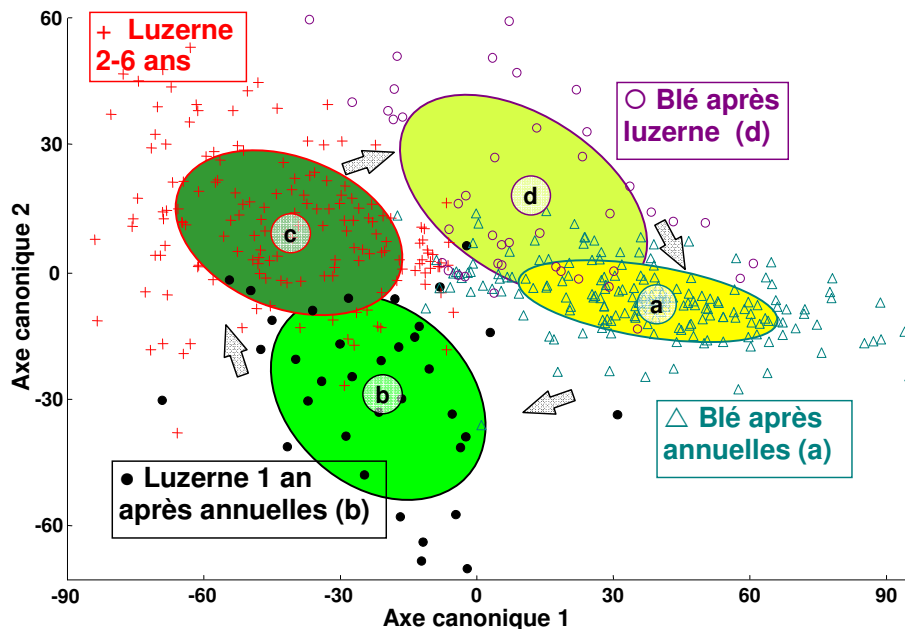


Figure 4 : Trajectoire type d'évolution des communautés adventices pendant une rotation de cultures incluant des cultures annuelles (céréales) et des cultures pérennes (luzerne) (résultat issu d'une analyse discriminante canonique). Chaque point représente la composition spécifique d'une parcelle (N=420) avant (a), pendant (b, c) et après (d) des cultures de luzerne (d'après Meiss *et al.*, 2010b).

L'analyse des espèces indicatrices et des groupes fonctionnels d'espèces suggère que les cultures pérennes modifient la composition de la communauté d'adventices en défavorisant particulièrement les dicotylédones annuelles à morphologie dressée ou grimpante, y compris des espèces problématiques

dans des cultures annuelles comme le gaillet (*Galium aparine* L.). En revanche, la rotation favorise des espèces bisannuelles et pérennes, ainsi que des espèces à rosettes annuelles, ce qui a produit une diversité de plantes comparable, voire supérieure (Meiss *et al.*, 2010b).

b) Les mécanismes impliqués dans ces changements de communautés d'adventices ont été étudiés au cours d'une expérimentation de 3 ans. Les dynamiques de populations de plusieurs espèces adventices majeures ont été comparées pour une succession de cultures annuelles et des cultures fourragères pérennes, avec différents modes de gestion. De manière générale, les densités de plantes adventices, leurs biomasses et le nombre d'espèces ont montré des tendances à la baisse dans les cultures pérennes, mais des hausses parfois très fortes dans les cultures annuelles. Parmi les facteurs de gestion des cultures pérennes, la saison de semis de la culture (automne vs. printemps) a souvent eu des impacts plus forts que l'espèce cultivée (luzerne vs. dactyle) ou que la fréquence de fauche (3 vs. 5 fois par an) (Meiss, 2010d). Le comportement des espèces, prises individuellement, et des groupes fonctionnels s'est montré globalement cohérent avec les résultats des relevés à large échelle (a).

Ces deux études suggèrent que trois caractéristiques des cultures fourragères pérennes affectent plusieurs stades du cycle de vie des adventices : i) l'absence complète de travail du sol réduit la levée des adventices, augmente la survie des adventices établies et réduit probablement la survie des graines (par exemple par une augmentation de la prédation de graines) ; ii) la compétition s'exerce sur un temps plus long ; et iii) les fauches contribuent à réduire la croissance végétative et la production de graines des adventices (Meiss, 2010d). Quelques-uns de ces mécanismes, comme le travail du sol et la compétition avec la culture, sont déjà relativement bien connus dans la littérature, ce qui n'est pas le cas pour les impacts de la fauche et de la prédation des graines. Pour cette raison, des expérimentations spécifiques ont été menées pour mieux comprendre ces deux mécanismes :

c) Des expérimentations sous serre analysant la croissance post-fauche de plantes individuelles ont montré des différences importantes entre des espèces et groupes fonctionnels d'espèces (annuelles vs. pérennes, graminées vs. dicotylédones) (Meiss *et al.*, 2008). Une expérimentation à deux facteurs a montré que les impacts négatifs de la fauche et de la compétition sur la croissance des adventices ont été additifs (Meiss *et al.*, 2009).

d) Des mesures spécifiques de prédation de graines d'adventices (un service écosystémique), sur l'expérimentation au champ, ont montré des corrélations positives entre couvert végétal et prédation. Ceci indique l'importance particulière de la prédation de graines dans des cultures de légumineuses pérennes (Meiss *et al.*, 2010c). Nos expérimentations indiquent aussi une préférence des prédateurs vis-à-vis de certaines espèces adventices, malgré une forte variabilité spatiale et temporelle des taux de prédation (Alignier *et al.*, 2008; Meiss *et al.*, 2010c) Ceci peut être une autre cause des changements de communautés d'adventices observés à large échelle.

L'ensemble de ces résultats montre que les cultures de légumineuses pérennes créent des conditions défavorables pour des espèces adventices problématiques dans les grandes cultures annuelles. Leur intégration dans des rotations de cultures annuelles peut donc être utilisée comme une composante de la gestion intégrée des adventices, permettant de réduire le besoin d'utilisation d'herbicides. En même temps, la diversification temporelle et spatiale du paysage avec des cultures pérennes (combinées éventuellement avec d'autres mesures agri-environnementales comme le maintien de chaumes en hiver) pourrait augmenter la diversité floristique et la mise à disposition de ressources trophiques pour des espèces animales en danger dans les paysages agricoles. La diversification des rotations peut donc contribuer à résoudre les trois problèmes liés aux adventices (Meiss, 2010d). Ces effets positifs pour la gestion des adventices et pour le maintien de la biodiversité s'ajoutent aux autres avantages des cultures de légumineuses et graminées pérennes comme l'augmentation de la matière organique, la réduction de l'érosion du sol et du lessivage de nutriments, et la fixation biologique d'azote par les légumineuses détaillé dans d'autres parties de ce volume.

Impact des systèmes d'exploitation comprenant des légumineuses sur la biodiversité animale.

Effets sur la faune en milieux prairiaux

La diversité de gestion des parcelles prairiales, qui crée une mosaïque de végétation conduisant à l'accroissement de la biodiversité végétale à l'échelle de la ferme à travers la juxtaposition de différentes communautés végétales, a également des effets sur la microfaune (Farruggia *et al.*, 2004). Ainsi, les Orthoptères et Lépidoptères seront favorisés par la présence de parcelles en pâturage extensif, où ils trouvent abri et nourriture, tandis que les insectes coprophages et les prédateurs du sol seront plus nombreux dans les prairies pâturées intensivement (Wallis De Vries *et al.*, 2004). En dehors des prairies fauchées ou pâturées, les fermes d'élevages herbivores ont généralement des haies et arbres isolés (refuges pour les ruminants) et différentes structures (mares, fossés, chemins) qui offrent des habitats variés à une large diversité d'espèces animales et végétales. Des outils d'évaluation simplifiée de la biodiversité en cours de développement (CASDAR Indibio) s'attachent à quantifier ces éléments agro-écologiques et leur organisation dans le paysage (maillage, connexions), pour intégrer et quantifier les effets positifs des systèmes polyculture-élevage.

Dans le cadre du programme européen Forbioben, l'Inra de Clermont-Theix et l'Unité expérimentale des Monts d'Auvergne ont testé, de 2002 à 2006, l'impact de diverses modalités de pâturage (0,6 -0,9 et 1,2 UGB/ha) sur l'évolution de la structure et de la composition botanique du couvert. Cet essai a également permis de montrer une évolution de l'abondance de plusieurs familles d'insectes, avec des évolutions différentes selon le niveau de chargement et la famille d'insecte considérée : la diminution du chargement, en favorisant les plantes à fleurs et les graminées peu tolérantes au pâturage, a favorisé les papillons et les criquets. L'augmentation du chargement a favorisé d'autres espèces (par exemple coprophages...). L'abondance des oiseaux et des carabes n'a pas été modifiée. Ainsi, à chaque densité animale correspond un « profil » de biodiversité. L'allègement du niveau moyen de densité animale, ainsi qu'une rotation aménagée du pâturage, ont eu un effet favorable sur la biodiversité de ces prairies (Dumont *et al.*, 2008).

Concernant les sols sous prairies pâturées, le comportement alimentaire des animaux (cf précédemment), renforcé par la distribution des éléments fertilisants (à travers l'urine et les fèces), induit une hétérogénéité intra-parcellaire (Marriott et Carrère, 1998) qui se traduira par une plus forte structuration de l'espace, favorable à la diversité floristique et faunistique. En jouant sur la diversité des milieux présents, il est donc envisageable de maintenir des forts niveaux de diversité inter et intra parcellaire pour favoriser la présence et le développement de cette biodiversité faunistique. Des recherches anciennes et récentes se sont intéressées au rôle des légumineuses sur les populations et activités de la faune du sol. Vertès *et al.* (1989) et Cluzeau *et al.* (1992) ont montré que les dégâts dus à un piétinement excessif des couverts sur les populations de vers de terre, à savoir une réduction drastique et rapide de leur abondance, affectant de façon différente les espèces anéciques et endogées (individus et cocons), étaient plus importants sous les couverts avec trèfle, mais que la récupération était également plus rapide que sous graminée pure (hypothèse trophique). Gastine *et al.* (2003) mettent en évidence l'effet négatif des légumineuses sur la quantité de biomasse racinaire, mais positif sur la diversité des vers de terre et l'abondance des vers de terre épigés. Les autres groupes fonctionnels n'ont pas eu d'effet significatif sur la faune du sol : la réduction de la biodiversité s'accompagnant d'une absence de légumineuse aura des effets plus importants sur la faune du sol que si elle induit l'absence d'autres espèces. Eisenhauer *et al.* (2009) ont étudié les interactions entre la biodiversité, la productivité et la fourniture d'N via les vers de terre et constatent que les légumineuses ont bénéficié de la présence des vers de terre (Milcu *et al.*, 2008). Ces auteurs 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'exudats racinaires et la décomposition d'organes riches en azote, améliorant la productivité végétale.

Effets sur la biodiversité animale en milieux de grandes cultures

Les milieux de grandes cultures étant connus pour leur manque de milieux prairiaux et de diversité végétale, les insectes de tous ordres ont du mal à trouver un milieu propice à leur développement. C'est pourquoi des initiatives en faveur d'une biodiversité végétale comprenant des légumineuses pérennes ont été engagées pour maintenir et développer cette biodiversité animale. Nous présentons maintenant deux exemples en ce sens, dont l'un est mis en œuvre en région Champagne-Ardenne et l'autre en région Poitou-Charentes.

Une gestion différenciée des récoltes de luzerne en Champagne-Ardenne

La région Champagne-Ardenne est le berceau national de la luzerne en culture pure (environ 70 000 ha). La présence d'une industrie de déshydratation permet la récolte en vert de ce fourrage sous de nombreuses conditions climatiques (Beaudoin et Thiébeau, 2007), ce qui fournit un produit de haute qualité et valeur marchande. Partant de l'hypothèse que la luzerne est favorable à la biodiversité, la filière de déshydratation de luzerne, représentée par son syndicat Coop de France Déshydratation, et des associations de défense de la nature ont souhaité quantifier ces aménités, en collaboration avec le Muséum National d'Histoire Naturelle et Arvalis-Institut du Végétal, en 2009 et 2010. L'objectif est de tester l'impact d'une gestion différenciée des luzernes sur la biodiversité animale dans trois types de parcelles : une luzerne témoin (L. Tém.), conduite selon un calendrier de récolte à quatre coupes annuelle régi par l'industrie de la déshydratation (Beaudoin et Thiébeau, 2007) ; une luzerne dont la gestion est aménagée (L. Am.), avec une bande non récoltée une coupe sur deux (7 m de largeur, en bordure de champ dans la longueur) afin de permettre sa floraison ; enfin, une parcelle de blé d'hiver (Blé), conduite selon les itinéraires techniques de la région.

En 2009, l'étude a été réalisée sur 15 sites, répartis aléatoirement sur les Ardennes, la Marne et l'Aube, avec des luzernes en première année de production (A1). En 2010, l'étude a été poursuivie sur 11 sites : 8 luzernières A1 passées en A2 + 3 nouvelles luzernières A1. Cinq indicateurs de la biodiversité ont été suivis : les oiseaux, selon un protocole défini par la Ligue de Protection des Oiseaux (LPO) de Champagne-Ardenne ; les papillons de jour, criquets et sauterelles, et chauve-souris selon un protocole du Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) ; les abeilles domestiques, selon un protocole du réseau Biodiversité pour les Abeilles. Seuls les résultats des indicateurs « oiseaux » et « papillons » sont présentés ici. Les résultats mentionnent les termes « richesse », synonyme de nombre d'espèces répertoriées pendant toute la campagne d'observation, et « abondance », synonyme d'effectif comptabilisé.

Les oiseaux :

Se nourrissant de jeunes pousses végétales, de feuilles, de graines, d'insectes, parfois de la faune présente sur le sol, les oiseaux constituent un indicateur particulièrement pertinent d'une biodiversité végétale et animale en place. Seuls les résultats de 2009 sont présentés, ceux de 2010 n'ayant pas encore été exploités au moment de la rédaction de cet article.

Vingt-quatre espèces d'oiseaux ont été inventoriées sur au moins un des trois traitements. Parmi celles-ci, on en retrouve 11 sur culture de blé, 18 sur la luzerne témoin, et 20 sur la luzerne aménagée.

La distribution médiane, accompagnée des premier et troisième quartiles (boîte), encadrée des seuils à 5 et 95% des valeurs observées est présenté à la Figure 5. Le trait en gras correspond à la valeur moyenne. La richesse moyenne recensée est respectivement de 6.5, 5.2 et 4.0 sur luzerne aménagée, luzerne témoin et blé (± 0.5). L'analyse de variance de ces données montre que la différence est significative au seuil de 5% entre la « luzerne aménagée » et le « blé » ; elle est également significative au seuil de 10% entre la « luzerne témoin » et le « blé », tandis qu'elle n'est pas significative entre les deux traitements de luzerne. Ceci semble donc indiquer que la présence de luzerne a un intérêt pour la

diversité des oiseaux dans ces paysages de grandes cultures vis-à-vis de cultures annuelles, avec un intérêt plus marqué pour les luzernes aménagées.

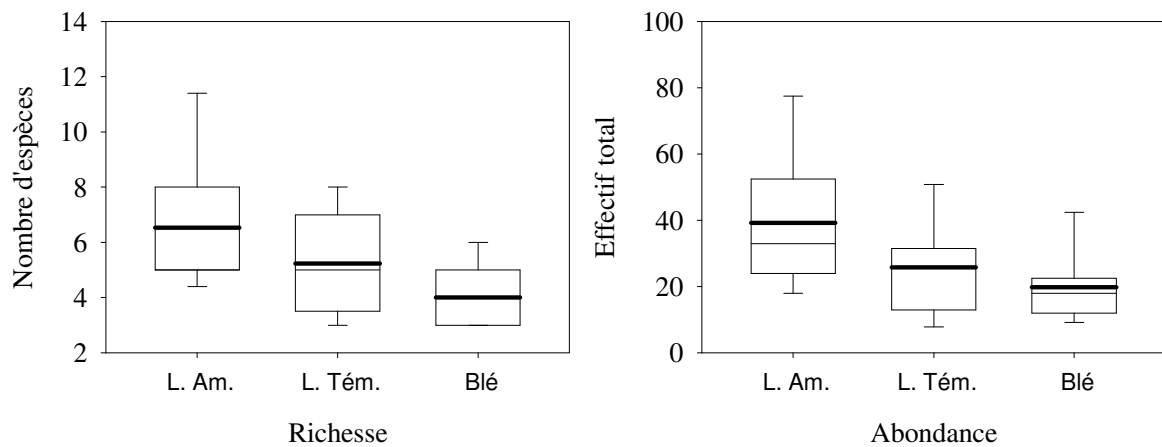


Figure 5 : Richesse et abondance d'oiseaux observés selon les modalités : luzerne aménagée, luzerne témoin et blé en 2009.

L'attrait plus élevé que procure la luzerne comparée au blé se répercute sur les effectifs de population recensés tout au long de la campagne d'observation : 510 individus comptabilisés sur « luzerne aménagée », 335 sur « luzerne témoin » et 258 sur « blé ». 80% de ces effectifs se concentrent autour de 5 espèces sur luzerne : il s'agit de l'alouette des champs (*Alauda arvensis* L.), du bruant proyer (*Emberiza calandra* L.), de la linotte mélodieuse (*Carduelis cannabina* L.), de la corneille noire (*Corvus corone* L.), et de la bergeronnette printanière (*Motacilla flava* L.). Cette valeur atteint 90% sur culture de blé, moins riche en espèces et en effectifs. L'effectif moyen est de 39 individus sur luzerne aménagée, contre 26 et 20 individus recensés respectivement sur « luzerne témoin » et « blé » (± 3.5). La différence se révèle significative au seuil de 5% entre la « luzerne aménagée » vis-à-vis des deux autres traitements dont la différence n'est pas significative entre eux (Figure 5).

La luzerne, en tendance, contribue donc à héberger davantage d'oiseaux qu'une céréale classique, le blé, et la différence est particulièrement intéressante pour les luzernes aménagées, qui représentent donc bien un bassin de nourriture pour la faune de ces campagnes de grandes cultures. Des nids ont été trouvés sur le sol des luzernes aménagées, permettant à ces couvées de pouvoir arriver à terme (sauf prédation). Ces premiers résultats devront faire l'objet d'autres campagnes d'observations pour être validés.

Les papillons de jour :

Cette analyse est limitée aux sites communs à 2009 et 2010 afin de ne pas introduire de biais lié aux sites, ce qui ne modifie pas les conclusions obtenues à partir de l'analyse des 15 situations de l'année 2009. En 2009 et 2010, respectivement 24 et 20 espèces de papillons ont été recensées. La diversité la plus basse (environ 10 espèces) se retrouve sur le témoin Blé, tandis que les luzernes, dont la « luzerne aménagée », recueillent un panel plus large (15 à 24 espèces).

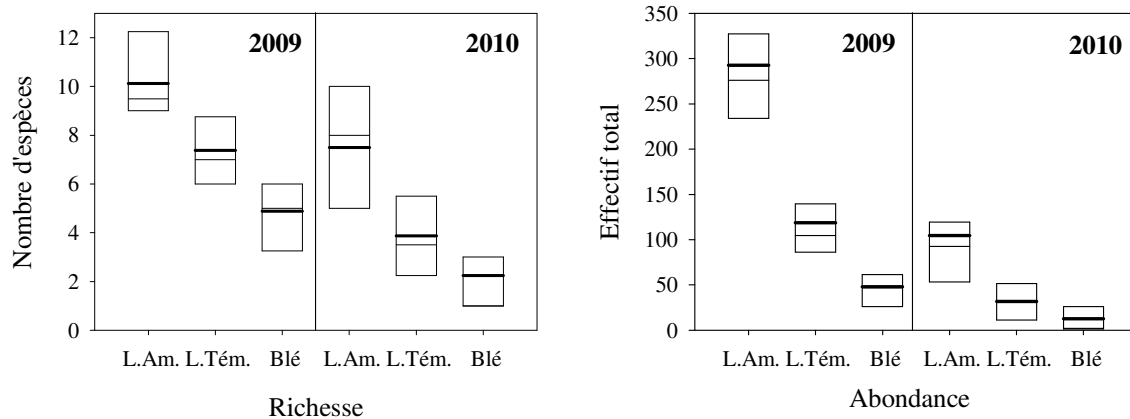


Figure 6 : Richesse et abondance de papillons de jour observés selon les modalités : luzerne aménagée (L.Am.), luzerne témoin (L.Tém.) et blé, sur sites identiques en 2009 et 2010.

Sur chaque site, la richesse moyenne recensée en 2009 et 2010 permet de distinguer chacun des traitements (Figure 6). L'analyse de variance ne montre pas d'interaction entre année et traitement, ce qui permet d'analyser chacun des facteurs séparément. L'effet année est « très hautement significatif » ($p < 0.001$), avec une richesse moyenne est de 7.5 en 2009 et de 4.6 en 2010 (± 0.4), ainsi qu'une différence significative entre chacun des traitements ($p < 0.01$) : la richesse moyenne est de 3.6 sur blé, 5.6 sur luzerne témoin et 8.8 sur luzerne aménagée (± 0.5).

En terme d'effectif de papillons recensés, 2009 a été, globalement, une année de très forte abondance pour les papillons (au contraire de 2010, année très mauvaise), dont *Vanessa cardui* L. a bénéficié particulièrement. En terme statistique, nous avons une interaction année x traitement ($p < 0.001$). Les différences sont significatives ($p < 0.01$) pour l'ensemble des traitements et facteurs étudiés à deux exceptions près : en 2010, on note l'absence de différence entre les effectifs de papillons sur le traitement blé et la luzerne témoin ; pour le blé, on note l'absence de différence entre les effectifs de 2009 et de 2010. Comme en 2009, 88% des effectifs de papillons ont été concentrés autour de 4 espèces, qui sont, par ordre décroissant d'importance : *Pieris rapae* L., *Polyommatus icarus* L., *Vanessa cardui* L. et *Pieris brassicae* L.. *Colias croceus* L. n'a plus été vu sur les 8 sites communs avec 2009 ; 3 individus ont été observés sur les autres sites de 2010, et uniquement sur luzerne aménagée.

La luzerne, en tendance, contribue donc à héberger davantage de papillons qu'une culture annuelle ; mais la différence se révèle particulièrement intéressante pour les luzernes aménagées qui représentent donc bien un bassin de nourriture pour des espèces comme *Vanessa cardui* L. et *Pieris rapae* L., mais aussi comme site de reproduction pour *Polyommatus icarus* L. La luzerne, dans ces paysages de grandes cultures, présente un intérêt réel sur la biodiversité, qu'accroît l'aménagement proposé.

La luzerne : un habitat pour la biodiversité ordinaire et patrimoniale dans les paysages agricoles intensifs de Poitou-Charentes

Dans les années 1950, l'Outarde canepetière (*Tetrax tetrax* L.) était un oiseau répandu en Poitou-Charentes et dans de nombreuses régions françaises. Parallèlement à la restriction de son aire de distribution (Villers *et al.* 2010), un déclin spectaculaire de ses effectifs a également été enregistré dans cette région (Jolivet et Bretagnolle, 2002). Ce constat a généré une action de partenariat entre les agriculteurs de la Zone Atelier « Plaine et Val de Sèvre » (plaine céréalière du Sud de Niort), les acteurs de la recherche et les collectivités, afin de stopper ce déclin et de recréer les conditions propices au maintien et au développement de l'espèce. Pour ce faire, une contractualisation a été mise en place

avec les agriculteurs afin de conduire des mesures ciblées (Contrats d'Agriculture Durable puis Mesures Agri-Environnementales). Ces mesures ont consisté, notamment, à réinstaller des surfaces en luzerne, culture pérenne choisie comme habitat pour la nidification par l'Outarde canepetière, à limiter l'emploi de pesticides, etc. Les études présentées ont pour objectif de suivre l'évolution des populations d'outardes en relation avec ses ressources alimentaires, évolution consécutive à la mise en place de ces contrats.

La Zone Atelier « Plaine et Val de Sèvre » est une zone de 450 km² située dans un territoire traditionnellement de polyculture élevage qui a récemment évolué vers une plaine céréalière intensive, où les cultures annuelles dominent. Ainsi, des années 1950 à maintenant, la proportion de terres occupées par les milieux prairiaux est passée de près de 80% à environ 10%. Ce site, fortement instrumentalisé depuis 1994, est le support d'un grand nombre de suivis sur l'occupation des sols des 19 000 parcelles qui le composent : suivis ornithologiques, entomologiques et botaniques. Il inclut une ZPS (Zone de Protection Spéciale) qui fait l'objet de contractualisations importantes avec les agriculteurs par la voie des Mesures Agri-Environnementales.

Depuis 1994, les populations d'Outarde canepetière ont été suivies chaque année sur l'ensemble de la zone d'étude grâce à la recherche et au comptage des mâles (les seuls à être visibles) in situ, toutes les 2 semaines durant la saison de reproduction (de fin mars à mi juillet). Il apparaît que, depuis 1994, les effectifs d'Outarde ont décliné de 80% (Bretagnolle *et al.*, 2011). La recherche des nids dans la zone d'étude chaque année, ainsi que leur devenir au cours de la saison, a permis d'établir que 62% d'entre eux sont situés dans des parcelles de luzerne, tandis que quelques pourcents le sont dans des cultures autres que les prairies : jachères et friches. Un peu plus de la moitié des nids parvient à l'éclosion, les autres nids étant soit abandonnés par les femelles (10%), soit l'objet de prédateurs (6%), soit, ce qui est le plus fréquent, détruits lors de récoltes mécaniques (plus de 30% des nids).

Les criquets sont une composante importante de la biodiversité des milieux prairiaux (Baldi et Kisbenedeck, 1999). Ils constituent un maillon central de la chaîne trophique, du fait de leur consommation d'herbes et de leur statut de proies pour un grand nombre d'espèces. Ainsi, un poussin d'Outarde a besoin d'environ 200 criquets par jour pendant 3 semaines pour devenir adulte. Afin d'établir la relation entre le déclin des populations d'outardes de la zone d'étude et leurs ressources alimentaires, nous avons déterminé chaque année la densité de criquets par m² de prairie sur la base de l'échantillonnage de 150 prairies de la zone d'étude à la date correspondant au pic de densité de leurs populations, c'est-à-dire de fin juillet à début août. Il en ressort que le nombre de poussins d'Outardes à l'envol chaque année est corrélé à la densité de criquets présents pendant le mois de juillet dans les prairies du site d'étude (Figure 7). Le développement des populations d'Outardes est donc directement lié à leur ressource alimentaire (Bretagnolle *et al.* 2011).

Des études précédentes (Badenhausser et Bretagnolle, 2005) ont montré que les densités de criquets dans les prairies de luzerne étaient beaucoup plus faibles que dans les prairies de graminées. Nos résultats montrent que ce sont les modes de gestion et d'exploitation de la luzerne qui ne sont pas favorables aux criquets. En effet, des études fines ont été réalisées pour évaluer l'effet des mesures agri-environnementales sur leurs densités, en s'appuyant sur un dispositif constitué de 2 lots de parcelles de luzerne âgées de 2 ans, soit sous contrat agri-environnemental, soit gérées de manière conventionnelle. Les résultats montrent que les parcelles de luzerne sous contrat agri-environnemental ont des effets très positifs pour les criquets, avec des densités 3 à 4 fois supérieures pour le taxon dominant et 4 à 13 fois supérieures pour un taxon moins fréquent (Figure 8). Il existe par ailleurs une relation significative entre les densités de criquets et le nombre d'espèces végétales dans les parcelles (Badenhausser *et al.*, 2008). Les mesures associées au contrat consistaient à ne faire aucune intervention dans la parcelle entre le 15 mai et le 31 août, c'est-à-dire principalement à ne pas subir la coupe de début d'été et à ne pas subir de traitement insecticide.

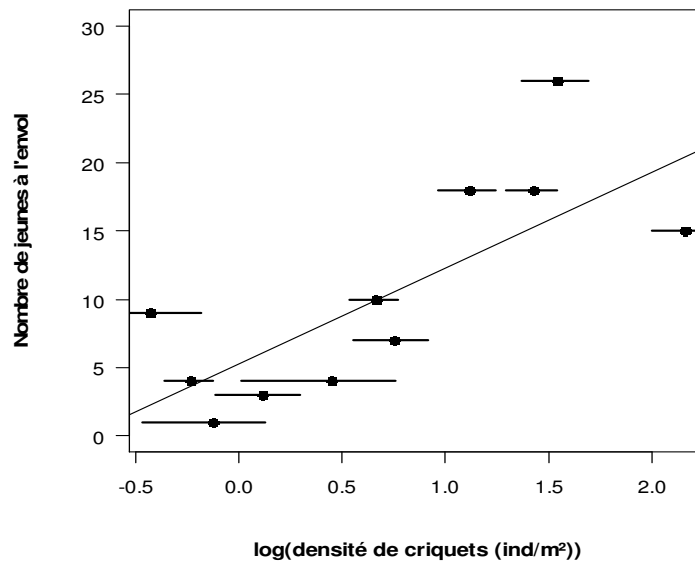


Figure 7 : Relation entre le nombre de jeunes d'Outardes canepetière à l'envol chaque année et la densité de criquets estimée au mois de juillet de chaque année dans les prairies de la zone d'étude (un point = une année depuis 1999).

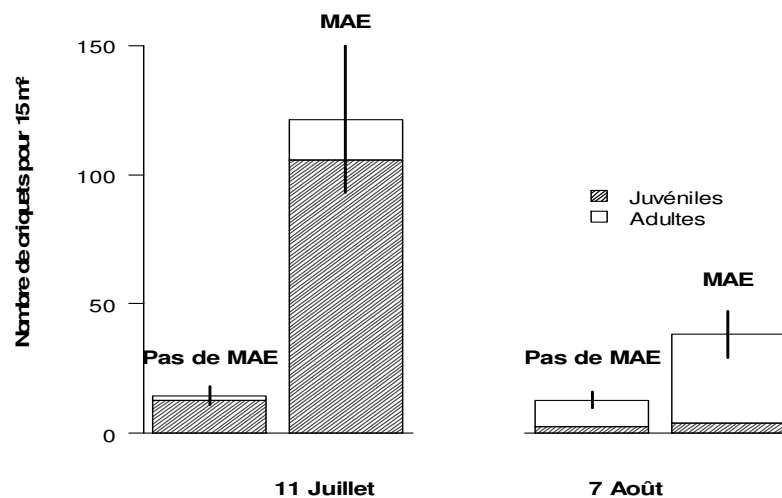


Figure 8 : Densité de criquets en 2006 dans des parcelles de luzerne sous contrat agri-environnemental et dans des parcelles gérées de manière conventionnelle de la zone atelier « Plaine et Val de Sèvre ».

La réinsertion de surfaces en luzerne dans la zone d'étude depuis 2003, accompagnée de mesures sur leurs modes de gestion et d'exploitation a permis d'augmenter de 50% les surfaces en luzerne entre 2005 et 2009. Ces mesures ont été efficaces car depuis 2007, près de 60% des nids sont localisés dans des parcelles sous contrats de la zone d'étude, et depuis 2003, les effectifs de mâles d'Outardes progressent significativement (Bretagnolle *et al.*, 2011), même si le nombre de jeunes à l'envol peut être faible les années défavorables aux criquets (2007 et 2008 par exemple).

Conclusion

Même si les évolutions des conduites des assolements ne permettent pas de revenir à un « état initial », qu'il faudrait déterminer, l'homme peut mettre en place des actions en tous domaines qui favorisent le retour à davantage de diversité, animale et végétale. Ce papier illustre avec plusieurs exemples les rôles directs et indirects des légumineuses dans la biodiversité végétale et animale, et expose comment les acquis récents de recherche sur les traits fonctionnels des espèces fournissent de nouveaux éléments pour mieux gérer et favoriser ces biodiversités aux échelles de la parcelle, de l'exploitation et du paysage.

Les actions conduites en régions de grandes cultures montrent que l'on atteint ces objectifs :

- En Champagne–Ardenne, l'adaptation des récoltes industrielles des luzernières, permettant à certaines d'entre-elles de fleurir, montre ses intérêts pour la biodiversité sur les plans qualitatifs et quantitatifs vis-à-vis de grandes cultures annuelles ;
- En Poitou-Charentes, le développement d'actions avec les agriculteurs a permis d'identifier les causes de la disparition de l'Outarde canepetière. Celles-ci apparaissent liées étroitement à la présence et à la gestion des parcelles de luzerne qui abritent de manière privilégiée les nids, les poussins et les adultes. Ainsi, on observe d'une part, la destruction de la moitié des nids durant les événements de fauche, et d'autre part, la raréfaction de leur ressource alimentaire principale, les criquets. La réintroduction de surfaces en luzerne gérées de manière extensive inverse la tendance, permettant à cette espèce d'oiseaux d'accroître ses effectifs.

Simultanément, l'introduction de luzernes dans les rotations contribue à la gestion des populations d'adventices, ce qui peut réduire l'emploi d'herbicides dans des grandes cultures suivantes. Ceci est lié au fait que la présence de la luzerne favorise le développement d'autres espèces végétales, dont la gestion est moins problématique pour les cultures annuelles, mais probablement aussi intéressantes pour le maintien des services écologiques des plantes.

En milieux prairiaux, les légumineuses assurent l'approvisionnement en azote du système, recyclé par les vers de terre et la biomasse microbienne des sols, contribuent à la biodiversité des insectes dont les pollinisateurs et les oiseaux (Broyer, 2001), et présentent des qualités d'adaptation et de résilience intéressante. L'optimisation de leur place dans les systèmes fourragers et dans les paysages est donc un domaine de recherche à approfondir, intégrant le fonctionnement agro-technique des exploitations et le fonctionnement des écosystèmes à différentes échelles (parcelles, exploitations et paysages).

Il serait intéressant :

- de savoir mieux gérer les prairies pour favoriser le développement des légumineuses, qui contribuent à la résilience et à l'adaptation des prairies aux aléas (Tilman, 1997, Adler 2001, Alard et Balent, 2007 ; Dumont *et al.*, 2010). Les recherches récentes sur les groupes et traits fonctionnels permettent d'améliorer la connaissance des mécanismes complexes mis en jeu dans ces écosystèmes. Ils fournissent également des pistes de recherches pour mieux s'inspirer des associations « naturelles » afin de créer des mélanges complexes d'espèces prairiales adaptés à différents contextes et enjeux (production, biodiversité, etc.).
- d'améliorer la valeur fourragère de ces associations : certaines espèces tel le sainfoin, présentant un grand intérêt fourrager mais souvent peu abondant en association, pourraient faire l'objet de travaux de sélection génétique, en utilisant la diversité des situations convenant à cette espèce.

Quoi qu'il en soit, les légumineuses contribuent indéniablement à la diversité des paysages de nos campagnes et de sa faune.

Références bibliographiques

- Adler F.R., Richards S.A., Roos A.M. de, 2001. Patterns of patch rejection in size-structured populations: beyond the ideal free distribution and size segregation. *Evolutionary Ecology Research* 3, 805-827
- Alard D., Balent G., 2007. Sécheresse: quels impacts sur la biodiversité en systèmes prairiaux et pastoraux ? *Fourrages* 190, 197-206.
- Albrecht H., 2005. Development of arable weed seedbanks during the 6 years after the change from conventional to organic farming. *Weed Res.* 45, 339-350.
- Alignier A., Meiss H., Petit S., Reboud X., 2008. Variation of post-dispersal weed seed predation according to weed species, space and time. *J. Plant Dis. Prot. Special Issue XXI*, 221-226.
- Badenhausser I., Chauvel B., Cosson J.F., Darmency H., Houte S., Lazrak E.G., Médiène S., Bretagnolle V., 2009. Réconcilier agriculture et environnement dans les paysages céréaliers. *Biofutur* 305, 27-30.
- Badenhausser I., Bretagnolle V., 2005. Grasshopper abundance in grassland habitats in western France. *Grassland Science in Europe* 10, 445-448.
- Badenhausser I., Médiène S., Paris Le Clerc N., Bretagnolle V., 2008. Effects of agri-environmental agreements on acridids and plant species richness in alfalfa crops. *Proceedings of the 21st General Meeting of the European Grassland Federation, Uppsala, Sweden, 9-12 June.*
- Baldi A., Kisbenedek T. 1999. Orthopterans in small steppe patches: an investigation for the best-fit model of the species-area curve and evidences for their non-random distribution in the patches. *Acta Oecologica* 20, 125-132.
- Balent G. Alard D., Blanfort V., Poudevigne I., 1999. Pratiques de gestion, biodiversité floristique et durabilité des prairies. *Fourrages* 160, 385-402
- Beaudoin N., Thiébeau P., 2007. Effet des passages de roués des engins de récolte sur la production de cultures de Luzerne. *Fourrages* 190, 237-250.
- Bellinder R.R., Dillard H.R., Shah D.A., 2004. Weed seedbank community responses to crop rotation schemes. *Crop Prot.* 23, 95-101.
- Bretagnolle V., Villers A., Denonfoux L., Cornulier T., Inchausti P., Badenhausser I., 2011. Rapid recovery of a depleted population of Little Bustards *Tetrax tetrax* following provision of alfalfa through an agri-environmental scheme. *Ibis* 153, 4-13.
- Broyer J., 2001. Plaidoyer pour une politique européenne en faveur des écosystèmes prairiaux. *Courrier de l'Environnement de l'INRA* 43, 41-50.
- Carrère P., Dumont B., Cordonnier S., Orth D., Teyssonneyre F., Petit M., 2002. L'exploitation des prairies de montagne peut-elle concilier biodiversité et production fourragère ? In « Actes du colloque Moyenne montagne en devenir : développement agricole et agroalimentaire », INRA-ENITA, Lempdes, 14-15 nov 2002, 41-46.
- Cluzeau D., Binet F., Vertès F., Simon J.C., Rivière J. M., Tréhen P., 1992. Effects of intensive cattle trampling on soil-plant-earthworms system in two grassland types. *Soil Biology and Biochemistry*, 24, 1661-1665.
- 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. *J. Ecol.* 97, 864-875.
- de Foucault B., 1992. Les apports de la phytosociologie au pastoralisme. *Fourrages* 130, 211-221.
- Decourtye A., Lecompte P., Pierre J., Chauzat M.P., Thiébeau P., 2007. Introduction de jachères florales en zones de grandes cultures : comment mieux concilier agriculture et apiculture ? *Courrier de l'Environnement de l'INRA* 54, 33-56. (<http://www.inra.fr/dpenv/pdf/DecourtyeC54.pdf>)
- Decourtye A., Odoux J.F., Cluzeau-Moulay S., 2008. Influence des aménagements floristiques sur les abeilles. *Bulletin Technique Apicole* 35, 114-123.
- Decourtye A., Bouquet C., 2010. Une gestion des couverts herbacés favorable aux abeilles et à la petite faune de plaine. *Fourrages* 202, 117-124.

- Delpech R., 1963. Contribution à l'étude de l'influence des techniques d'exploitation et de fertilisation sur l'évolution d'un peuplement prairial d'un semis complexe. CR Ac. Agric., tome XLIX, 1306-1318
- Diquélou S. Simon J.C., Leconte 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. (http://www.inra.fr/ciag/revue_innovations_agronomiques)
- Dumont B., Meuret M., Boissy A., Petit M., 2001. Le pâturage vu par l'animal : mécanismes comportementaux et applications en élevage. Fourrages 166, 213-238.
- Dumont B., Carrère P., D'hour P., 2002. Foraging in patchy grasslands: diet selection by sheep and cattle is affected by the size and horizontal distribution of preferred patches. Anim. Res. 51, 367-381.
- Dumont B., Farruggia A., Garel J.P., 2008. La biodiversité dans les estives du Cantal. Inra Magazine 4, 7.
- Dumont B., Carrère P., Rossignol N., Chadoeuf J., Farruggia A., Ginane C., Louault F., 2010. Selective grazing, patch stability and vegetation dynamics in a rotationally-grazed pasture. Grassland Science in Europe 15, 937-939
- Duru M., Hazard L., Jeangros B., Mosimann E., 2001. Fonctionnement de la prairie pâturée : structure du couvert et biodiversité. Fourrages 166, 165-188.
- Eisenhauer N., Milcu A., Nitschke N., Sabais ACV., Scherber C., Scheu S., 2009. Earthworm and belowground competition effects on plant productivity in a plant diversity gradient. Oecologia 161, 291-301.
- Farruggia A., Dumont B., Carrère P., Petit M., 2004. Contribution of herbivores to environmental management and conservation of biodiversity. Conference proceedings of International Society for Animal Hygiene congress, St Malo. October 11- 13 2004. Edited by AFSSA & ISPAIA. 59-60
- 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
- Ginane C., Dumont B., Baumont R., Prache S., Fleurance G., Farruggia A., 2008. The benefits of understanding the grazing behaviour of herbivores for the management of livestock and for the environment. Proceedings 15èmes Rencontres Recherches Ruminants, Paris, 3-4 décembre, 315-322
- Heggenstaller A.H., Liebman M., 2006. Demography of *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi* in three crop rotation systems. Weed Res. 46, 138-151.
- Herben T., Huber-Sannwald E., 2002. Effect of management on species richness of grasslands: sward-scale processes lead to large-scale patterns. Grassland Science in Europe 7, 635-643
- Huyghe C., 2009. La multifonctionnalité des prairies en France. II. Conciliation des fonctions de production et de préservation de l'environnement. Cahiers d'Agricultures 18, 7-16.
- Jolivet C., Bretagnolle V., 2002. L'Outarde canepetière en France : évolution récente des populations, bilan des mesures de sauvegarde et perspectives d'avenir. Alauda 70, 93-96.
- 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/l_institut/expertise/expertises_realisees/agriculture_et_biodiversite__1)
- Liebman M., Dyck E., 1993. Weed Management. A need to develop ecological approaches. Ecological Applications 3 (1), 39-41.
- Loiseau P., Louault F., L'Homme G., 1998. Gestion d'écosystèmes pâturés en situations extensives: apports de l'écologie fonctionnelle et perspectives de recherches appliquées en moyenne montagne humide. Ann. Zootech. 47, 395-406.
- Louault F., Soussana J.F., Perrodin M., 2002. Long-term effects of a reduced herbage use in a semi-natural grassland. I. Plant functional traits and plant response groups. Grassland Science in Europe 7, 338-339

- Louault F., Pillar V.D., Aufrere J., Garnier E., Soussana J.-F., 2005. Plant traits and functional types in response to reduced disturbance in a semi-natural grassland. *J. of Vegetation Science* 16, 151-160
- Mariott C.A., Carrère P., 1998. Structure and dynamics of grazed vegetation. *Ann. Zoot.* 47, 359-370.
- Meiss H., Munier-Jolain N., Henriot F., Caneill J., 2008. Effects of biomass, age and functional traits on regrowth of arable weeds after cutting. *J. Plant Dis. Prot. Special Issue XXI*, 493-499.
- Meiss H., Bonnot R., Strbik F., Waldhardt R., Caneill J., Munier-Jolain N., 2009. Cutting and competition reduce weed growth: additive or interactive effects? XIIIth International Conference on Weed Biology, Dijon, France, pp. 28-37.
- Meiss H., 2010. Diversifying crop rotations with temporary grasslands: potentials for weed management and farmland biodiversity. PhD-thesis, Institut National de la Recherche Agronomique & Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement. Université de Bourgogne, France & Justus-Liebig-Universität Gießen, Germany, 233 p.
- Meiss H., Médiène S., Waldhardt R., Caneill J., Munier-Jolain N., 2010a. Contrasting weed species composition in perennial alfalfas and six annual crops: implications for Integrated Weed Management. *Agron. Sustain. Dev.* 30, 657-666.
- Meiss H., Médiène S., Waldhardt R., Caneill J., Bretagnolle V., Reboud X., Munier-Jolain N., 2010b. Perennial alfalfa affects weed community trajectories in grain crop rotations. *Weed Res.* 50, 331-340.
- Meiss H., Lagadec L.L., Munier-Jolain N., Waldhardt R., Petit S., 2010c. Weed seed predation increases with vegetation cover in perennial forage crops. *Agric. Ecosyst. Environ.* 138, 10-16.
- Meuret M., Bruchou C., 1994. Modélisation de l'ingestion selon la diversité des choix alimentaires réalisés par la chèvre au pâturage sur parcours. *Renc. Rech. Rumin.* 1, 225-228
- Milcu A., Partsch S., Scherber C., Weisser W.W., Scheu S., 2008. Earthworms and legumes control litter decomposition in a plant diversity gradient. *Ecology* 89, 1872-1882
- Nazarko O.M., Van Acker R.C., Entz M.H., 2005. Strategies and tactics for herbicide use reduction in field crops in Canada: A review. *Can. J. Plant Sci.* 85, 457-479.
- Parsons A.J., Newman J.A., Penning P.D., Harvey A., 1994. Diet preference of sheep: effects of recent diet, physiological state and species abundance. *Journal of Animal Ecology* 63, 465-478
- Plantureux S., Bonischot R., Gückert A., 1993. Classification, vegetation dynamics and forage production of permanent pastures in Lorraine. *Eur. J. Agron.* 2, 11-17
- Plantureux S., Amiaud B., 2010. e-FLORA-sys, a website tool to evaluate the agronomical and environmental value of grasslands. *Grassland Science in Europe* 15, 732-737
- Pointereau P., 2001. Légumineuses : quels enjeux écologiques ? *Courrier de l'Environnement de l'INRA* 44, 69-72.
- Robinson R., Sutherland W., 2002. Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *J. Appl. Ecol.* 39, 157-176.
- Sebillotte M., 1980. Rôles de la prairie dans la succession culturale. *Fourrages* 83, 79-124.
- Sjursen H., 2001. Change of the weed seed bank during the first complete six-course crop rotation after conversion from conventional to organic farming. *Biol. Agric. Hort.* 19, 71-90.
- Smith R.G., Gross K.L., 2007. Assembly of weed communities along a crop diversity gradient. *J. Appl. Ecol.* 44, 1046-1056.
- Teasdale J.R., Mangum R.W., Radhakrishnan J., Cavigelli M.A., 2004. Weed seedbank dynamics in three organic farming crop rotations. *Agron. J.* 96, 1429-1435.
- 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. (<http://www.inra.fr/dpenv/thieb49.htm>)
- Thiébeau P., Lô-Pelzer E., Klumpp K., Corson M., Hénault C., Bloor J., de Chezelles E., Soussana J.F., Lett J.M., Jeuffroy M.H., 2010. Conduite des légumineuses pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle de la culture et de l'exploitation agricole. *Innovations Agronomiques* 11, 45-58. (http://www.inra.fr/ciag/revue_innovations_agronomiques)

Tilman D., 1997. Community invasibility, recruitment limitation, and grassland biodiversity. *Ecology* 78, 81-92

Vertès F., Annezo J.F., 1989. Pérennité des associations ray-grass anglais - trèfle blanc en Bretagne. 16. Congrès International des Herbages, Nice, Ed. AFPP Versailles Vol.II, pp 1425-1426

Vertès F., 1989. Effets du piétinement des bovins sur le trèfle blanc pur ou en association. 16^{ème} congrès international des Herbages, Nice, pp 1063-1064.

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, 25-44.

Villers A., Millon A., Jiguet F., Lett J.M., Attie C., Morales M.B., Bretagnolle V., 2010. Migration of wild and captive-bred Little Bustard *Tetrax tetrax*: releasing birds from Spain threatens attempts to conserve declining French populations. *Ibis* 152, 254-261.

Wallis De Vries M. F., Tallowin J.R.B., Dulphy J.P., Sayer M., Diana E., 2004. Effects of livestock breed and stocking rate on sustainable grazing systems: 5. Short-term effects on fauna. *Grassland Science in Europe* 9, 626-628