

L'expérience de Jena démontre les avantages de la diversité végétale pour les prairies agricoles

M. Fischer^{1,2}, T. Rottstock², E. Marquard³, C. Middelhoff³, C. Roscher³, V.M Temperton^{3,4},
Y. Oelmann⁵, A. Weigelt⁶, et le consortium de l'expérience de Jena

1: Institute of Plant Sciences, University of Bern (Suisse) ; Markus.Fischer@ips.unibe.ch

2: Institute of Biochemistry and Biology, University of Potsdam (Allemagne)

3: Max-Planck-Institute of Biogeochemistry, Jena (Allemagne)

4: Phytosphere ICG-3 Institute, Forschungszentrum Jülich, Jülich (Allemagne)

5: Geographic Institute, University of Mainz (Allemagne)

6: Institute for Ecology, University of Jena (Allemagne)

Résumé

Selon des études théoriques et expérimentales, il a récemment été suggéré que de nombreux processus écologiques pertinents à l'agriculture sont non seulement affectés par la présence d'une espèce ou d'un groupe fonctionnel particulier, telles les graminées et les légumineuses, mais aussi stimulés davantage par la diversité en espèces et en groupes fonctionnels. L'expérimentation de Jena comprend des parcelles d'herbages variant de 1 à 60 espèces. De plus, les divers sous-projets de cette expérience traitent des effets de la composition et diversité de la communauté sur la production, la résistance à l'invasion, aux animaux, aux champignons et micro-organismes ainsi que sur le cycle des éléments. Depuis le début de l'expérience de Jena en 2002, les parcelles expérimentales ont été entretenues par désherbage et fauchage. Les résultats des 6 dernières années démontrent clairement que plusieurs processus écologiques sont affectés par la présence ou l'absence de graminées et légumineuses, mais que ces effets ne sont pas plus importants que les effets de la diversité en espèces ou en groupes fonctionnels. L'intérêt particulier pour l'agriculture sont les relations positives entre le nombre des espèces et/ou la diversité fonctionnelle avec la production, la résistance à l'invasion, la prévalence de pathogènes et les cycles d'éléments nutritifs. Nous concluons que les effets positifs de la diversité sur les processus à l'échelle de l'écosystème pertinents à l'agriculture offrent de nouvelles possibilités pour la gestion agricole avec des effets avantageux à la fois pour la prairie individuelle et pour l'impact environnemental général.

1. L'intérêt de la relation entre la diversité biologique et les processus à l'échelle de l'écosystème pour les prairies agricoles

Il est reconnu que la productivité des prairies et le système de culture affectent la composition et la diversité des communautés végétales (ELLENBERG, 1996). Ainsi, en plus de l'ensemencement, la composition et la diversité d'espèces des prairies agricoles sont considérées comme étant déterminées par l'environnement.

Durant les années précédentes, on a aussi étudié comment, dans un environnement, la composition et la diversité d'une prairie affectent les processus à l'échelle de l'écosystème, en particulier la production de biomasse. Effectivement, plusieurs expériences ont démontré une relation positive entre la productivité et la diversité en espèces d'une communauté (BALVANERA *et al.*, 2006). Selon HECTOR *et al.* (1999), une diminution de 50% de la diversité en espèces des plantes réduirait la productivité par aire de surface de 10 à 20%.

Pour de nombreuses raisons, ces résultats et leur intérêt pour l'agriculture sont toujours débattus. D'une part, on se demande s'ils sont vraiment pertinents parce qu'ils sont basés sur des scénarios d'extinction aléatoires, où les espèces des prairies de plus basse diversité sont un sous-échantillon aléatoire des espèces se retrouvant sur des sites à diversité élevée. En milieu agricole, l'extinction n'est probablement pas aléatoire, car elle affecte d'abord les espèces dominées.

D'autre part, même si une augmentation de la diversité en espèces augmente effectivement la productivité, il est toujours possible que cet effet ne soit pas lié à la diversité en espèces elle-même mais plutôt à l'augmentation de la probabilité d'avoir plus de groupes fonctionnels (GRIME, 1997 ; SCHMID *et al.*, 2002 ; BALVANERA *et al.*, 2006). On pourrait alors conclure que le nombre d'espèces à l'intérieur d'un groupe fonctionnel est redondant.

Finalement, alors que la production est importante, ce n'est pas le seul processus pertinent dans ces écosystèmes. Il faut également prendre en compte d'autres processus, tels que la stabilité des populations, les invasions végétales, les infestations de pathogènes, les interactions avec les pollinisateurs ou le stockage d'azote et de carbone, qui sont affectés par la diversité des espèces et des groupes fonctionnels (DAILY, 1997 ; HOOPER *et al.*, 2005 ; BALVANERA *et al.*, 2006). Pour aborder ces questions, l'expérience de Jena a été conçue en 2002 : une expérience à grande échelle et à long-terme concernant les effets de la diversité des communautés végétale sur la diversité d'autres organismes et sur plusieurs processus écologiques (Tableau 1).

TABLEAU 1 – Les sous-projets de l'expérience de Jena. Voir <http://www2.uni-jena.de/biologie/ecology/biodiv/> pour de plus amples informations.

Sous-projet	Chercheurs principaux	Sujet de recherche
Z	Wolfgang W. Weisser (University of Jena) ; Ernst-Detlef Schulze (Max-Planck Institute for Biogeochemistry, Jena)	Coordination
1	Wolfgang W. Weisser, Winfried Voigt (University of Jena)	Consommateurs invertébrés
3	Nina Buchmann (ETH Zurich) ; Ernst-Detlef Schulze, Bernhard Schmid (University of Zurich)	Traits fonctionnels et plasticité des plantes
4	Christof Engels (Humboldt University Berlin)	Racines
5	Stefan Scheu (University of Darmstadt)	Faune du sol
7	Wolfgang Wilcke (University of Mainz)	Cycle des nutriments du sol
8	Gerd Gleixner (Max-Planck Institute for Biogeochemistry, Jena)	Stockage de carbone dans le sol
10	Ernst-Detlef Schulze, Bernhard Schmid, Michael Scherer-Lorenzen (ETH Zurich)	Processus d'assemblage des communautés
11	Francois Buscot, Carsten Renker (University of Leipzig)	Mycorhizes arbusculaires et champignons du sol
12	Markus Fischer, Volker Kummer (University of Bern, University of Potsdam)	Pathogènes fongiques foliaires et variation génétique végétale
13	Stefan Halle (University of Jena)	Petits rongeurs
14	Teja Tscharntke (University of Göttingen)	Pollinisateurs et leurs réseaux
15	Christian Wirth (Max-Planck Institute for Biogeochemistry, Jena)	Modélisation des cycles biogéochimiques et dynamique des populations végétales

Plusieurs questions soulevées dans les paragraphes précédents sont communes à l'expérimentation de Jena et au programme français ANR DISCOVER, coordonné par J.F. SOUSSANA, l'objectif de ce programme étant aussi d'analyser et de modéliser le rôle fonctionnel de la diversité végétale et ses conséquences sur la dynamique de l'écosystème prairial. Ces deux unités de recherche sont complémentaires : à Jena, on fait varier la diversité végétale alors que, dans DISCOVER, on applique divers régimes d'exploitation.

2. L'expérimentation de Jena

L'expérience de Jena comprend 4 différentes sous-expériences dont chacune s'intéresse à une question particulière (Figure 1). Les détails du dispositif expérimental sont publiés dans ROSCHER *et al.* (2004).

– Le site expérimental

Le site expérimental est situé sur un fluvisol eutrique dépourvu de pierres, développé à partir de sédiments fluviaux de 2 m d'épaisseur sur la plaine d'inondation de la rivière Saale (altitude 130 m) au nord de la ville de Jena (Jena-Löbstedt, Thuringia, Allemagne). La température annuelle moyenne de l'air à la station météorologique, située à 3 km au sud du site expérimental, est de 9,3°C (1961-1990) et la moyenne annuelle des précipitations est de 587 mm (KLUGE et MÜLLER-WESTERMEIER, 2000). Le site, anciennement en prairie, a été labouré au début des années 1960 (HUNDT, 1961) et fortement fertilisé durant les dernières décennies pour la production de légumes et de blé (ROSCHER *et al.*, 2004).

FIGURE 1 – Vue aérienne de l'expérience de Jena en 2003. L'expérience principale s'est déroulée sur les grandes parcelles et a été répliquée sur des petites parcelles. De plus, les petites parcelles contiennent des monocultures de toutes les 60 espèces de l'expérience. L'expérience de dominance a aussi été réalisée à petite échelle sur les petites parcelles.



– La communauté végétale expérimentale

La communauté végétale cible de l'expérience est une prairie mésophile semi-naturelle, riche en espèces (prairie *Molinio-Arrhenatheretea*, communauté à *Arrhenatherion* ; ELLENBERG, 1996). À l'origine ces prairies ont été gérées pour la production de foin et fauchées 2 à 3 fois par année. Soixante espèces ont été sélectionnées pour l'expérience à base de recensements de communautés semblables en Europe centrale (FRANK et KLOTZ, 1990 ; ELLENBERG *et al.*, 1992), grâce à des études phytosociologiques qui ont eu lieu dans la plaine alluviale de Jena (HUNDT, 1958 ; SCHWARZE, 1993 ; UTHLEB, 1995), ainsi que des connaissances personnelles de la végétation régionale. Comme ces prairies contiennent typiquement peu de légumineuses, nous en avons ajouté quelques espèces (*Medicago x varia*, *Onobrychis viciifolia*, *Trifolium hybridum* et *Trifolium fragiferum*).

Les analyses multivariées ainsi que les techniques de classification, appliquées à toutes les caractéristiques de ces 60 espèces, ont produit les 4 groupes fonctionnels suivants:

- "Graminées" (16 espèces) : ce groupe comprend les Poacées et *Luzula campestris* (*Juncaceae*). Les traits communs sont un cycle pérenne (à l'exception de *Bromus hordeaceus*), une racine primaire de courte durée, une croissance cespiteuse et des feuilles hivernales vertes.

- "Légumineuses" (12 espèces) : ce groupe comprend les espèces et cultivars de la famille des légumineuses.

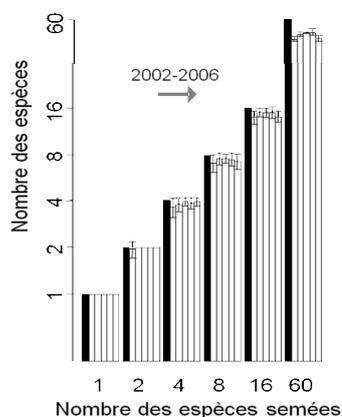
- "Petites dicotylédones herbacées" (12 espèces) : ce groupe comprend toutes les dicotylédones herbacées de petite stature. En plus d'une canopée basse, toutes ces espèces ont des feuilles hivernales vertes (sauf *Leontodon hispidus*) et un cycle de vie pérenne.

- "Grandes dicotylédones herbacées" (20 espèces) : ce groupe comprend les dicotylédones herbacées à hauteur moyenne et grande. Selon ELLENBERG et MUELLER-DOMBOIS (1967), leur croissance est pour la plupart "semi-rosulata"¹ ; les autres traits sont plutôt variables d'une espèce à l'autre.

– L'expérience principale à grande échelle

Cette expérience traite les questions principales du projet. Elle consiste en 90 parcelles de 20 m x 20 m comprenant 1, 2, 4, 8, 16 et 60 espèces appartenant à 1, 2, 3 ou 4 groupes fonctionnels par parcelle. Comparée aux expériences précédentes, celle-ci maintient une gamme de fréquence de groupes fonctionnels même lorsque la richesse en espèces est plutôt élevée, soit de 4, 8 et 16 espèces. Ceci permet de séparer l'effet de la richesse en groupes fonctionnels de l'effet de la richesse en espèces. Les espèces ont été semées en 2002 et les espèces ne figurant pas dans l'expérience ont été enlevées des parcelles, permettant une très bonne comparaison entre la richesse en espèces voulue et réalisée (Figure 2)

FIGURE 2 – Le nombre d'espèces réalisées correspond aux nombres d'espèces semées initialement.



– Monocultures pour toutes les espèces de l'expérience principale à petite échelle

Comme seulement 16 espèces existent en monocultures à grande échelle, toutes les 60 espèces sont cultivées en monocultures répliquées, à petite échelle (3,5 m x 3,5 m). Au total, 120 petites parcelles ont servi pour les monocultures (en plus des 16 grandes parcelles faisant partie de l'expérience principale).

– Répétition identique de l'expérience principale à petite échelle

Pour déterminer la variabilité intercommunautaire et sa dépendance sur la diversité, en plus du mélange de 60 espèces, toutes les communautés de 1-16 espèces ont été identiquement répétées sur des petites parcelles (3,5 m x 3,5 m).

¹ Rosulata : selon ELLENBERG et MUELLER-DOMBOIS (1967), ce terme désigne des espèces ayant une rosette et des tiges sans feuilles.

– L'expérience de dominance à petite échelle

L'expérience de dominance a été conçue afin de démêler les effets directs de la richesse en espèces des effets de la présence ou de l'absence d'une espèce particulière. Les parcelles (3,5 m x 3,5 m) contiennent 9 espèces qui dominent typiquement dans les communautés à *Arrhenatherion*. Par conséquent, cette expérience sert de témoin à l'expérience principale, en démontrant si les effets de la diversité sont visibles seulement sur les sites où il y a une grande richesse en espèces (incluant des espèces dominées et rares) ou si on observe les mêmes effets sur les parcelles comprenant les 9 espèces dominantes seulement.

– Mesures et analyses

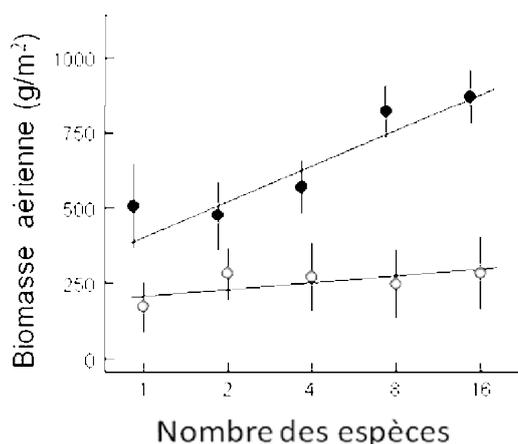
Jusqu'à la fin 2007, un total de 433 ensembles de données sur la diversité des groupes différents, sur l'interaction biologique et sur les pools et flux de nutriments et d'autres éléments a été obtenu, incluant plusieurs variables qui ont été mesurées pour une série d'années et de saisons. Ces variables ont été analysées pour les effets de la présence et absence de légumineuses et graminées dans la communauté. Pour les variables qui ont été mesurées au niveau de l'espèce végétale, telles que la biomasse aérienne par espèce, nous avons calculé si l'effet "biodiversité nette" résulte de la complémentarité entre les espèces ou des effets de la sélection (HECTOR et LOREAU, 2001). Dans ce dernier cas, les effets de la diversité seraient dus principalement à la présence d'un faible nombre d'espèces à haute performance. Dans le cas des effets dus à la complémentarité, plusieurs espèces auraient de meilleures performances dans les communautés à haute richesse que dans les communautés moins riches en espèces.

3. Les effets de la composition végétale sur la communauté : présence ou absence de légumineuses et graminées

Des 433 variables, 26,8% ont été affectées par la présence ou l'absence de légumineuses et 10,8% par la présence ou l'absence de graminées (Tableau 2), démontrant l'importance de la composition végétale des prairies pour les processus écologiques.

De ces effets de la composition de la communauté, l'effet le plus important est celui de la présence ou de l'absence de légumineuses. La présence de légumineuses a augmenté la biomasse totale (Figure 3, Sous-Projets Z, 10 : voir Tableau 1 pour une description des différents sous-projets) et a diminué la biomasse et la densité des racines (SP 4). De plus, il a augmenté l'invasibilité de la communauté (en termes de nombre d'espèces invasives, de nombre d'individus invasifs et de la biomasse invasive ; SP 3, SP 10).

FIGURE 3 – L'effet de la présence (symbole plein) ou absence (symbole ouvert) des légumineuses. La biomasse aérienne était plus élevée lorsqu'il y avait présence de légumineuses sur la parcelle ainsi que lorsque les analyses ont été corrigées pour la biomasse des légumineuses elle-même. De plus, l'effet légumineuse était proportionnel à la diversité en espèces de la communauté.



La présence de légumineuses sur les parcelles a aussi eu un effet sur les communautés animales et microbiennes, en augmentant la biomasse et la densité de vers de terre, la densité des espèces des genres Chilopoda et Polydesmidae, la biomasse microbienne et le nombre de nématodes s'alimentant de bactéries (SP 5). De plus, la présence des légumineuses a affecté les interactions biologiques : elle a augmenté la consommation de végétaux par les insectes, tout en diminuant le nombre de fourmis et les interactions puceron-fourmis (SP 1).

Finalement, la présence des légumineuses a bien sûr influencé les relations avec l'azote, menant à une augmentation du taux d'azote fixé, de la séquestration d'azote chez les plantes (SP 3) et des concentrations d'azote dans le sol (SP 7).

Contrairement aux effets des légumineuses, la présence des graminées sur les parcelles a augmenté la résistance de la communauté face aux plantes invasives (SP Z, 3, 10) et a augmenté la production de biomasse des racines et la densité des racines (SP 4). De plus, la présence des graminées a augmenté la survie et la fécondité des sauterelles (SP 1), tout en diminuant le nombre de diplopodes, le nombre de nématodes s'alimentant de bactéries, et la biomasse de vers de terre et micro-organismes (SP 5). Finalement, la présence des graminées a augmenté la décomposition de la litière et la respiration microbienne (SP5), mais a diminué le taux d'azote disponible dans le sol (SP 7).

D'un point de vue agricole, la présence de légumineuses et de graminées a eu à la fois des effets désirables et indésirables. Quelques effets étaient contraires pour ces deux groupes d'espèces, soutenant l'opinion que des espèces des deux groupes devraient être plantées en combinaison.

4. Effets de la diversité végétale de la communauté : richesse d'espèces et groupes fonctionnels

Des 433 variables, 18,8% ont été affectées par la diversité d'espèces et 20,6% par le nombre de groupes fonctionnels présents dans la communauté (Tableau 2). Ces proportions suggèrent que les effets de la diversité sont aussi importants que les effets de la composition végétale mentionnée ci-dessus.

TABLEAU 2 – Résumé des effets de la composition de la communauté et la diversité pour 433 processus variables mesurés dans l'expérience principale. La table fournit la proportion des tests significatifs aux niveaux 5% et 1%, corrigés par les tests multiples.

Facteurs	Proportion des tests avec P < 0,05	Proportion des tests avec P < 0,01
Richesse en groupes fonctionnels	20,6%	8,4%
Richesse en espèces végétales	18,8%	9,4%
Présence des légumineuses	26,8%	24,2%
Présence des graminées	10,8%	2,8%

La diversité en espèces joue un grand rôle dans les communautés végétales. Celle-ci a augmenté la biomasse aérienne et la productivité totale dans les principales expériences de dominance (Figure 4 ; SP Z, 10). Ces effets sont largement dus à la complémentarité entre les espèces, c'est-à-dire à une meilleure performance en culture mixte qu'en monoculture, et non parce que peu d'espèces de bonne performance dominent les parcelles les plus riches (ROSCHER *et al.*, 2005). De plus, une plus grande diversité en espèces a diminué le ratio de la biomasse racinaire/aérienne (SP 4). Une augmentation de la richesse en espèces a augmenté le nombre de plantules d'espèces résidentes émergentes, la densité végétale (SP 3, 10) et le nombre de graines viables dans la couche arable (SP 10). En même temps, elle a diminué le nombre d'espèces invasives, le nombre d'individus invasifs et la biomasse des plantes invasives (SP 5, 10). En récapitulant, les communautés ayant plus d'espèces végétales étaient plus productives, plus denses et plus résistantes à l'invasion.

La diversité en espèces a aussi affecté les animaux, champignons et micro-organismes. Elle a augmenté la diversité des pollinisateurs (SP 14), des insectes (SP 1), des pathogènes fongiques foliaires (SP 12), la biomasse et la densité des vers de terre, la diversité des nématodes, la densité des espèces du genre Chilopoda et la biomasse microbienne (SP 5). Ces effets ont été accompagnés par

des effets sur les interactions biologiques. La diversité en espèces a augmenté le contrôle des pucerons par leur ennemis naturels (SP 1) et a diminué le taux d'infestation par des pathogènes fongiques foliaires (Figure 5 ; SP 12). Même si le nombre d'espèces de pathogènes fongiques foliaires a augmenté avec le nombre d'espèces végétales, la proportion d'individus affectés a diminué avec la diversité végétale. La diversité en espèces a aussi affecté les pools et flux de nutriments et d'autres éléments (Figure 6). Elle a augmenté les flux de CO₂ du sol (SP 3), la respiration microbienne (SP 5) et les taux d'azote dans la biomasse foliaire. Elle a diminué la quantité d'azote inorganique disponible dans le sol et la solution du sol (SP Z, 7), la quantité d'azote organique dans la solution du sol et la disponibilité de P inorganique (SP 7). De plus, elle a augmenté les stocks de carbone et d'azote dans le sol (SP 7, 8) et l'efficacité de l'usage de l'azote par les parties aériennes de la plante (SP 3).

FIGURE 4 – La biomasse aérienne a augmenté avec la richesse en espèces pour toutes les années.

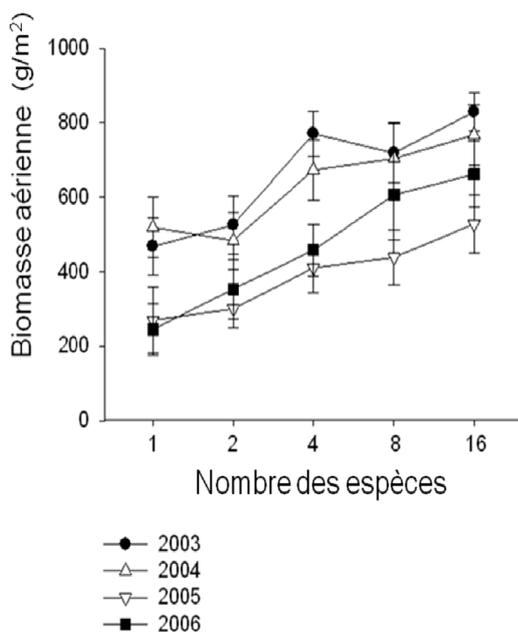


FIGURE 5 – La proportion d'infection par des pathogènes fongiques foliaires a diminué avec la diversité d'espèces.

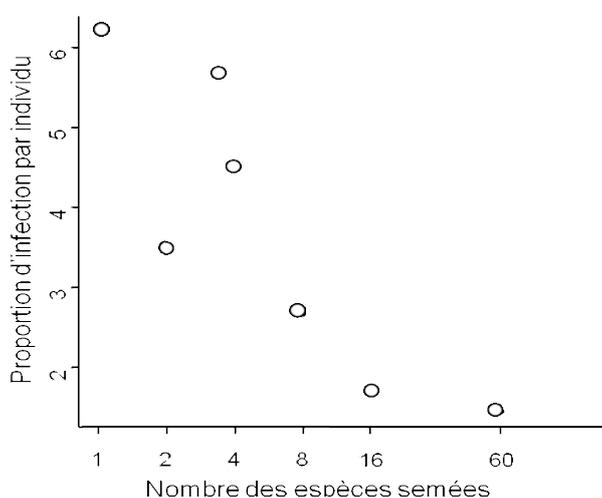
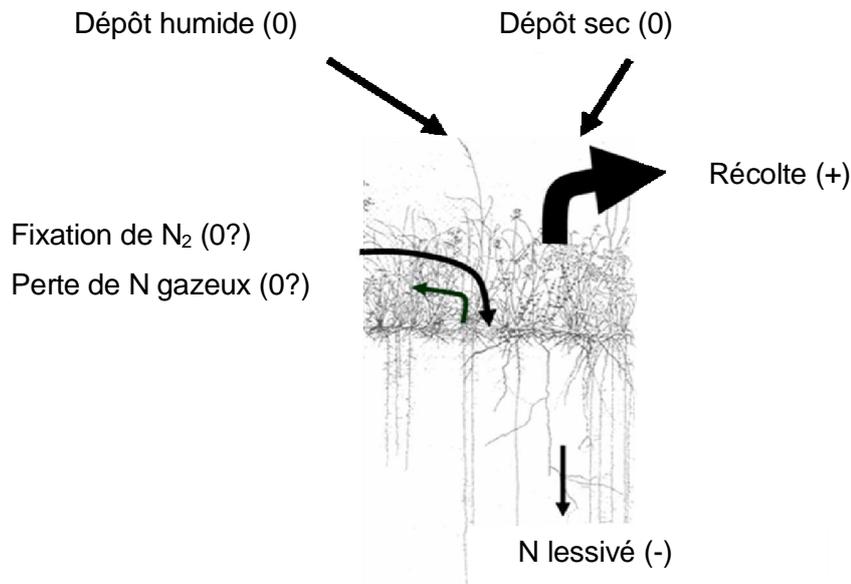


FIGURE 6 – Résumé des effets de la diversité en espèces sur les flux d'azote.

+ indique un effet positif ; 0 indique que les flux d'azote sont indépendants de la diversité en espèces, et - indique un effet négatif. 0? indique une relation qui demande plus d'exploration (d'après Oelmann et al. 2007).



Une plus grande diversité fonctionnelle, c'est-à-dire la présence d'un plus grand nombre de différents groupes fonctionnels (graminées, légumineuses, petites dicotylédones herbacées, grandes dicotylédones herbacées), a augmenté la biomasse aérienne (SP Z, 10), la biomasse et la densité de vers de terre, la diversité des espèces appartenant à Chilopoda (SP 5), la diversité des pathogènes fongiques foliaires (SP 12) et la décomposition de la litière (SP 5). En même temps, la diversité fonctionnelle a diminué la performance des plantes invasives, leur diversité (SP 3, 10) et les taux de carbone dissous dans la solution du sol (SP 8).

Globalement, d'un point de vue agricole, l'augmentation de la diversité en espèces et en groupes fonctionnels dans les communautés végétales a surtout eu des effets positifs incluant une augmentation de production, une diminution d'invasibilité, une diminution d'infection par les pathogènes fongiques foliaires et une modification du cycle des nutriments avec une réduction des lessivages et une augmentation de l'azote et du carbone organique dans le sol.

Conclusion

Les résultats présentés ci-dessus indiquent clairement que beaucoup de processus qui ont lieu en prairie agricole dépendent non seulement de la présence ou de l'absence des légumineuses ou graminées, mais que la diversité en espèces et en groupes fonctionnels est aussi un facteur très important : la plupart des processus pertinents pour l'agriculture tels que la production de la biomasse, la perte d'azote, le stockage de carbone dans le sol et les effets des pathogènes sur les plantes individuelles ont bénéficié d'une augmentation de la diversité en espèces et en groupes fonctionnels. De plus, il a été récemment noté que chaque espèce contribue individuellement aux processus d'un écosystème (HECTOR et BAGCHI, 2007), suggérant qu'une augmentation de la diversité en espèces joue un rôle aussi en augmentant les bienfaits de plusieurs processus simultanément. Globalement, ces résultats démontrent que toute pratique agricole augmentant le taux d'espèces des prairies devrait être appliquée. Ceci aura des bienfaits pour l'agriculture et réduira aussi l'impact environnemental de ces prairies.

Références bibliographiques

- BALVANERA P, PFISTERER AB, BUCHMANN N, HE JS, NAKASHIZUKA T, RAFFAELLI D & B SCHMID, 2006. Biodiversity and ecosystem functioning: a meta-analysis of experimental results. *Ecology Letters* 9: 1146–1156.
- DAILY GC, 1997. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, Island Press, Washington, D.C.
- ELLENBERG H, 1996. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Ulmer, Stuttgart.
- ELLENBERG H & D MUELLER-DOMBOIS, 1967. A key to Raunkiaer plant life forms with revised subdivisions. *Ber. Geobot. Inst. Eidg. Tech. Hochschule, Stift. Rübel, Zürich*, 37: 56-73.
- ELLENBERG H, WEBER HE, DÜLL R, WIRTH V, WERNER W & D PAULIBEN, 1992. *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. 2nd ed., *Scr. Geobot.* 18, Göttingen.
- FRANK D & S KLOTZ, 1990. Biologisch-ökologische Daten zur Flora der DDR. 2nd ed., *Wissenschaftliche Beiträge* 1990/32 (P41), Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- GRIME JP, 1997. Biodiversity and ecosystem function: the debate deepens. *Science* 277: 1260-1261.
- HECTOR A, LOREAU M. 2001. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature* 412: 72-76.
- HECTOR A BAGCHI R. 2007. Biodiversity and ecosystem multifunctionality. *Nature* 448: 188-190.
- HECTOR A, SCHMID B, BEIERKUHNLIN C, CALDEIRA MC, DIEMER M, DIMITRAKOPOULOS PG, FINN JA, FREITAS H, GILLER PS, GOOD J, HARRIS R, HÖGBERG P, HUSS-DANELL K, JOSHI J, JUMPPONEN A, KÖRNER C, LEADLEY PW, LOREAU M, MINNS A, MULDER CPH, O'DONOVAN G, OTWAY SJ, PEREIRA JS, PRINZ A, REAS DJ, SCHERER-LORENZEN M, SCHULZE E-D, SIAMANTZIOURAS A-SD, SPEHN EM, TERRY AC, TROUMBIS AY, WOODWARD FI, YACHI S & JH LAWTON, 1999. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science* 286: 1123-1127.
- HOOPER DU, EWEL JJ, HECTOR A, INCHAUSTI P, LAVOREL S, LAWTON JH, LODGE D, LOREAU M, NAEEM S, SCHMID B, SETÄLÄ H, SYMSTAD AJ, VANDERMEER J & DA WARDLE, 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge and needs for future research. *Ecological Monographs* 75: 3-36.
- HUNDT R, 1958. Beiträge zur Wiesenvegetation Mitteleuropas. I. Die Auenwiesen an der Elbe, Saale und Mulde. *Nova Acta Leopoldina N.F.* 135.
- HUNDT R, 1961. Die Auswirkungen der Saaletalsperren auf die Grünlandvegetation des mittleren Saaletales. *Mitt. Inst. Wasserwirtschaft* 14: 21-60.
- KLUGE G & G MÜLLER-WESTERMEIER, 2000. *Das Klima ausgewählter Orte der Bundesrepublik Deutschland*: Jena. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 213. Deutscher Wetterdienst, Offenbach.
- OELMANN Y, KREUTZIGER Y, TEMPERTON VM, BUCHMANN N, ROSCHER C, SCHUMACHER J, SCHULZE ED, WEISSER WW, WILCKE W, 2007. Nitrogen and phosphorus budgets in experimental grasslands of variable diversity. *Journal of Environmental Quality* 36: 396-407.
- ROSCHER C, SCHUMACHER J, BAADE J, WILCKE W, GLEIXNER G, WEISSER WW, SCHMID B, & E-D SCHULZE, 2004. The role of biodiversity for element cycling and trophic interactions: an experimental approach in a grassland community. *Basic and Applied Ecology* 5: 107-121.
- ROSCHER C, TEMPERTON VM, SCHERER-LORENZEN M, SCHMITZ M, SCHUMACHER J, SCHMID B, BUCHMANN N, WEISSER WW & E-D SCHULZE, 2005. Overyielding in experimental grassland communities – irrespective of species pool or spatial scale. *Ecology Letters* 8: 419-429.
- SCHMID B, JOSHI J & F SCHLÄPFER, 2002. Empirical evidence for biodiversity-ecosystem functioning relationships. In: Kinzig AP, SW Pacala, D Tilman (eds.), *Functional consequences of biodiversity: empirical progress and theoretical extensions*, Princeton University Press, Princeton, pp. 120-150.
- SCHWARZE S-K, 1993. *Biotopkartierung im Stadtgebiet von Jena. Die Obere Saaleaue zwischen Camsdorfer Brücke und Göschwitz*. Diploma thesis, University of Jena, 104 pp.
- UTHLEB S, 1995. *Biotopkartierung im Stadtgebiet Jena. Die "Untere Saaleaue" zwischen Camsdorfer Brücke und Zwätzen*. Diploma thesis, University of Jena, 89 pp.