

16-17 novembre 2015 - Poitiers

Actes du colloque présentant les méthodes et résultats du projet Climagie
(métaprogramme ACCAF)

ADAPTATION DES PRAIRIES SEMÉES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Coordinateurs : Jean-Louis Durand, Jérôme Enjalbert, Laurent Hazard,
Isabelle Litrico, Catherine Picon-Cochard, Marie-Pascale Prudhomme, Florence Volaire



DIVERSITÉ SPÉCIFIQUE ET GÉNÉTIQUE DANS LES PRAIRIES SEMÉES : UNE PLUS-VALUE COMPLÉMENTAIRE !

SPECIES AND GENETIC DIVERSITY IN SOWN GRASSLANDS: COMPLEMENTARY BENEFITS!

Isabelle Litrico¹, Philippe Barre¹, Jean-Louis Durand¹, Marc Ghesquière¹, Iván Prieto², Cyrille Violle²

isabelle.litrico@lusignan.inra.fr

¹Inra, UR004, URP3F F-86600 Lusignan, France ²CNRS, CEFE UMR 5175, Université de Montpellier – Université Paul Valéry – EPHE, 1919 Route de Mende, Montpellier Cedex 5 34293, France

RÉSUMÉ

Depuis plus de cinquante ans, l'agriculture est majoritairement basée sur l'exploitation d'un faible niveau de diversité spécifique (nombre d'espèces) et génétique (nombre de génotypes). Or de nombreuses études en écologie mettent en évidence la plus-value de la diversité sur la production et la stabilité des écosystèmes et cela en particulier en conditions stressantes et environnement variable. Nous avons conduit une expérimentation qui vise à montrer l'importance de la diversité spécifique et génétique intra-parcelle au sein des espèces cultivées, en particulier les prairies semées, pour les services attendus de l'agriculture. Nous mettons en évidence un impact significatif et complémentaire de la diversité spécifique et génétique sur la production et nous apportons des éléments sur les mécanismes associés à ces effets. Nos résultats laissent entrevoir des pistes intéressantes pour l'amélioration des espèces destinées à une utilisation en mélange, en particulier via l'introduction de diversité génétique dans les schémas de sélection.

ABSTRACT

For over fifty years, agriculture has been mainly based on the exploitation of a low species (number of species) and genetic (number of genotypes) diversity. But many studies in ecology highlight the benefits of diversity on production and ecosystem stability, particularly under stressful conditions and variable environment. We did an experiment to assess the importance in cultivated species, here temporary grasslands, of species and genetic within-plot diversity for expected agriculture services. We highlight a

significant and complementary effect of genetic and species diversity on production and we provide evidence on the mechanisms involved in these effects. Our results suggest interesting avenues for improving the species intended for use as a mixture, in particular through the introduction of genetic diversity in breeding schemes.

INTRODUCTION

En agriculture conventionnelle, les cultures, installées à partir d'un faible nombre d'espèces cultivées, sont généralement monospécifiques et sur la parcelle ces espèces présentent une variabilité génétique généralement faible, voire nulle. Ce mode de production est optimal dans un contexte relativement intensif mais actuellement, se pose à l'agriculture le défi de produire face au changement climatique et en conditions de faibles intrants. Beaucoup d'études (Allard, 1961 ; Rasmusson *et al.*, 1967 ; Tilman *et al.*, 1996 ; Hockett *et al.*, 1983 ; Hector *et al.*, 1999 ; Finckh *et al.*, 2000 ; Grime, 2006 ; Nyfeler *et al.*, 2009) démontrent la plus-value de la diversité spécifique sur la stabilité de la production, notamment face aux aléas climatiques (Tilahun, 1995 ; Lesica et Allendorf, 1999 ; Tilman *et al.*, 2001). En écologie des communautés, deux mécanismes, non exclusifs, à la base de l'effet de la diversité spécifique, sont proposés (Hooper, 2005). (i) Le mécanisme de complémentarité d'utilisation des ressources, entre espèces : les espèces possédant des niches différentes, donc des façons différentes d'utiliser les ressources, auront plus de chance de coexister et produire dans une communauté (MacArthur et Levins, 1967 ; Abrams, 1983). A ce mécanisme de complémentarité dans l'utilisation des ressources s'ajoute de potentielles interactions bénéfiques (facilitation, mutualisme...) entre espèces qui pourraient permettre d'améliorer les performances du peuplement. (ii) Le mécanisme de sélection ('sample effect'), qui traduit l'augmentation, via la diversité, de la probabilité de présence d'une espèce adaptée à l'environnement à un instant donné. La présence systématique d'une espèce adaptée permettrait d'avoir une bonne production et un maintien d'une certaine régularité des performances du peuplement face à des conditions variables du milieu. Ces mécanismes sont bien décrits au niveau des communautés d'espèces en écologie mais il existe peu de mises en évidence expérimentales de leurs effets. De plus, le niveau de diversité mis en avant dans la majorité des études est celui de la diversité spécifique (richesse spécifique), alors que la diversité génétique intraspécifique est rarement investie.

L'importance potentielle de la diversité génétique dans les performances des peuplements pourrait avoir des conséquences importantes en amélioration des plantes, notamment en ce qui concerne les espèces cultivées destinées à être utilisées en mélanges plurispécifiques, comme c'est le cas des espèces prairiales semées (70 % des prairies

semées sont composées de plusieurs espèces). L'objectif de notre étude est ainsi, de définir l'impact de la diversité spécifique et génétique sur la production des peuplements prairiaux et d'investir les mécanismes à l'origine de ces impacts.

MÉTHODOLOGIE

A l'Inra de Lusignan, un dispositif expérimental (figure 1) a été installé en 2013. Ce dispositif comportait 124 micro-communautés, de 50 individus chacune, disposées en bacs avec substrat homogène, et apports d'eau et de minéraux contrôlés. Chaque micro-communauté était constituée, soit de cinq espèces (les plus semées en zone tempérée : luzerne, fétuque, dactyle, trèfle blanc et ray-grass), soit d'une seule espèce. Chaque espèce installée en monospécifique comportait 10 génotypes différents. Mais la diversité intraspécifique des espèces installées en mélanges plurispécifiques était variable avec soit un, cinq, ou dix génotypes par espèce composant la micro-communauté. Les génotypes utilisés au sein d'une espèce donnée ont été choisis pour être fortement contrastés sur leur morphologie. Ce design expérimental comprenant jusqu'à seize réplicats par micro-communauté a été reproduit en deux lots installés en même temps, dans les mêmes conditions mais, durant l'essai, le lot 1 a été soumis à un régime hydrique non limitant alors que le lot 2 a été privé d'apport hydrique durant plusieurs semaines.



Figure 1 : dispositif expérimental de micro-communautés installées avec différents niveaux de diversité spécifique (1 ou 5 espèces) et différents niveaux de diversité génétique intraspécifique (1, 5 ou 10 génotypes par espèce).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Lorsque les micro-communautés sont exposées à un stress hydrique, la moyenne de la biomasse cumulée sur une année des micro-communautés installées en monospécifique est inférieure à celle des micro-communautés installées en plurispécifique (figure 2a).

La diversité génétique intraspécifique, quant à elle tend à améliorer, non pas la moyenne de la production cumulée (figure 2b) mais la réponse au stress hydrique.

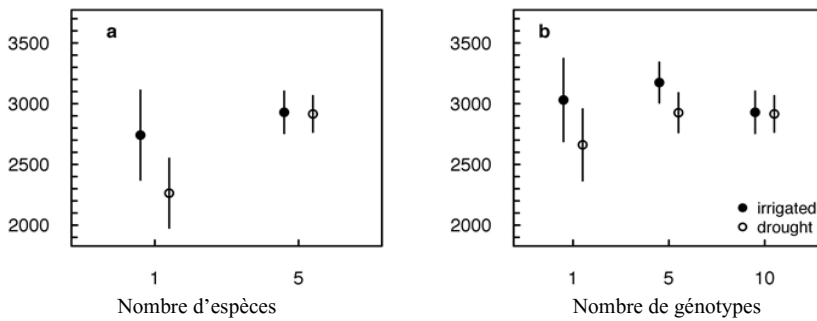


Figure 2: effet de (a) la diversité spécifique et (b) la diversité génétique sur la moyenne de la biomasse totale cumulée en condition irriguée (rond noir) et de stress hydrique (rond blanc).

En effet, lorsque l'on compare l'effect size, calculé à partir du log du ratio (biomasse sous stress hydrique / biomasse en condition irriguée), on constate un effect size non significativement différent de zéro pour les micro-communautés installées en mélanges (figure 3a) et ce résultat est principalement dû au comportement des micro-communautés contenant la diversité intraspécifique la plus importante (figure 3b).

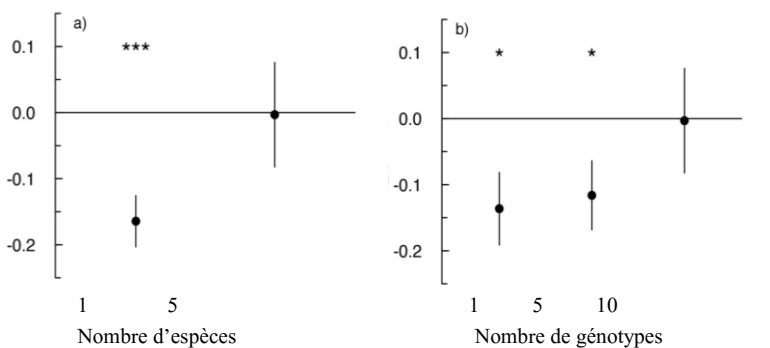


Figure 3: effet de (a) la diversité spécifique et (b) la diversité génétique sur l'effect size calculé à partir du log du ratio (biomasse sous stress hydrique / biomasse en condition irriguée). * $P < 0.05$ ** $P < 0.001$.

Un autre effet remarquable de la diversité génétique intraspécifique est constaté sur la stabilité de la production en conditions hydriques stressantes. En effet, lorsque l'on s'intéresse aux variations de la production de biomasse cumulée au cours de l'année, estimées par le coefficient de variation temporel, il apparaît clairement une plus grande stabilité de la production de biomasse pour les mélanges contenant une plus grande diversité intraspécifique (figure 4b).

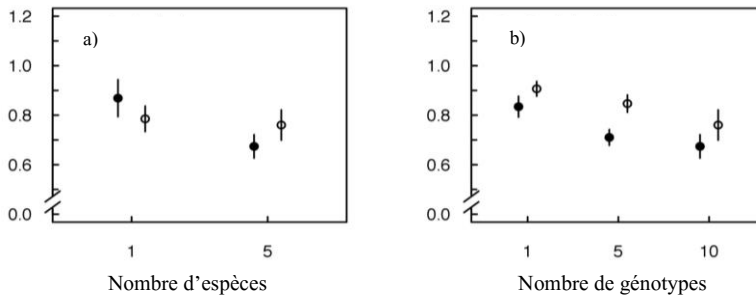


Figure 4 : effet de (a) la diversité spécifique et (b) la diversité génétique sur le coefficient de variation de la biomasse produite au cours du temps en condition irriguée (rond noir) et de stress hydrique (rond blanc).

Ainsi, nos résultats montrent un effet positif et complémentaire des deux niveaux de diversité, spécifique et génétique, dans les couverts prairiaux. Alors que la diversité spécifique améliore la production de biomasse cumulée en régime hydrique limitant, la diversité génétique, quant à elle, améliore significativement la stabilité de la production qui devient plus régulière tout au long de l'année, et cela quel que soit le régime hydrique.

Enfin, l'application à nos données d'une méthodologie statistique permettant de démêler les mécanismes de complémentarité de ceux de sélection (Loreau, 2001), nous a permis de mettre en évidence une plus-value de la diversité spécifique sur la production de biomasse principalement due à des effets de complémentarité entre espèces. Concernant l'effet bénéfique de la diversité génétique intraspécifique sur la stabilité, la mesure de l'asynchronisme des espèces composant les micro-communautés plurispécifiques montre une valeur relative plus importante dans les micro-communautés comportant une plus grande diversité génétique intraspécifique. La diversité génétique des espèces du mélange permettrait donc une augmentation de l'asynchronie de croissance des espèces. Ce mécanisme d'asynchronisme des espèces est souvent mis en avant en écologie pour expliquer la stabilité des communautés.

En conclusion, nos résultats, récemment publiés (Prieto *et al.*, 2015), montrent que diversité spécifique et génétique pourraient jouer des rôles bénéfiques et complémentaires pour l'optimisation de la production de fourrage dans les prairies semées. Ainsi, l'introduction de la diversité dans les agroécosystèmes apparaît être une voie prometteuse pour faire face aux défis actuels de l'agriculture. Les deux niveaux de diversité - génétique et spécifique - des cultures, pourraient donc être valorisés dans des programmes d'amélioration et de sélection de plantes destinés à accroître la productivité et la stabilité des cultures.

BIBLIOGRAPHIE

- Abrams P., 1983. The theory of limiting similarity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 14, 359-376.
- Allard R.W., 1961. Relationship between genetic diversity and consistency of performance in different environments. *Crop Science* 1, 127-133.
- Finckh M., Gacek E., Goyeau H., Lannou C., Merz U., Mundt C., Munk L., Nadziak J., Newton A.C., De Vallavieille-Pope C., Wolfe M.S. 2000. Cereal variety and species mixtures in practice, with emphasis on disease resistance. *Agronomie* 20, 813-837.
- Grime J.P. 2006. Trait convergence and trait divergence in herbaceous plant communities: mechanisms and consequences. - *Journal of Vegetation Science* 17, 255–260.
- Hector A., Schmid B., Beierkuhnlein C., Caldeira M. C., Diemer M., Dimitrakopoulos P. G., Finn J. A., Freitas H., Giller P. S., Good J., Harris R., Högberg P., Huss-Danell K., Joshi J., Jumpponen A., Körner C., Leadley P.W., Loreau M., Minns A., Mulder C.P.H., O'Donovan G., Otway S.J., Pereira J.S., Prinz A., Read D.J., Scherer-Lorenzen M., Schulze E.D., Siamantziouras A.S.D., Spehn E.M., Terry A.C., Troumbis A.Y., Woodward F.I., Yachi S., Lawton J.H., 1999. Plant Diversity and Productivity Experiments in European Grasslands. *Science* 5: 286, 1123-1127.
- Hockett E.A., Eslick R.F., Qualset C.O., Dubbs A.L., Stewart V.R. 1983. Effects of natural selection in advanced generations of barley composite cross II. *Crop Science* 23, 752-756.
- Hooper D.U., Chapin III F. S., Ewel J. J., Hector A., Inchausti P., Lavorel S., Lawton J. H., Lodge D., Loreau M., Naeem S., Schmid B., Setälä H., Symstad A. J., Vandermeer J., Wardle D. A. (2005) Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecol. Monogr.* 75, 3–35.
- Lesica P., Allendorf F.W., 1999. Ecological Genetics and the Restoration of Plant Communities: Mix or Match? *Restoration Ecology* 7, 1, 42-50.
- Loreau M. & Hector, (2001) A. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature* 412, 72–76.
- MacArthur R.H., Levins R., 1967. The limiting similarity, convergence and divergence of coexisting species. *Am. Nat.* 101, 377-385.
- Nyfelner D., Huguenin O.E., Suter M., 2009. Strong mixture effects among four species in fertilized agricultural grassland led to persistent & consistent transgressive overyielding. *Journal of Applied Ecology* 46, 683-691.
- Prieto I., Violle C., Barre P., Durand J.L., Ghesquiere M., Litrico I. (2015) Complementary effects of species and genetic diversity on productivity and stability of sown grasslands. *Nature Plants*, DOI: 10.1038/NPLANTS.2015.3.3
- Rasmusson D.C., Beard B.H., Johnson F.K., 1967. Effect of natural selection on performance of a barley population. *Crop Science* 7, 543.
- Tilahun A., 1995. Yield gain and risk minimization in maize (*Zea mays*) through cultivar mixtures in semi-arid zones of the rift valley in Ethiopia. *Exp. Agric.* 31, 161-168.

Tilman D., Reich P., Knops J. Wedin D.A., Mielke T., Lehman C. 2001. Diversity and Productivity in a Long-Term Grassland Experiment. *Science* 294, 843-845.

Tilman D., Wedin D., Knops J., 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature* 379, 718-720.