



**HAL**  
open science

## Structures spatiales et assemblage des communautés végétales: implications pour le fonctionnement des écosystèmes prairiaux

Julien Pottier, Juliette Bloor, Frédérique Louault, G Loucougaray, Bertrand Dumont, Nicolas Rossignol, Pascal P. Carrère

### ► To cite this version:

Julien Pottier, Juliette Bloor, Frédérique Louault, G Loucougaray, Bertrand Dumont, et al.. Structures spatiales et assemblage des communautés végétales: implications pour le fonctionnement des écosystèmes prairiaux. Réseau prairies - Atelier “ Assemblages d’espèces et services rendus par la prairie: les apports de l’écologie fonctionnelle ”, Dec 2011, Toulouse, France. hal-02745331

**HAL Id: hal-02745331**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02745331>**

Submitted on 3 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Atelier du Réseau prairies

# « Assemblages d'espèces et services rendus par la prairie : les apports de l'écologie fonctionnelle »



14 et 15 décembre 2011, Toulouse



Organisé par le groupe d'animation du réseau prairies - avec le soutien financier du département EA.

## **Réseau prairies - Atelier « Assemblages d'espèces et services rendus par la prairie : les apports de l'écologie fonctionnelle »**

**14 et 15 décembre 2011 - Toulouse**

Comité d'organisation : M. Duru (EA), P. Carrère (EFPA), B. Julier (GAP),  
F.Gastal (EA) ; R.Martin-Clouaire (MIA), A. Farruggia (PHASE), M. Meuret (SAD),  
M. Lherm (SAE2) ;

Comité local d'organisation : Michel Duru, Benoît Gleize, Mathilde Piquet,  
Matthieu Solle, Jean Pierre Theau

### **Avant propos :**

Le réseau prairies a été créé à l'initiative des départements EA, EFPA, GAP, PHASE, SAD, SAE2 et MIA qui souhaitent la mise en place d'un réseau d'animation scientifique dédié aux recherches portant sur les prairies. Son objectif est d'améliorer la coordination et les échanges entre les équipes appartenant à la communauté scientifique dont la prairie est directement, ou plus indirectement un objet d'étude. Les missions du réseau, décrites dans la lettre de cadrage du 23 novembre 2009 font ressortir deux éléments prioritaires : i) améliorer la coordination et les échanges au sein d'une communauté scientifique mobilisée autour de « la prairie » et ii) dégager une plus value scientifique de cette animation. La tenue d'un atelier thématique annuel répond à ce besoin d'animation en offrant un cadre d'échange réflexif et prospectif.

### **Remerciements :**

Le comité d'organisation tient à remercier le département EA pour le soutien financier à l'animation du réseau Prairies, et au financement de ce premier atelier. Un grand merci également aux membres du comité d'organisation local du centre de Toulouse pour son implication dans l'organisation de cet Atelier.

La réussite de cet atelier doit également beaucoup aux intervenants invités et premiers auteurs des communications qui ont accepté de réaliser les exposés de synthèses destinés à faire un point sur l'état de l'art sur les thématiques abordées. Nous remercions également, les animateurs des groupes de travail pour leur implication dans la préparation de ces séances.

Edition et mise en forme des actes : P.Carrère, J.P.Theau et M.Duru

## Cadrage général de l'Atelier

L'écologie fonctionnelle de la végétation constitue un cadre théorique générique qui offre la possibilité de prendre en compte une diversité de services et de gradients écologiques. Il permet de raisonner les connaissances à acquérir pour évaluer l'aptitude des prairies à flore complexe (prairies permanentes ou prairies temporaires plurispécifiques) à remplir des services de production et des services environnementaux, et évaluer leur réponse aux gradients écologiques.

La caractérisation fonctionnelle de la végétation peut être faite à partir d'un trait<sup>1</sup> ou d'un ensemble de traits, définis à l'échelle de l'individu ou de la communauté (le trait moyen pondéré par l'abondance des espèces). Un trait est dit « fonctionnel » lorsqu'il permet de traiter à la fois de la réponse aux gradients écologiques créés par les milieux et les pratiques, et des effets sur les services rendus tels que les services de production (ressource alimentaire), les services de régulation (cycles des éléments minéraux, eau), etc...

De nombreuses recherches montrent déjà l'intérêt de l'approche pour évaluer les services de production (valeur d'usage agricole). Des travaux récents élargissent le champ d'application aux services environnementaux (capture du carbone, diversité ordinaire). Ces recherches alimenteront les réflexions conduites dans la **première session de l'atelier**. Il sera tout particulièrement recherché le croisement de points de vue et d'angles d'attaque selon que les recherches reposent sur : (i) des méta-analyses en vue de dégager des principes généraux, (ii) des études en laboratoire ou au champ pour lever des verrous de connaissances, (iii) des recherches conduites en partenariat avec le développement pour concevoir des outils de gestion. Au-delà des différences de postures, il est évident que chaque approche contribue à la fois à la production de connaissances scientifiques et de connaissances finalisées, mais les spécificités propres à ces démarches, où aux échelles (spatiale, temporelle, ou organisationnelle) auxquelles ces travaux sont intégrés. **La deuxième session constituera** une ouverture vers des caractéristiques d'usage de la prairie habituellement pas ou peu considérées par les écologues et les agronomes, qui se limitent à une caractérisation de la ressource sans faire référence à son utilisation par les animaux, excepté l'estimation de la digestibilité. C'est pourquoi il importe d'examiner la pertinence de l'approche pour traiter des divers aspects de la valorisation de la ressource fourragère par les herbivores, notamment au pâturage, ainsi que par la prise en compte des relations avec la qualité des produits animaux.

L'organisation de l'atelier en deux grandes thématiques se justifie par la volonté de brasser des approches et des interrogations au-delà des cercles de rencontre habituels. L'objectif est de faire de ces deux journées un espace d'échange ouvert et convivial à même de faciliter les échanges de concept et de point de vue propice à faire émerger de nouvelles idées, de nouvelles questions scientifiques, et stimuler les collaborations interdisciplinaires. Pour cela il a semblé opportun de mixer des apports/échanges théoriques avec des regards plus finalisés, à même de favoriser les discussions et l'intégration des savoirs et des approches. **Cet atelier a été conçu pour une communauté dont l'activité scientifique est focalisée autour de la prairie au sens large (des couverts temporaires, aux végétations complexes des parcours), il sera ce que vous y apporterez.**

---

<sup>1</sup> Référencer la définition du trait : caractéristiques mesurables sur les individus, de nature morphologique, physiologique ou de régénération (Gitay & Noble, 1997, Vile, 2005).

## Programme prévisionnel

14 décembre 2011

10h00 - accueil

10h30 - introduction à l'atelier (groupe organisateur)

SESSION 1 - (modérateur M. Duru)

11h00 - Garnier E. et al. - L'approche trait en écologie comparative: concepts, échelles et méthodes)

11h30 - Lavorel S. et al. - Utilisation des traits fonctionnels de plante pour caractériser une diversité de services écosystémiques dans un paysage

12h00 discussion

12h30-14h00 - repas

SESSION 2 - (modérateur F. Gastal) Production de connaissances, sur couverts permanents ou semés, pilotée par la levée de verrous scientifiques

14h00 - Litrico I., Gastal F., Louarn, G., Julier B., Barre P., Durand J.L., Frak E., Escobar-Gutierrez A., Ghesquière M. Quels intérêts et quelles limites de l'approche d'écologie fonctionnelle pour comprendre le fonctionnement et améliorer les prairies semées

14h15 - Florence Volaire, Jean-Louis Durand, François Gastal et Marie-Pascale Prudhomme. Production et persistance des couverts fourragers pérennes sous sécheresses modérées à sévères: stratégies adaptatives, variables écophysiologicals et traits fonctionnels pertinents.

14h30 - Pottier J., Bloor J., Louault F., Loucougaray G., Dumont B., Rossignol N., Carrère P. - "Structures spatiales et assemblage des communautés végétales: implications pour le fonctionnement des écosystèmes prairiaux.

14h45 - Picon-Cochard C., Roumet C., P Cruz (et al.) - Contribution des systèmes racinaires pour le fonctionnement des prairies permanentes

15h00 - Sampoux J.P., Julier B. - Diversité spontanée et diversité améliorée des espèces fourragères: de l'adaptation environnementale à l'adaptation agronomique

15h15 - Tichit M. - Diversité des modes de gestion des prairies pour concilier production et biodiversité:

15h30 - Discussion

16h00 - PAUSE

SESSION 3 - (modérateur P. Carrère) Production de connaissances sur les choix de plantes (ou d'organes) par les ruminants au pâturage et conséquences sur les productions.

16h30 - Ginane C. et Dumont B. - Processus cognitifs impliqués dans la sélection alimentaire des ruminants dans des prairies diversifiées

16h45 - Delagarde R. Barre P. - Réponses animales aux caractéristiques morphologiques des plantes en prairies temporaires, conséquences pour l'amélioration variétale

17h00 - Baumont R., Michaud A., Carrère P., Plantureux S. - Relations entre la composition botanique et fonctionnelle des prairies permanentes, leur production et leur valeur nutritive pour les ruminants : les enseignements des études menées sur des réseaux de parcelles à large échelle.

17h15 - Niderkorn V., Aufrère J., Julier B., Baumont R. - Le rôle potentiel des métabolites secondaires présents dans les espèces prairiales sur leur utilisation digestive par les ruminants et les rejets dans l'environnement

17h30 - Graulet B., Cornu A., Martin B. et Farruggia A. - Influence de la composition botanique des prairies sur leur composition en microconstituants d'intérêt (polyphénols, caroténoïdes, vitamines) et sur la composition des laits produits.

17h45 - Boval M. et al. Quelles caractéristiques du fourrage pour quelle utilisation par l'animal - concepts et méthodes de mesure

18h00 - Discussion

18h30 - Fin des travaux

19h30 - Cocktail avec animation

## Jour 2 : 15 décembre 2011

SESSION 4 - (modérateur A.Farruggia) production de connaissances pilotée par la recherche de solutions localement adaptées sur la base d'outils génériques : enseignements d'une recherche en ingénierie agroécologique

8h30 - Duru M. Theau JP, Jouany C Cruz P. - Une recherche en ingénierie agroécologique pour construire des outils de gestion des prairies permanentes : de la caractérisation de l'aptitude à remplir des services fourragers à l'évaluation des services effectivement rendus

8h45 - Hazard L. et al - Recherche participative pour la sélection évolutive d'espèces prairiales

9h00 - Plantureux S., Amiaud B., Michaud A., Baumont R., Farruggia A. et Carrère P. - « Conception de typologies agro-environnementales des prairies permanentes : les enseignements et les questions posées à l'écologie fonctionnelle. »

9h30 - Discussions

9h45 PAUSE

SESSION 5 - (Modérateur N.Viovy) Les apports de la modélisation dans ces approches, on mobilisera des exemples d'intégration des traits fonctionnels dans les modèles

10h15 Viovy et al ; (Lavorel S., N.Vuichard, R.Martin ...) exposé de synthèse

10h45 discussion

11h15 12h45 Travail en atelier

- 11h15 - Présentation de la méthode et des attendus. Désigner un rapporteur par atelier
- 11h30 Atelier Rouge - (Binôme animateur M.Duru et F.Louault) Opérationnalité de l'approche trait.
- 11h30 Atelier Bleu - (Binôme animateur S. Plantureux et P. Carrère) Autres services (dont services intrants), comment les intégrer dans nos approches
- 11h30 Atelier Jaune - (Binôme animateur C. Picon J.L Durand ou F.Gillet) Vulnérabilité, résilience aux événements extrêmes
- 

13h00 - 14h15 Repas

14h15 - Restitution des ateliers (15' par atelier)

15h00 - discussion générale

15h45 - Conclusion et recueil des attentes sur le réseau

16h00 - fin des travaux.

## Résumé des contributions

### **SESSION 1 - Introduction et concepts**

#### **L'approche trait en écologie comparative: concepts, échelles et méthodes**

Eric Garnier et l'équipe ECOPAR

Comprendre les relations entre les organismes et leur environnement, les règles qui président à la constitution des communautés et les relations entre les organismes et le fonctionnement des écosystèmes constituent des thèmes d'étude majeurs dans le champ de l'écologie. Cet exposé montrera comment une approche fondée sur les traits des espèces végétales peut conduire à des avancées significatives dans ces différents domaines.

Dans la première partie, différents aspects relatifs au compromis fonctionnel entre vitesse d'acquisition et conservation efficace des ressources seront introduits. Dans la deuxième, les relations entre traits et facteurs du milieu seront analysées, en mettant l'accent sur les différentes composantes de la structure fonctionnelle des communautés. Enfin, dans la troisième partie, les relations entre traits foliaires et certains processus écosystémiques seront discutées.

Les perspectives actuelles permettant la généralisation de cette approche fondée sur les traits à partir notamment de l'intégration de bases de données seront présentées, en utilisant le cas d'un projet en cours portant sur l'étude de la diversité fonctionnelle des prairies permanentes à l'échelle nationale.

#### Références bibliographiques :

- Chapin F.S., III, Zavaleta E.S., Eviner V.T., Naylor R.L., Vitousek P.M., Reynolds H.L., Hooper D.U., Lavorel S., Sala O.E., Hobbie S.E., Mack M.C., Díaz S. (2000) Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405, 234-242.
- Cornelissen, J.H.C., Lavorel, S., Garnier, E., Díaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D.E., Reich, P.B., ter Steege, H., Morgan, H.D., van der Heijden, M.G.A., Pausas, J.G. & Poorter, H. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 51 : 335-380.
- Díaz, S., S. Lavorel, F. S. Chapin, III, P. A. Tecco, D. E. Gurvich, and K. Grigulis. 2007. Functional diversity - at the crossroads between ecosystem functioning and environmental filters. Pages 81-91 in J. G. Canadell, D. E. Pataki, and L. F. Pitelka, editors. *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*. Springer-Verlag, Berlin.
- Garnier, E. & Navas, M.-L. (2011). A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. *Agronomy for Sustainable Development* (sous presse). doi: 10.1007/s13593-011-0036-y
- Grime J.P. (1998) Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects. *Journal of Ecology* 86, 902-910.
- Lavorel, S. & Garnier, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits : revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology* 16 : 545-556.
- McGill B.J., Enquist B.J., Weiher E., Westoby M. (2006) Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 178-185.
- Weiher, E. and P. Keddy. 1999. *Ecological assembly rules. Perspectives, advances, retreats*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Westoby, M., D. S. Falster, A. T. Moles, P. A. Veski, and I. J. Wright. 2002. Plant ecological strategies: Some leading dimensions of variation between species. *Annual Review of Ecology and Systematics* 33:125-159.
- Wright, I.J., Reich, P.B., Westoby, M., Ackerly, D.D., Baruch, Z., Bongers, F., Cavender-Bares, J., Chapin, F.S. III, Cornelissen, J.H.C., Diemer, M., Flexas, J., Garnier, E., Groom, P.K., Gulias, J., Hikosaka, K., Lamont, B.B., Lee, T., Lee, W., Lusk, C., Midgley, J.J., Navas, M.-L., Niinemets, Ü, Oleksyn, J., Osada, N., Poorter, H., Poot, P., Prior, L., Pyankov, V.I., Roumet, C., Thomas, S.C., Tjoelker, M.G., Veneklaas, E. & Villar, R. (2004). The worldwide leaf economics spectrum. *Nature* 428 : 821-827.

## Utilisation des traits fonctionnels des plantes pour caractériser une diversité de services écosystémiques dans le paysage

Sandra Lavorel, Karl Grigulis, Marie-Pascale Colace, Pénélope Lamarque

Laboratoire d'Ecologie Alpine, UMR 5553 CNRS-Université Joseph Fourier, Grenoble  
Station Alpine Joseph Fourier, UMS 3350 CNRS-Université Joseph Fourier, Grenoble

La compréhension de la contribution de la structure des prairies à la production d'une diversité de services écosystémiques est essentielle pour la gestion de la multi-fonctionnalité. La construction récente des connaissances sur le rôle des traits fonctionnels végétaux dans la réponse de la composition des prairies à la gestion et au climat d'une part, et dans le fonctionnement des écosystèmes prairiaux d'autre part (Lavorel & Garnier 2002, Garnier et al. 2007) permet d'envisager une quantification de différents services écosystémiques et de leur variabilité spatiale et temporelle sur la base de ces caractéristiques morphologiques, écophysiological ou de reproduction. Dans un premier temps, de telles approches permettent d'affiner des modèles ne prenant en compte que la gestion, sans considérer les variations plus fines des caractéristiques fonctionnelles de la végétation selon par exemple les variations des sols ou de la topographie (Lavorel et al. 2011). Pour ce faire, il est possible de développer des modèles quantitatifs des propriétés des écosystèmes intégrant les effets des facteurs abiotiques (climat, topographie) et de la gestion (en particulier ses effets sur les propriétés des sols) au travers de leurs effets sur les caractéristiques fonctionnelles de la végétation. Ces modèles quantifient lesquelles de ces caractéristiques fonctionnelles (quels traits, quelle dimension de leur variation : moyenne ou variance) contribuent à quelles propriétés écosystémiques. Dans un second temps, les connaissances sur les compromis et synergies entre traits fonctionnels peuvent être utilisées pour comprendre les contraintes ou les opportunités d'ordre biologique à la fourniture simultanée de plusieurs services (Lavorel & Grigulis 2012). Par exemple, l'axe de variation de l'économie des nutriments (Wright et al. 2004) selon la fertilité ou l'intensité / la fréquence des perturbations résulte en des contraintes fortes sur la capacité des prairies à assurer simultanément production, séquestration du carbone et fourniture de ressources pour les insectes herbivores. A contrario, l'axe de variation de la stature des plantes, indépendant de l'axe de l'économie des nutriments (Díaz et al. 2004) ouvre des voies alternatives de production de la biomasse et des propriétés écosystémiques qui y sont associées. J'illustrerai ces approches avec des exemples issus des travaux menés depuis 2003 sur les prairies de montagne.

### Références bibliographiques :

- Díaz, S., et al. (2004) The plant traits that drive ecosystems: Evidence from three continents. *Journal of Vegetation Science*, 15, 295-304.
- Garnier, E., Lavorel, S., et al. (2007) A standardized methodology to assess the effects of land use change on plant traits, communities and ecosystem functioning in grasslands. *Annals of Botany*, 99, 967-985.
- Lavorel, S. & Garnier, E. (2002) Predicting the effects of environmental changes on plant community composition and ecosystem functioning: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology*, 16, 545-556.
- Lavorel, S. & Grigulis, K. (2012) How fundamental plant functional trait relationships scale-up to trade-offs and synergies in ecosystem services. *Journal of Ecology*, 100, sous presse.
- Lavorel, S., Grigulis, K., Lamarque, P., Colace, M.-P., Garden, D., Girel, J., Douzet, R. & Pellet, G. (2011) Using plant functional traits to understand the landscape-scale distribution of multiple ecosystem services. *Journal of Ecology*, 99, 135-147.
- Wright, I.J., et al. (2004) The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428, 821-827.



## **SESSION 2 -Production de connaissances, sur couverts permanents ou semés, pilotée par la levée de verrous scientifiques**

### **L'écologie fonctionnelle pour comprendre le fonctionnement et améliorer les prairies semées**

Litrico I., Gastal F., Durand J.L., Ghesquière M., Barre P., Julier B., Louarn, G., Escobar-Gutierrez A., Combes D., Frak E.

Le développement des prairies temporaires multispécifiques et leur ré-introduction dans les rotations de cultures, constituent une voie privilégiée pour améliorer la résilience de ces couverts face aux contraintes environnementales (notamment climatiques), limiter les besoins en intrants, développer les services écosystémiques et augmenter l'autonomie des systèmes fourragers et d'élevage. Pour optimiser de tels systèmes et répondre aux objectifs de production et de services environnementaux, il est indispensable a) de conduire une amélioration génétique de espèces prairiales adaptée à l'utilisation en mélange d'espèces, et b) de comprendre comment les contraintes de milieu et de gestion conditionnent l'adaptation et la dynamique de la végétation de ces prairies multi-espèces. Pour ce faire, l'étude écophysiological et génétique des caractères qui sont impliqués dans la réponse individuelle aux conditions environnementales, qui résultent du milieu extérieur et des interactions avec les voisins, est indispensable. Ces caractères, impliqués dans la valeur sélective des individus et déterminant l'impact de la prairie sur les services écosystémiques, recouvrent un ensemble complexe de caractères liés aux processus écophysiological (morphogénèse, fonctions physiologiques), qui correspondent<sup>1</sup>, à des traits fonctionnels. La variabilité génétique intraspécifique des traits fonctionnels, qui est un prérequis à l'amélioration génétique des espèces, est maintenant une réalité dont le rôle dans la dynamique de la diversité spécifique est de plus en plus démontré.

Adopter une approche fonctionnelle qui vise à intégrer le fonctionnement des individus à des niveaux supérieurs, en tenant compte de la variabilité génétique intraspécifique, est un réel challenge pour comprendre la dynamique et les services des communautés prairiales semées. Mais c'est une démarche adaptée pour l'optimisation de la composition spécifique et génétique du sac de semences et pour une meilleure connaissance de l'impact du milieu et de la gestion sur les services écosystémiques de la prairie temporaire. Cette façon novatrice d'améliorer les prairies semées, menée par l'URP3F, nécessite le couplage de l'écophysiological et de la génétique, et un investissement plus particulier autour des points suivants :

- l'identification des traits fonctionnels impliqués dans la réponse à un ensemble de facteurs de milieu et l'analyse de la variabilité de ces traits chez les espèces fourragères prairiales (déterminisme génétique (G), plasticité (E) et variabilité génétique de cette plasticité (GxE)).
- l'exploitation de la variabilité génétique des traits fonctionnels et sa relation, via une complémentarité spatiotemporelle de niches, avec la coexistence et la productivité des génotypes et des espèces.
- L'intégration des relations fonctionnelles entre ces traits à l'échelle de l'individu, en d'autres termes les stratégies fonctionnelles des individus.

#### Références bibliographiques :

- Albert C.H., Thuiller W., Yoccoz N.G, Douzet R., Aubert S., Lavorel S. (2010). A multi-trait approach reveals the structure and the relative importance of intra- vs. interspecific variability in plant traits
- Barre P., Moreau L. Mi F., Turner L., Gastal F., Julier B., Ghesquière M. (2009) Quantitative trait loci for leaf length in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Grass and Forage Science* 64:310-321.
- Durand J.L., Gastal F., Etchebest S., Bonnet A.C., Ghesquière M., (1997). Interspecific variability of plant water status and leaf morphogenesis in temperate forage grasses under summer water deficit. *Eur. J. Agronomy* 7: 99-107.
- Gastal F., Dawson L.A., Thornton B. (2010) Responses of plant traits of four grass species from contrasting habitats to defoliation and N supply. *Nutrient cycling in Agro-ecosystems*. 88:2, 245-258.
- Gross, N., Suding, K.N., Lavorel, S. & Roumet, C. 2007 Complementarity as a mechanism of coexistence between functional groups of grasses. *Journal of Ecology*, 95, 1296-1305.
- Herrmann D., Barre P., Santoni S., Julier B. (2010) Association of a CONSTANS-LIKE gene to flowering and height in autotetraploid alfalfa. *Theoretical and Applied Genetics* 121 (5), 865-876

- Litrico I. Barre P. and Huyghe C. (2010) Ecological and Population Genetic Concepts for Creating New Varieties in Book "Sustainable use of Genetic Diversity in Forage and Turf Breeding". Éditeur Springer Netherlands Part 3, chap26, 183-194.
- Silvertown, J. 2004. Plant coexistence and the niche. - Trends in Ecology & Evolution 19: 605-611.
- Turkington, R. 1996. Intergenotypic interactions in plant mixtures. Euphytica 92:105-119.
- Violle C., Enquist B.J., McGill B.J. Jiang L. Albert C.H, Hulshof C., Jung V., Messier J. (in press) TREE.

## Production et persistance des couverts fourragers pérennes sous sécheresses modérées à sévères : stratégies adaptatives, variables écophysiologicals et traits fonctionnels.

Florence Volaire<sup>1</sup>, Jean-Louis Durand<sup>2</sup>, Marie-Pascale Prudhomme<sup>3</sup>, Annette Morvan-Bertrand<sup>3</sup>, François Gastal<sup>2</sup> et François Lelièvre<sup>1</sup>.

florence.volaire@cefe.cnrs.fr

<sup>1</sup> INRA, USC - CEFE/CNRS 1919 Route de Mende 34293 Montpellier

<sup>2</sup> INRA. URP3F. BP 80006. 86600 Lusignan.

<sup>3</sup>UMR INRA UCBN EVA, Université de Caen Basse-Normandie, Esplanade de la Paix, 14032 Caen

L'occurrence et l'intensité des sécheresses dépendent des caractéristiques climatiques et édaphiques. Toutefois, les sécheresses notamment estivales et extrêmes, risquent de survenir plus fréquemment sous l'influence du changement climatique. Pour comprendre la composition et le fonctionnement des prairies naturelles ainsi que pour proposer des mélanges innovants de cultures fourragères durables sous contraintes hydrique et thermique, il importe d'analyser les **stratégies adaptatives** des espèces, des génotypes et des cultivars. Nous présentons un cadre d'analyse des réponses adaptatives des herbacées pérennes allant de la **résistance à la sécheresse modérée avec maintien de croissance** (éviter et tolérer la déshydratation des **limbes**), jusqu'à la **survie des plantes sous sécheresse sévère** (éviter et tolérer la déshydratation des **méristèmes**). Les variables éco-physiologiques et les traits fonctionnels les plus discriminants diffèrent selon les stratégies en raison d'un **trade-off entre résistance et survie à la sécheresse**. Un éclairage est fait sur la contribution des sucres solubles, et en particulier des fructanes, aux mécanismes de résistance et de survie à la sécheresse dans la mesure où ces composés sont impliqués dans l'osmo-protection et la stabilisation des membranes. Une typologie fonctionnelle du matériel génétique selon leurs stratégies de résistance/survie doit être développée pour prédire le comportement en conditions contrastées de ressources en eau. De plus, l'étude des règles d'assemblage des stratégies en prairies naturelles peut renseigner sur les choix à réaliser pour la création de mélanges fourragers cultivés adaptés. Cette démarche d'agro-écologie repose sur l'analyse de la **complémentarité fonctionnelle** du matériel génétique et des niveaux optimaux de biodiversité (variabilité inter et intra-spécifique) à rechercher afin de limiter la compétition et favoriser la facilitation au sein des communautés prairiales.

### Références bibliographiques :

- Amiard V., Morvan-Bertrand A., Billard J., Huault C., Keller F., Prud'homme MP (2003) Fructans, But Not the Sucrosyl-Galactosides, Raffinose and Loliose, Are Affected by Drought Stress in Perennial Ryegrass. Plant Physiology, 132: 2218-29.
- Blum A (1996) Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. Plant Growth Regulation, 20, 135-148.
- Durand JL, 2007. Les effets du déficit hydrique sur la plante : aspects physiologiques. Fourrages, 190 : 181-195.
- González Dugo V, Durand JL, Gastal F, 2010. Water deficit and nitrogen nutrition of crops: a review. Agronomy for Sustainable Development 30, 529-544
- Hincha DK, David P. Livingston DIII, Premakumar R, Zuther E, Obel N, Cacula C, Heyer AG (2007) Fructans from oat and rye: composition and effects on membrane stability during drying. Biochim. Biophys. Acta 1768, 1611-1619
- Lafarge M et Durand JL, 2011. Comment l'Herbe Pousse. Développement végétatif, Structures clonales et spatiales des Graminées. Quae éditions. Collection Synthèses. 164 p.
- Lelièvre F, Seddaiu G, Ledda L, Porqueddu C, Volaire F (2011) Water use efficiency and drought survival in Mediterranean perennial forage grasses. Field Crops Research, 121, 333-342.

- Ludlow MM (1989) Strategies of response to water stress. In: Structural and functional responses to environmental stresses: water shortage. (eds Kreeb KH, Richter H, Hinckley TM) The Hague, SPB Academic Publishing BV.
- Thomas H (1987) Physiological responses to drought of *Lolium perenne* L.: measurement of, and genetic variation in, water potential, solute potential, elasticity and cell hydration. *Journal-of-Experiment-Botany*, 38, 115-125.
- Voltaire F, Norton M (2006) Summer dormancy in perennial temperate grasses. *Annals of Botany*, 98, 927-933.
- Voltaire F, Norton M, Lelievre F (2009) Summer drought survival strategies and sustainability of perennial temperate forage grasses in Mediterranean areas. *Crop Science*, 49, 2386-2392.

## Structures spatiales et assemblage des communautés végétales: implications pour le fonctionnement des écosystèmes prairiaux

Pottier J., Bloor J., Louault F., Loucougaray G., Dumont B., Rossignol N., Carrère P.

La végétation d'une prairie peut se caractériser par la structure d'abondance de ses espèces (diversité taxonomique), et/ou encore par la distribution statistique des valeurs de traits des plantes (identité et diversité fonctionnelle) qui la composent. La structure de végétation d'une prairie présente également une composante spatiale qui se manifeste le plus souvent sous la forme d'agrégations d'individus conspécifiques (i.e. de la même espèce) et/ou de la moyenne/diversité des valeurs de traits. Cette présentation propose un tour d'horizon des connaissances relatives à l'émergence des patrons spatiaux de végétation et à leurs rôles potentiels dans le maintien de la diversité des communautés végétales, le fonctionnement de l'écosystème prairial et sa stabilité.

Nous analyserons comment l'hétérogénéité spatiale des conditions de milieu et les pratiques agricoles influencent la structuration de la végétation dans l'espace (Herben & Hara 2003). Nous porterons ici une attention particulière au rôle joué par les herbivores (Rossignol *et al.* 2010). Nous nous pencherons également sur l'influence de processus biologiques propres aux plantes pérennes comme la propagation végétative (Lafarge, Mazel, & Hill 2005).

Dans un second temps nous aborderons le rôle de ces structures spatiales dans les mécanismes de coexistence des espèces (Wilson 2011). Nous verrons plus particulièrement l'importance de la ségrégation des espèces ou de stratégies écologiques à échelle fine dans l'assemblage des communautés végétales d'un paysage alpin. Nous discuterons ensuite d'effets observés de l'agrégation spatiale des espèces sur la productivité des prairies et leur stabilité (Monzeglio & Stoll 2005).

Les besoins de recherches visant à une meilleure compréhension des mécanismes qui sous-tendent l'apparition et le rôle des structures spatiales végétales dans les prairies permanentes seront discutés. Nous concluons sur l'intérêt de considérer explicitement les structures spatiales végétales dans une démarche agro-écologique de gestion des prairies.

### Références bibliographiques :

- Dumont, B., Carrère, P., Ginane, C., Farruggia, A., Lanore, L., Tardif, A., Decuq, F., Darsonville, O. & Louault, F. (2011) Plant-herbivore interactions affect the initial direction of community changes in an ecosystem manipulation experiment. *Basic and Applied Ecology*, 12, 187-194.
- Herben, T. & Hara, T. (2003) Spatial pattern formation in plant communities. *Morphogenesis and pattern formation in biological systems - experiments and models.* (eds P.K. Maini, Sekimura T., N. S. & N. Ueno), pp. 223-235. Springer-Verlag, Tokyo.
- Lafarge, M., Mazel, C. & Hill, D.R.C. (2005) A modelling of the tillering capable of reproducing the fine-scale horizontal heterogeneity of a pure grass sward and its dynamics. *Ecological Modelling*, 183, 125-141.
- Monzeglio, U. & Stoll, P. (2005) Spatial patterns and species performances in experimental plant communities. *Oecologia*, 145, 619-628.
- Rossignol, N., Chadouef, J., Carrère, P. & Dumont, B. (2010) A hierarchical model for analysing the stability of vegetation patterns created by grazing in temperate pastures. *Applied Vegetation Science*, no-no.
- Wilson, J.B. (2011) The twelve theories of co-existence in plant communities: the doubtful, the important and the unexplored. *Journal of Vegetation Science*, 22, 184-195.

## Contribution des systèmes racinaires dans le fonctionnement des prairies permanentes

Catherine Picon-Cochard, Catherine Roumet, Pablo Cruz, Claire Jouany

Les systèmes racinaires sont une composante essentielle des prairies puisqu'ils peuvent représenter jusqu'à 90% de la biomasse totale. Ils assurent des fonctions d'ancrage, d'absorption hydrique et minérale, apportent du carbone et de l'azote dans la matière organique lors de leur décomposition, mais aussi des composés solubles qui sont utilisés par les microbes du sol. Ils représentent donc un support indispensable à la production aérienne et au fonctionnement du sol. Cependant, les racines restent le compartiment des plantes le moins étudié notamment *in situ*. Dans cette présentation, nous montrerons d'abord les spécificités des systèmes racinaires des prairies permanentes par rapport à d'autres écosystèmes (allocation, variabilité spatiale et temporelle...). Nous aborderons ensuite les apports de l'approche d'écologie fonctionnelle en matière de systèmes racinaires, en considérant deux types d'études :

- Des études au niveau espèce, où l'analyse comparative des systèmes racinaires des espèces prairiales cultivées en jardin expérimental a permis de dégager quelques principes généraux reliant d'une part, structure et fonctionnement des racines, d'autre part traits racinaires et traits aériens ;
- Des études au niveau des communautés, composées d'un assemblage de racines dont l'identification reste un véritable problème. Les objectifs sont alors d'analyser la réponse des systèmes racinaires au mode de gestion des prairies (coupe, fertilisation, pâturage...), et leurs effets sur le fonctionnement des prairies.

Pour terminer, nous aborderons les verrous méthodologiques qui rendent difficile la comparaison des travaux menés sur les systèmes racinaires.

## Diversité spontanée et diversité améliorée des espèces fourragères : de l'adaptation environnementale à l'adaptation agronomique.

Sampoux Jean-Paul et Bernadette Julier

La diversité naturelle des prairies permanentes et les variétés de pays locales ont constitué la ressource génétique initiale qui a permis de développer les premiers travaux d'amélioration génétique des espèces fourragères. Aujourd'hui, les sélectionneurs procèdent encore régulièrement à des collectes de diversité naturelle ou peu améliorée afin d'enrichir leurs pools de sélection. Cette pratique a notamment un grand intérêt pour introgresser dans le matériel génétique amélioré de nouvelles sources de résistance/tolérance aux stress biotiques et abiotiques. De telles sources de diversité sont le plus facilement collectées en échantillonnant des sites positionnés aux extrémités de la zone de tolérance de l'espèce recherchée sur certains gradients macro-environnementaux. Afin d'orienter et d'optimiser ce travail de collecte, il est nécessaire d'avoir une connaissance de la niche environnementale de l'espèce et la distribution environnementale de la diversité des traits au sein de l'espèce (Sampoux et Huyghe, 2009 ; Sampoux et Badeau, 2009). Cependant, l'adaptation agronomique classique et l'adaptation naturelle ne se correspondent que partiellement. Les sources naturelles convenant pour l'adaptation agronomique dans un environnement donné proviennent souvent d'autres environnements. A partir de sources de diversité présentant des qualités (traits) différentes et complémentaires, l'objectif fondamental de l'amélioration génétique est de cumuler ces avantages dans un même individu grâce à la recombinaison génétique. Les concepts et méthodes de l'amélioration génétique appliqués aux espèces fourragères ont apporté des progrès importants sur les caractères agronomiques classiques (Sampoux et al., 2011). Ces outils méthodologiques permettent de piloter simultanément l'amélioration de plusieurs traits (Itoh et Yamada, 1988 ; Sampoux et Gallais, 1996). Ils peuvent prendre en compte de nouveaux traits au-delà des traits agronomiques classiques, y compris l'aptitude à la compétition en peuplements denses (Casler, 2008 ; Casler et Brummer, 2008). De nouvelles possibilités de marquage moléculaire dense permettent aujourd'hui de renforcer l'efficacité et la rapidité de l'amélioration génétique (Roldan-Ruiz et Koelliker, 2009) et mieux piloter la diversité intra-variété (Koelliker et al., 2005). Les techniques de l'amélioration génétique pourraient d'autre part permettre de construire des phénotypes expérimentaux permettant de valider la valeur agro-écologique de certaines combinaisons de traits novatrices.

Références bibliographiques :

- Casler M.D. (2008) Among and within family selection in eight forage grass populations. *Crop Science* 48: 434-442.
- Casler M.D., Brummer E.C. (2008) Theoretical expected genetic gains for among and within family selection methods in perennial forage crops. *Crop Science* 48: 890-902.
- Koelliker R., Boller B., Widmer F. (2005) Marker assisted polycross breeding to increase diversity and yield in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Euphytica* 146: 55-65.
- Itoh Y., Yamada Y. (1988) Selection indices for desired relative genetic gains with inequality constraints. *Theor. Appl. Genet.* 75: 731-735.
- Roldan-Ruiz I, Koelliker R. (2009) Marker-assisted selection in forage crops and turf: a review. In: Huyghe C. (ed), *Sustainable use of genetic diversity in forage and turf breeding*. Springer, Dordrecht, pp. 29-40.
- Sampoux J.P., Gallais A. (1996) Expected genetic gains in testcross and S1 performances for several populations of silage maize with combined S1-testcross selection. *Maydica* 41: 167-179.
- Sampoux J.P., Huyghe C. (2009) Contribution of ploidy-level variation and adaptive trait diversity to the environmental distribution of taxa in the 'fine-leaved fescue' lineage (genus *Festuca* subgenus *Festuca*). *Journal of Biogeography* 36: 1978-1993.
- Sampoux J.P., Badeau V. (2009) Empirical niche modelling of the spontaneous diversity of forage and turf species to improve collection and ex situ conservation. In: Huyghe C. (ed), *Sustainable use of genetic diversity in forage and turf breeding*. Springer, Dordrecht, pp. 29-40.
- Sampoux J.P., Baudouin P., Bayle B., Béguier V., Bourdon P., Chosson J.F., Deneufbourg F., Galbrun C., Ghesquière M., Noël D., Pietraszek W., Tharel B., Viguié A. (2011) Breeding perennial grasses for forage usage : an experimental assessment of trait changes in diploid perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) cultivars released in the last four decades. *Field Crops Research* 123: 117-129.

## **Diversité des modes de gestion des prairies pour concilier production et biodiversité.**

Tichit M. et al.

## **Diversité des modes de gestion des prairies pour concilier production et biodiversité dans les territoires herbagers**

Muriel Tichit<sup>1</sup>, Rodolphe Sabatier<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>INRA, umr 1048 SADAPT, AgroParisTech, 16 rue Claude Bernard 75005 Paris

<sup>2</sup>Universität de Göttingen, Department of Ecosystem Modelling, Allemagne ; Corresponding author: [muriel.tichit@agroparistech.fr](mailto:muriel.tichit@agroparistech.fr)

Après une vingtaine d'années de mise en œuvre, les mesures agro-environnementales n'ont pas permis d'enrayer le déclin de la biodiversité des paysages agricoles. Les paysages herbagers n'échappent pas à ce constat. Des études récentes défendent l'idée que des mesures efficaces demanderaient non seulement de développer des pratiques favorables à la biodiversité à l'échelle de la parcelle mais aussi de favoriser des pratiques et des agencements spatiaux de ces pratiques qui accroissent l'hétérogénéité des paysages. On dispose à ce jour de peu de quantifications dans des paysages plus ou moins hétérogènes. Dans cette présentation nous montrons que pour appréhender les questions d'hétérogénéité des paysages, il est nécessaire de comprendre les interactions entre les pratiques et le cycle de vie des espèces enjeux de conservation. Il est également nécessaire de catégoriser la diversité des pratiques. A partir d'une étude de cas sur un territoire herbager abritant plusieurs espèces d'oiseaux prairiaux, nous proposons une lecture fonctionnelle de la diversité des pratiques (fauche, pâturage). En ciblant les stades sensibles du cycle de vie des oiseaux, cette lecture fonctionnelle permet de catégoriser la diversité des pratiques au regard de leurs effets sur la fécondité et la survie des oiseaux. Cette catégorisation est ensuite mobilisée pour simuler des paysages au sein desquels les pratiques se compensent ou se complémentent. Le modèle de simulation permet ensuite d'explorer dans différents paysages l'effet de l'agencement spatial des pratiques sur l'arbitrage entre production fourragère et conservation de la biodiversité. Nous montrons que pour des espèces mobiles telles que les oiseaux, l'hétérogénéité du paysage est un levier potentiel pour améliorer la biodiversité tout en maintenant la performance productive. Nous discutons les perspectives de cette approche dans le cadre d'enjeux de conservation multiples et éventuellement conflictuels.

- Durant D., Tichit M., Kerneis E. and Fritz H. 2008. Management of agricultural wet grasslands for breeding waders: integrating ecological and livestock system perspectives - a review. *Biodiversity Conservation* 17: 2275-2295.
- Fahrig L., Baudry J., Brotons L., Burel F.G., Crist T.O., Fuller R.J., Sirami C., Siriwardena G.M. and Martin J.L. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters* 14: 101-112.
- Sabatier, R., Doyen, L. & Tichit, M. 2010 Modelling trade-offs between livestock grazing and wader conservation in a grassland agroecosystem. *Ecol Mod*, 221, 1292-1300.
- Tichit, M., Doyen, L., Lemel, J. Y., Renault, O. & Durant, D. 2007 A co-viability model of grazing and bird community management in farmland. *Ecological Modelling*, 206, 277-293.
- Tscharntke T., Klein A.M., Kruess A., Steffan-Dewenter I. and Thies C. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. *Ecology Letters* 8: 857-874.
- Sabatier R, Doyen L, Tichit M (2010b). Reconciling production and conservation in agro-landscape, does landscape heterogeneity help?, *Innovation and sustainable development in agriculture and food*, Montpellier 06/2010, 10 p. [http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/51/05/52/PDF/Sabatier\\_Reconciling\\_production.pdf](http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/51/05/52/PDF/Sabatier_Reconciling_production.pdf)

### ***SESSION 3 - Production de connaissances sur les choix de plantes (ou d'organes) par les ruminants au pâturage et conséquences sur les productions.***

#### **Les capacités cognitives impliquées dans la sélection alimentaire des ruminants pâturant des prairies diversifiées -**

Ginane C., B. Dumont, A. Favreau-Peigné

UR1213 Herbivores, INRA Theix

Au pâturage, la sélection alimentaire des herbivores va d'une part déterminer la qualité de leur régime et d'autre part influencer la répartition qualitative et quantitative des ressources végétales. Ce comportement résulte d'un ensemble de décisions prises par l'animal (où consommer, quoi consommer, combien consommer) et dépend directement de la perception qu'il a de son environnement alimentaire. Les capacités cognitives incluent les aptitudes de perception, d'apprentissage et de mémorisation qui permettent à l'animal d'adapter son comportement aux contraintes de son environnement (Dukas 2004). Dans des milieux diversifiés tels que les prairies permanentes, la diversité des stimuli à la fois sensoriels et digestifs peut affecter ces capacités cognitives et donc la sélection des animaux et son impact sur la prairie.

Peu d'études ont directement testé le développement sensoriel des ruminants et leurs capacités de perception mais de nombreuses expérimentations indiquent que ces animaux sont capables de discriminer certaines espèces végétales (Edwards et al. 1997), des différences de hauteur (Bazely 1990) ou de maturité du couvert. En revanche, on ne sait pas comment la diversité affecte leurs capacités de perception.

Concernant l'apprentissage, les ruminants sont capables d'apprendre à associer un aliment (reconnu sensoriellement) avec les conséquences ressenties après son ingestion, que ces conséquences soient positives (récompense nutritionnelle) ou négatives (toxicité) (Provenza 1995). Lorsque l'environnement alimentaire se complexifie, e.g. que plusieurs aliments sont offerts simultanément ou que les aliments sont associés à des conséquences antagonistes, leur capacité à faire les bonnes associations se réduit (Duncan et Young 2002; Ginane et al. 2005). Cependant, certaines limites de la procédure expérimentale pourraient participer à expliquer cette difficulté et suggèrent une importance particulière des caractéristiques sensorielles des aliments qui, en servant d'indicateurs, permettraient à l'animal d'anticiper les conséquences et faciliteraient ses apprentissages (Favreau et al. 2010).

Pour qu'une caractéristique sensorielle devienne un indicateur, l'animal doit être capable de généraliser sa connaissance aux autres aliments possédant cette caractéristique. En milieux complexes, les capacités des animaux à catégoriser les aliments sur la base de certaines caractéristiques pourraient réduire la quantité d'information à traiter et augmenter leur efficacité alimentaire. Ces questions ont jusqu'ici été peu traitées chez les herbivores mais les quelques

études qui s'y sont intéressées montrent l'existence, chez les ovins, de capacités de catégorisation de certaines plantes notamment selon leur espèce et leur famille botanique (Ginane et Dumont 2011).

Les ruminants sont donc capables de discriminer certains aliments, d'apprendre leurs caractéristiques et de les classer dans différentes catégories. Il reste cependant beaucoup de questions quant à l'étendue de ces capacités cognitives et quant à la nature des caractéristiques végétales qui sont primordiales dans ces processus de perception, apprentissage et catégorisation.

#### Références bibliographiques :

- Bazely D.R. 1990. Rules and cues used by sheep foraging in monocultures. In: Behavioural Mechanisms of Food Selection (Ed. by R.N. Hughes), pp. 343-367. Springer-Verlag Berlin.
- Dukas R. 2004. Evolutionary biology of animal cognition. Annual Review of Ecology Evolution and Systematics, 35, 347-374.
- Duncan A.J., Young S.A. 2002. Can goats learn about foods through conditioned food aversions and preferences when multiple food options are simultaneously available? Journal of Animal Science, 80, 2091-2098.
- Edwards G.R., Newman J.A., Parsons A.J., Krebs J.R. 1997. Use of cues by grazing animals to locate food patches: an example with sheep. Applied Animal Behaviour Science, 51, 59-68.
- Favreau A., Baumont R., Duncan A.J., Ginane C. 2010. Sheep use pre-ingestive cues as indicators of post-ingestive consequences to improve food learning. Journal of Animal Science, 88, 1535-1544.
- Ginane C., Duncan A.J., Young S.A., Elston D.A., Gordon I.J. 2005. Herbivore diet selection in response to simulated variation in nutrient rewards and plant secondary compounds. Animal Behaviour, 69, 541-550.
- Ginane C., Dumont B. 2011. Do sheep (Ovisaries) categorize plant species according to botanical family? Animal Cognition, 14, 369-376.
- Provenza F.D. 1995. Post-ingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. Journal of Range Management, 48, 2-17.

## Réponses animales aux caractéristiques morphologiques des plantes en prairies temporaires, conséquences pour l'amélioration variétale

Delagarde R.<sup>1</sup> et Barre P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UMR1080 INRA-Agrocampus Ouest, Production du Lait, 35590 Saint-Gilles

<sup>2</sup> INRA, UR Pluridisciplinaire Prairies & Plantes Fourrage, 86600 Lusignan

L'ingestion des ruminants au pâturage dépend de la facilité de récolte de l'herbe par l'animal (disponibilité et préhensibilité). A court terme (min-heure), l'influence positive forte de la hauteur de l'herbe, de sa masse volumique et de la proportion de feuilles (hauteur des limbes) sur la prise alimentaire (poids et fréquence des bouchées, vitesse d'ingestion) ont été largement étudiées et quantifiées. A moyen terme (jour-semaine), la défoliation est schématiquement réalisée par strates successives, le nombre de strates pâturées dépendant directement de la pression de pâturage instantanée, donc du système de pâturage (continu, tournant, rationné) et/ou de la quantité d'herbe offerte par jour. Les faibles biomasses (hauteurs) constituent toujours un frein à l'ingestion, quel que soit le système de pâturage, la réduction de vitesse d'ingestion n'étant pas compensée par un allongement suffisant de la durée d'ingestion. A biomasse plus élevée (pâturage tournant ou rationné principalement), la présence de gaines foliaires ou de tiges dans la strate défoliée constitue le principal frein à l'ingestion même pour des espèces de bonne qualité et des hauteurs élevées. Dans ces conditions, l'état initial de la prairie (biomasse, hauteur totale, % feuilles, hauteur de limbes) ne permet pas d'estimer l'ingestion journalière durant l'ensemble de la période de pâturage. Celle-ci est bien mieux estimée par la proportion de temps passé à pâturer les strates riches en gaines foliaires. En conclusion, en pâturage tournant ou rationné, sur l'ensemble du temps de séjour dans la parcelle, les deux meilleurs prédicteurs connus de l'ingestion journalière des vaches laitières sont la quantité d'herbe offerte par animal au-dessus de 2 cm (ingestion limitée lorsque l'offert est inférieur à 1,7 fois l'ingestion potentielle) et la hauteur de limbes résiduelle (HLR, ingestion limitée lorsque HLR est inférieure à 4-5 cm, soit le début de défoliation des gaines). Ces relations entre l'ingestion au pâturage et la structure du couvert conduisent à définir des idéotypes présentant i/ peu de remontaison, ii/ un rapport entre les longueurs limbe/ gaine élevé et iii/ une bonne ingestibilité/préhensibilité des gaines foliaires. Ces critères s'ajoutent au rendement assuré par une vitesse de croissance végétative importante (longueur de limbe et biomasse par talle élevées). Un travail de sélection important chez les graminées fourragères a

permis de limiter considérablement la remontaison. Les efforts pour augmenter le rapport des longueurs limbe/gaine n'ont pas porté leurs fruits, ce caractère étant peu variable génétiquement. Les critères d'amélioration de l'ingestibilité des gaines foliaires restent à déterminer.

Références bibliographiques :

- Barre P, Emile JC, Betin M, Surault F, Ghesquière M, Hazard L (2006) Morphological characteristics of perennial ryegrass leaves that influence short-term intake in dairy cows. *Agronomy Journal* 98, 978-985.
- Barre P, Moreau L, Mi F, Turner L, Gastal F, Julier B, Ghesquière M (2009) Quantitative trait loci for leaf length in perennial ryegrass. *Grass and Forage Science* 64: 310-321.
- Sampoux JP, Baudouin P, Bayle B, Beguier V, Bourdon P, Chosson JF, Deneufbourg F, Galbrun C, Ghesquière M, Noel D, Pietraszek W, Tharel B, Viguie A (2011) Breeding perennial grasses for forage usage: an experimental assessment of trait changes in diploid perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) cultivars released in the last four decades. *Field Crops Research* 123, 117-129.
- Delagarde R, Peyraud JL, Parga J, Ribeiro Filho HMN (2001) Caractéristiques de la prairie avant et après un pâturage: quels indicateurs de l'ingestion chez la vache laitière ? *Rencontres Recherches Ruminants* 8, 209-212.
- Delagarde R, Faverdin P, Baratte C, Peyraud JL (2011) Grazeln: a model of herbage intake and milk production for grazing dairy cows. 2. Prediction of intake under rotational and continuously stocked grazing management. *Grass and Forage Science* 66, 45-60.
- Hazard L (1995) Génétique du développement foliaire chez le ray-grass anglais (*Lolium perenne* L.): amélioration de la valeur d'utilisation. Thèse Institut National Agronomique Paris-Grignon. 110 pp.
- Herrero M, Dent JB, Fawcett RH (1998) The plant/animal interface in models of grazing systems. In 'Agricultural systems modeling and simulation'. (Eds RM Peart and RB Curry) pp. 495-542. (Marcel Dekker Inc.: New York)
- Prache S, Peyraud JL (1997) Préhensibilité de l'herbe pâturée chez les bovins et les ovins. *INRA Productions Animales* 10, 377-390.

**Relations entre la composition botanique et fonctionnelle des prairies permanentes, leur production et leur valeur nutritive pour les ruminants : les enseignements des études menées sur des réseaux de parcelles à large échelle.**

R. Baumont, A. Michaud, P. Carrère, S. Plantureux

La production et la valeur nutritive, ainsi que leurs dynamiques saisonnières, sont les principaux critères d'aptitude permettant de caractériser la valeur fourragère d'une prairie. Dans le cas des prairies permanentes, la complexité du mélange d'espèces appartenant à différentes familles botaniques, rend l'évaluation et la prévision de ces critères d'aptitude difficile, en raison des différences de production et de valeur entre espèces à un même stade phénologique et des différences de stade de maturité entre espèces à même date de mesure. Pour pallier cette difficulté et la lourdeur des mesures détaillées de la composition botanique, l'utilisation de la typologie fonctionnelle des graminées (Cruz et al, 2010) peut être envisagée. En effet, le classement des graminées en types fonctionnels selon des traits foliaires, en particulier la teneur en matières sèche des limbes réhydratés, présente des liaisons avec leur potentiel de production et leur digestibilité (Louault et al, 2005 ; Pontes et al, 2007).

Nous avons cherché à tester les relations entre les types fonctionnels de graminées, la production et la valeur nutritive des prairies à différentes échelles de temps et d'espace.

L'étude, dans un même environnement de trois prairies contrastées en termes de type fonctionnels de graminées (Type C versus Type A ou Type Bb), montre des différences nettes dans le potentiel et la dynamique saisonnières de production et de valeur nutritive de ces prairies (Michaud et al, 2011). La prairie de type C est moins productive, présente une valeur nutritive plus faible, mais l'évolution de ces critères est plus progressive au cours du 1<sup>er</sup> cycle de végétation. De plus ces différences persistent sur plusieurs cycles de végétation successifs au cours de la saison de végétation.

D'autres études ont été conduites sur des réseaux de parcelles couvrant un large gradient de situations pédoclimatiques et de pratiques (réseau PrairiesAOP en Auvergne, et réseau national Prairies Permanentes). Seuls les résultats du réseau national seront évoqués ici.

A l'échelle du réseau national de 190 prairies, la caractérisation par les types fonctionnels des graminées utilisée seule a un pouvoir explicatif limité des différences de production et de valeur

nutritive entre prairies. Seul le type C, présent en abondance dans les prairies d'altitude, ressort nettement. L'abondance en types C s'oppose à la production printanière et à la valeur nutritive de la prairie, mais favorise la stabilité de cette qualité au cours du printemps. La composition en familles botaniques (légumineuses, diverses) doit être prise en compte. Ainsi la proportion de légumineuses dans la prairie est associée à une valeur nutritive élevée tant au début qu'à la fin du printemps et pour les repousses, mais elle s'oppose plutôt à la production de biomasse. En effet, globalement les prairies les plus productives sont aussi celles dont la qualité diminue le plus au printemps. La proportion de diverses favorise la stabilité de la qualité.

Il semble donc important d'associer les informations relatives aux familles botaniques et aux types de graminées pour expliquer la variabilité de la valeur fourragères des prairies permanentes.

#### Références bibliographiques :

- Cruz P, Theau J.P., Lecloux E., Jouany C., Duru M, 2010. Typologie fonctionnelle de graminées fourragères pérennes: une classification multitraits. *Fourrages*, 201, 11-17.
- Launay F., Baumont R., Plantureux S., Farrie J-P., Michaud A. et Pottier E., 2011. Prairies Permanentes : des références pour valoriser leur diversité. Ed. Institut de l'Élevage. 128 pages.
- Louault, F., Pillar, V.D., Aufrère, J., Garnier, E., Soussana, J.F. (2005). Plant traits and functional types in response to reduced disturbance in a semi-natural grassland. *Journal of Vegetation Science* 16 151-160.
- Michaud A., 2011. Evaluation des services fourragers et environnementaux des prairies permanentes à partir de la végétation, du milieu et des pratiques de gestion. Thèse de Doctorat. INPL, 291 p.
- Michaud A., Andueza D., Plantureux S. et Baumont R., 2011. Seasonal dynamics of biomass production and herbage quality of three grasslands with contrasting functional compositions. *Grass and Forage Science*, doi: 10.1111/j.1365-2494.2011.00821.x
- Pontes, L., Soussana, J.F., Louault, F., Andueza, D, Carrere, P., (2007b) Leaf traits affect the above-ground productivity and quality of pasture grasses. *Functional Ecology* 21, 844-853.

## **Le rôle potentiel des métabolites secondaires présents dans les espèces prairiales sur leur utilisation digestive par les ruminants et les rejets dans l'environnement -**

Niderkorn V., Aufrère J., Julier B., Baumont R. -

De nombreuses espèces prairiales, en particulier les légumineuses, sont riches en métabolites secondaires dont certains sont potentiellement bioactifs sur les processus digestifs chez les ruminants. Les principales activités biologiques recherchées sont celles permettant de concilier valeur énergétique, valeur azotée des plantes, diminution des rejets azotés et des émissions de méthane entérique, et amélioration de la santé animale. Deux grandes familles de métabolites secondaires sont particulièrement concernées : i) les composés polyphénoliques parmi lesquels on retrouve les tanins condensés (TC) présents notamment dans le sainfoin, le lotier corniculé, le lotier pédonculé et le sulla. Les TC permettent de réduire la protéolyse ruminale par liaison aux protéines et par voie de conséquence de modifier la partition des rejets azotés vers une diminution de l'azote urinaire [7]. Les TC présentent également des activités antiparasitaires et anti-météorisation, et pourraient diminuer les émissions de méthane [9]. Les effets des TC sont modulés par différents facteurs tels que leur concentration et leur structure (degré de polymérisation, rapport prodelphinidine/procyanidine, conformation dans l'espace cis:trans). Ces différents facteurs varient selon les espèces, les variétés au sein d'une même espèce, le stade phénologique, les organes de la plante, le mode de conservation du fourrage et l'environnement [8]; ii) les terpénoïdes dont les saponines, notamment présentes dans la luzerne, réduisent les populations de protozoaires dans le rumen et affectent ainsi indirectement la synthèse microbienne et les émissions de méthane par inhibition des bactéries archaées-méthanogènes [2]. A ces deux familles de métabolites secondaires, s'ajoute l'action d'une enzyme, la polyphénol oxydase présente dans le trèfle violet mais aussi dans certaines graminées, notamment le dactyle [4,5]. Cette enzyme catalyse, en présence d'oxygène, l'oxydation des phénols en quinones capables de former des complexes avec les protéines qui sont par conséquent moins dégradées dans l'ensilage et dans le rumen. Les métabolites secondaires des espèces prairiales représentent donc un potentiel intéressant pour agir sur les processus digestifs des ruminants. Il existe une variabilité génétique pour la teneur de ces composés dans les plantes, des objectifs de teneurs optimales à atteindre doivent être définis selon les usages envisagés. De nombreuses questions subsistent pour compléter les connaissances acquises comme les possibles interactions digestives entre plantes fourragères contenant des métabolites secondaires [1,3,6].

Références bibliographiques :

- Aufrère, J., Dudilieu, M., Poncet, C., Baumont, R., Dumont, B. 2007. Effect of condensed tannins in sainfoin on in vitro protein solubility of lucerne as affected by the proportion of sainfoin in the mixture and the preserving conditions. *Options Méditerranéennes Serie A*, 74, 63-66.
- Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H.P.S., Becker, K. 2002. The biological action of saponins in animal systems: a review. *British Journal of Nutrition*, 88, 587-605.
- Julier, B., Lila, M., Huyghe, C., Morris, P., Allison, G., Robbins, M. 2003. Effet des tannins condensés sur la solubilité des protéines de légumineuses fourragères. *Fourrages*, 175, 373-377.
- Lee, M.R.F., Olmos Colmenero, J.J., Winters, A.L., Scollan, N.D., Minchin, F.R. 2006. Polyphenol oxidase activity in grass and its effect on plant-mediated lipolysis and proteolysis of *Dactylis glomerata* (cocksfoot) in a simulated rumen environment. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 1503-1511.
- Lee, M.R.F., Tweed, J.K.S., Minchin, F.R., Winters, A.L. 2009. Red clover polyphenol oxidase: Activation, activity and efficacy under grazing. *Animal Feed Science and Technology* 149, 250-264.
- Niderkorn, V., Baumont, R., Le Morvan, A., Macheboeuf, D. 2011. Occurrence of associative effects between grasses and legumes in binary mixtures on in vitro rumen fermentation characteristics. *Journal of Animal Science*, 89, 1138-1145.
- Theodoridou, K., Aufrère, J., Andueza, D., Pourrat, J., Le Morvan, A., Stringano, E., Mueller-Harvey, I., Baumont, R. 2010. Effects of condensed tannins in fresh sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) on in vivo and in situ digestion in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 160, 23-38.
- Theodoridou, K., Aufrère, J., Niderkorn, V., Andueza, D., Le Morvan, A., Picard, F., Baumont, R. 2011. In vitro study of the effects of condensed tannins in sainfoin on the digestive process in the rumen at two vegetation cycles. *Animal Feed Science and Technology* 170, 147-159.
- Waghorn, G. 2008. Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production. Progress and challenges. *Animal Feed Science and Technology*, 147, 116-139.

## **Influence de la composition botanique des prairies sur leur composition en microconstituants d'intérêt : polyphénols, caroténoïdes, vitamines, et sur la composition des produits.**

Graulet B., Cornu A., Martin B., Farrugia A.

UR1213 Herbivores INRA Theix 63122 Saint-Genès Champanelle

Cet exposé s'appuie sur l'expérimentation DIVFLO conduite en 2007 à l'Unité Expérimentale des Monts d'Auvergne à Marcenat dans laquelle la qualité de laits produits au pâturage a été étudiée dans 2 systèmes de pâturage différents.

Deux lots homogènes de vaches ont été mis à pâturer le 16 mai sur 2 prairies gérées différemment : l'herbe de la prairie **Bas Florac**, fertilisée, pâturée avec un chargement fort et une rotation rapide, était maintenue à un stade feuillu, de bonne valeur alimentaire et avec une **faible diversité botanique**. La prairie **Montagne Florac**, non fertilisée, pâturée avec un chargement faible, présentait une **diversité botanique élevée** et des stades de croissance hétérogènes, avec une valeur alimentaire moindre. La composition botanique des prairies, leur teneur en caroténoïdes, vitamines E et composés phénoliques ont été suivies au cours de la saison de pâturage, ainsi que la teneur en caroténoïdes, vitamines A et E et composés phénoliques des laits individuels.

La prairie Montagne Florac contenait plus de dicotylédones, aussi bien en proportion de la biomasse qu'en nombre d'espèces. Cette différence s'accompagnait, uniquement en début de saison de pâturage, d'une teneur supérieure en composés phénoliques solubles. La teneur en caroténoïdes totaux était 2 fois plus élevée dans la prairie Bas Florac. L'écart se maintenait tout au long de la saison de pâturage, avec un maximum en semaine 32 (début août). L'évolution était la même pour le tout-*trans*- $\beta$ -carotène, majoritaire, et l'ensemble des caroténoïdes, sauf la  $\beta$ -cryptoxanthine et l'anthéranthine dont les teneurs ne différaient pas entre les 2 prairies. La composition moyenne des caroténoïdes était proche, la lutéine et le tout-*trans*- $\beta$ -carotène étaient majoritaires et représentaient respectivement 35 et 19 % des caroténoïdes. Les teneurs en  $\alpha$ -tocophérol, principale forme de vitamine E, étaient semblables dans les 2 prairies et stables tout au long de la saison.

Six des 10 caroténoïdes identifiés dans l'herbe ont été retrouvés dans le lait. Les teneurs des laits en caroténoïdes totaux étaient très élevées, parmi les plus hautes que l'on obtienne généralement

au pâturage. En particulier, celle du lot Bas Florac qui était en moyenne 2 fois plus élevée que celle du lot Montagne Florac. Elle n'a augmenté qu'à partir de la semaine 24, soit 4 semaines après la mise à l'herbe, pour atteindre un maximum en semaine 30. Cette évolution était celle du tout-*trans*- $\beta$ -carotène, largement majoritaire (50% en moyenne). Les teneurs en lutéine, pourtant forte contributrice aux caroténoïdes totaux (17% en moyenne) n'ont pas suivi la même évolution : équivalentes dans les 2 lots, elles ont fortement baissé entre les semaines 20 et 24 et ont progressivement regagné leur valeur initiale en semaine 34. Les teneurs en vitamine A des laits sont restées relativement stables au cours de la saison de pâturage. Cependant, en semaine 30, les teneurs en vitamine A des laits Bas Florac ont augmenté et étaient supérieures à celles des laits Montagne Florac, en accord avec l'enrichissement simultané en tout-*trans*- $\beta$ -carotène qui en est le principal précurseur. Les teneurs en vitamine E étaient légèrement supérieures dans le lot Bas Florac, sauf en semaine 34 où ces teneurs ont fortement diminué.

En conclusion, les deux modes de gestion des prairies et les différences de niveau de biodiversité qui en résultaient, ont agi sur la composition et la teneur de l'herbe en microconstituants. Les teneurs en caroténoïdes supérieures de Bas Florac étaient dues au stade feuillu des plantes. Ces différences se sont reflétées dans le lait des vaches pâturant ces prairies. De même, les teneurs en vitamines A et E, bien que proches, étaient généralement supérieures dans les laits Bas Florac. Une étude de terrain a été réalisée dans le cadre du Réseau Prairies pour tester en conditions réelles l'influence du mode de gestion des prairies sur la composition de l'herbe et du lait.

## Quelles caractéristiques du fourrage pour quelle utilisation par l'animal - concepts et méthodes de mesure

Boval M., Lecomte P., Sauvant D. et al.

La connaissance de l'impact des caractéristiques des pâturages sur leur utilisation par l'animal est essentielle pour améliorer leur gestion. Ceux-ci ont un rôle majeur pour la productivité du bétail et la qualité de viande, la biodiversité, le stockage de carbone et différents autres services écologiques [2,4,9]. Cette importance est accrue en zone tropicale qui regroupe près de 60% des surfaces pâturées dans le monde, source principale source d'alimentation du bétail y compris dans les systèmes mixtes avec, souvent, un risque de surpâturage altérant la durabilité de ces systèmes. Enfin, dans ces zones, ces activités ont une portée sociale, religieuse et culturelle indéniable [2].

Divers travaux ont étudié l'impact de diverses caractéristiques du couvert (hauteur du couvert, biomasse totale ou en feuilles, teneur en azote...) sur l'utilisation par l'animal via le suivi du gain de poids (GMQ, g/j), de la digestibilité<sup>2</sup>, du comportement alimentaire<sup>3</sup>, ou plus rarement en mesurant l'ingestion, en conditions de pâturage [1,10,12]. Concrètement, tant au niveau du fourrage que de l'animal, les conclusions de ces travaux sont variables, parfois contradictoires, en raison de la diversité des méthodes utilisées en sus des contextes des études. Enfin, à une autre échelle, les facteurs de variation testés (seuls ou combinés et pour un type de prairie donné), qui sont généralement des modalités de gestion de la prairie ou des animaux, vont des stades de repousse à la fertilisation, en passant par des variations du chargement (nb/ha) ou des quantités proposées (kgMS/animal) [2,3,5,10,11].

En dépit de nombreux travaux publiés, une meilleure valorisation et gestion des pâturages demeure un challenge particulièrement dans les systèmes de production tropicaux, présentant un large éventail d'espèces et de conditions climatiques. L'évaluation des systèmes de pâturage et leur valorisation doit reposer sur des critères pertinents, qui doivent i) être reliés à des variables de production tangibles, notamment le GMQ et ii) permettre une évaluation à court terme, autorisant un ajustement rapide des modalités de gestion. A ce titre la MODI<sup>4</sup>, produit de la digestibilité et des quantités ingérées, est un critère clé, représentatif de l'énergie métabolisable valorisable par l'animal et qui permet par ailleurs l'estimation d'autres critères déterminants (productivité à l'ha, méthane, eau bue, bilan énergétique). Il ne peut s'agir de la MODI mesurée en cage à bilan, en raison de l'absence de la prise en compte des paramètres liés à la structure du couvert [3,5]. Des méthodes basées notamment sur des indicateurs fécaux, représentatifs du fourrage réellement

<sup>2</sup> La digestibilité est généralement mesurée in vitro et constitue alors davantage une caractéristique du fourrage. La vraie digestibilité, mesurée avec l'animal, peut en revanche être considérée comme une caractéristique animale

<sup>3</sup> Le comportement alimentaire regroupe de nombreuses variables, généralement mesurées sur des pas de temps courts (<24h): fréquence, taille et profondeur de bouchées, vitesse d'ingestion, temps de pâturage et rumination.

<sup>4</sup> MODI : matière organique digestible ingérée, exprimée en g/j ou g/kgPV/j

consommé, sont nécessaires [8,13]. Les développements récents en SPIR5 laissent à penser qu'il sera bientôt envisageable de disposer d'une méthode encore plus fiable et portable sur le terrain, pour évaluer la MODI au pâturage [2,6]. La modélisation des processus à l'interface Herbe-Animal, basée sur des données mesurées en situations de pâturage, fournit un cadre privilégié pour des outils d'aide à la décision et à l'émergence de modalités innovantes de gestion<sup>6</sup> [1].

#### Références bibliographiques :

- 1 Boval M, Coppry O, Sauvant D. (2012) Sward-animal relationships at pasture: analysis of a database collected for cattle grazing tropical sward. *Journal of Animal Science* (soumis).
- 2 Boval, M. and R. Dixon (2012). "Grasslands for animal production and other functions in the tropics: importance, management, criteria and methodological progress." *Animal* (accepté).
- 3 Fanchone A, Archimède H, Delagarde R, Boval M. (2012) Nutrition of stall-fed and grazing animals at two stages of regrowth, *Animal* (in press).
- 4 Archimède, H., M. Eugène, Marie Magdeleine, C.Boval, M.Martin, C.Morgavi, D. P.Lecomte, P.Doreau, M. (2011). "Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes." *Animal Feed Science and Technology*, 2011, 166-167: 59-64.
- 5 Fanchone, A., H. Archimède, Baumont, R, Boval, M. (2010) Intake and digestibility of fresh grass fed to sheep indoors or at pasture, at two herbage allowances." *Animal Feed Science and Technology*, 2010, 157(3-4): 151-158.
- 6 Boval M, Ortega-Jimenez E, Fanchone A, Alexandre G. (2010) Diet attributes of lactating ewes at pasture using faecal NIRS and relationship to pasture characteristics and milk production. *Journal of Agricultural Science* 2010; 148(4): 477-485.
- 7 Alexandre G, Limea L, Fanchonne A, Coppry O, Mandonnet N, Boval M. (2009) Effect of forage feeding on goat meat production: carcass characteristics and composition of Creole kids reared either at pasture or indoors in the humid tropics. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 2009; 22(8): 1140-1150.
- 8 Fanchone A, Archimède H, Boval M. (2009) Comparison of fecal crude protein and fecal near-infrared reflectance spectroscopy to predict digestibility of fresh grass consumed by sheep. *Journal of Animal Science* 2009; 87(1): 236-243.
- 9 Limea L, Boval M, Mandonnet N, Garcia G, Archimède H, Alexandre G. (2009) Growth performance, carcass quality, and noncarcass components of indigenous Caribbean goats under varying nutritional densities. *Journal of Animal Science* 2009; 87(11): 3770-3781.
- 10 Boval M, Archimède H, Cruz P, Duru M. (2007) Intake and digestibility in heifers grazing a *Dichanthium* spp. dominated pasture, at 14 and 28 days of regrowth. *Animal Feed Science and Technology* 2007; 134(1/2): 18-31.
- 11 Assoumaya C, Boval M, Sauvant D, Xandé A, Poncet C, Archimède H. (2007) Intake and digestive processes in the rumen of rams fed with *Digitaria decumbens* harvested at four stages of grass regrowth age. *Asian Australasian Journal of Animal Science* 2007; 20(6): 925-932.
- 12 Boval M, Fanchone A, Archimède H, Gibb MJ. (2007) Effect of structure of a tropical pasture on ingestive behaviour, digestibility of diet and daily intake by grazing cattle. *Grass and Forage Science* 2007; 62(1): 44-54.
- 13 Fanchone A, Boval M, Lecomte P, Archimède H. (2007) Faecal indices based on near infrared spectroscopy to assess intake, in vivo digestibility and chemical composition of the herbage ingested by sheep (crude protein, fibres and lignin content). *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 2007; 15(2): 107-113.

---

<sup>5</sup> Boval et Dixon, 2011

<sup>6</sup> Au préalable, certaines modalités sont étudiées à l'URZ, en parallèle de l'étude approfondie des relations Herbe-Animal : le pâturage mixte caprins/bovins, le vermicompost comme moyen de fertilisation organique

## **SESSION 4 - (modérateur A.Farruggia) production de connaissances pilotée par la recherche de solutions localement adaptées sur la base d'outils génériques : enseignements d'une recherche en ingénierie agroécologique**

**Une recherche en ingénierie agro écologique pour concevoir des outils de gestion des prairies permanentes : de la caractérisation de l'aptitude à remplir des services fourragers à l'évaluation des services effectivement rendus**

Duru M. Theau JP, Jouany C Cruz P.

INRA UMR AGIR 1248 Toulouse

**Objectif** : concevoir, sur la base de connaissances génériques, des outils pour caractériser et prédire les services fourragers fournis par les prairies permanentes dans des contextes d'utilisation variés.

**Démarche** : Les résultats issus de la recherche ne peuvent pas être utilisés directement du fait de la très grande diversité de contextes naturels (sol, climat) et humains (diversité d'objectifs), et des tradeoffs entre services. Des outils de gestion doivent permettre de jouer le rôle d'objets intermédiaires entre des connaissances génériques et des applications. A cet effet, nous avons mobilisé les concepts d'écologie fonctionnelle suivants : traits d'effet et de réponse, mass ratio hypothesis, intermediate stress and disturbance hypothesis pour concevoir des outils relevant d'une ingénierie agroécologique et permettant de satisfaire à trois propriétés salience, légitimité et crédibilité

### **Etapes et principaux résultats**

1. Identification des services fourragers à instruire à partir de suivis d'élevage (productivité, digestibilité, temporalité et saisonnalité de la production, souplesse d'utilisation)
2. Evaluation des services fourragers à l'échelle des communautés par un ensemble de traits : (i) différences et similitudes entre graminées/ dicotylédones; (ii) validation de la robustesse de la Teneur en Matière Sèche (TMS) calculée (digestibilité; productivité et souplesse d'utilisation) ; (iii) limite de l'utilisation d'un seul trait pour caractériser la temporalité de production; (iv) préférence des utilisateurs pour une méthode basée sur des types fonctionnels plutôt que sur des traits
3. Analyse de la réponse de la TMS aux pratiques : méta analyse ; réponse au stress (température, nutriments) et à la défoliation
4. Intérêt de la diversité intra communauté et inter communautés dans les exploitations d'élevage
5. Construction d'une typologie de graminées multi traits ; définition de 5 types fonctionnels et évaluation pour caractériser l'aptitude des prairies à rendre des services fourragers
6. Analyse de la réponse des types fonctionnels aux caractéristiques du milieu et des pratiques (1300 communautés, 8 sites) ; prédiction de la réponse au changement de pratiques et du climat; analyse critique des groupes de réponse et d'effet pour évaluer les services fourragers ; les services intrants et les services hors revenus (stockage de carbone, diversité ordinaire).

### **Références bibliographiques :**

- Lavorel, S. & Garnier, E. 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology*, 16, 545-556
- Biswas, S. R. & Mallik, A. U. 2010. Disturbance effects on species diversity and functional diversity in riparian and upland plant communities. *Ecology*, 91, 28-35; Pfaff, M.C., Hiebenthal, C., Molis, M., Branch, G.M., Wahl, M. (2010). Patterns of diversity along experimental gradients of disturbance and nutrient supply- the confounding assumptions of the Intermediate Disturbance Hypothesis. *African Journal of Marine Science*, 32, 127-135)
- Odum H. 2003 Concepts and methods of ecological engineering. *Ecological Engineering*;20(5):339-361
- Cash DW, Clark WC, Alcock F, Dickson NM, Eckley N, Guston DH al. Knowledge systems for sustainable development . PNAS. 2003.
- Ansquer, P., Duru, M., Theau, J. P., & Cruz, P. (2009). Convergence in plant traits between species within grassland communities simplifies their monitoring. *Ecological Indicators*, 9, 1020-1029
- Duru M, Cruz P, Al Haj Kaled R, Ducourtieux C, Theau JP. 2008. Relevance of plant functional types based on leaf dry matter content for assessing digestibility of native grass species and species-rich grassland communities in spring" *Agronomy Journal*. 100, 6, 1622-1630.

- Duru, M., Cruz, P., Theau, J.P. (2010). Designing a simplified method for characterizing the agricultural value of species-rich grasslands through the functional composition of the vegetation. *Crop and Pasture Science*, 61, 420-433
- Martin, G., Cruz, P., Theau, J. P., Jouany, C., Fleury, P., Granger, S., Faivre, R., Balent, G., Lavorel, S., & Duru, M. (2009). A multi-site study to classify semi-natural grassland types. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129, 508-515
- Duru, M., Ansquer, P., Jouany, C., Theau, J.P., Cruz, P. (2010). Suitability of grass leaf dry matter content for assessing the response of grasslands to land use and fertility *Annals of Botany*, 106, 823-831
- Duru M Theau JP Cruz P 2011 Functional diversity of species-rich managed grasslands in response to fertility, defoliation and temperature *Basic and Applied Ecology* (in press)
- Duru M, Hossard L, Martin G, Theau JP (en rev.) Characterization and analysis of plant functional composition in grassland-based farms
- Cruz P., Theau J.P., Lecloux E., Jouany C., Duru M. (2010) : "Typologie fonctionnelle de graminées fourragères pérennes : une classification multitraits", *Fourrages*, 401, 11-17.
- Duru M., Cruz P., Jouany C., Theau J.P. HERB'TYPE © (2010C) : "Un nouvel outil pour évaluer les services de production fournis par les prairies permanentes", *Productions Animales*
- 1Duru M, Theau JP, Jouany C, Cruz P (en cours) A salient classification of (semi)natural grasslands based on plant functional types for predicting forage provision

## Recherche participative pour l'amélioration génétique des communautés prairiales

Laurent Hazard

UMR1248 Agir, INRA-SAD Toulouse ; [hazard@toulouse.inra.fr](mailto:hazard@toulouse.inra.fr)

Valoriser la diversité biologique et les processus éco-évolutifs est une piste à explorer pour améliorer l'adaptabilité des systèmes d'élevage tout en réduisant leur impact environnemental. Au paradigme de l'uniformisation issu la révolution verte succède celui de la diversification (Desclaux et al, 2008). Ce changement laisse entrevoir de nouvelles solutions techniques. Cependant, l'invention et la diffusion de celles-ci ne se feront pas sans changement de mode de production de connaissances et de systèmes socio-techniques et (Vanloqueren et Baret, 2009 ; Bonneuil et Thomas, 2009). Une première rupture consiste à adopter une logique de conception, dans laquelle l'engagement dans la création d'un prototype oriente l'effort de recherche. Une seconde rupture consiste à associer à ce travail les acteurs de terrain et notamment les agriculteurs (Chambers, 1983 ; Warner, 2007). Ce faisant, il s'agit de reconnaître leur capacité d'innovation et leur savoir gestionnaire. Leur capacitation est en effet indispensable pour l'élaboration de solutions valorisant les potentialités locales. Enfin, une dernière rupture consiste à raisonner le prototype en terme de concept, et non pas d'objet existant pour l'améliorer. Suivre cette démarche de conception innovante permet de s'affranchir des modèles existant pour penser simultanément les objets techniques et les systèmes dans lesquels ils s'insèrent (David, 2011). Cette approche est développée pour prototyper un nouveau mode d'amélioration génétique des communautés prairiales. En effet, des collectifs d'éleveurs s'engagent dans cette démarche car le dispositif actuel d'innovation variétale n'a pas la réactivité nécessaire pour proposer des semences adaptées aux évolutions en cours : changement climatique, conversion à l'AB, réduction des marges, recherche de diversité pour sécuriser les systèmes... Le travail que nous conduisons porte sur la re-conception du couple ressources génétiques/pratiques pour les cultures fourragères d'appoint et les mélanges prairiaux. L'innovation porte sur l'organisation de la sélection (prototypage de Maisons de la Semence, Projet CASDAR ProABiodiv), les schémas de sélection participative (Ceccarelli et Grando, 2007), évolutive (Scott et Martin, 2005) et récurrente (Gallais, 1990), et l'assemblage des espèces prairiales (développement d'un outil d'aide à la conception des mélanges, Projet Mélibio). L'écologie fonctionnelle et l'écologie évolutive sont mobilisées pour ce travail. L'utilisation des traits fonctionnels et du marquage moléculaire, de part leur facilité de mise en œuvre et leurs propriétés explicatives, permet de sélectionner à la ferme et de s'affranchir des protocoles de sélection en station. En cela, ce sont des outils d'autonomisation des collectifs engagés dans ces démarches. La sélection participative, et plus généralement, les approches participatives ne peuvent plus être considérées comme un expédient low-tech pour pays en développement.

Références bibliographiques :

- Bonneuil C., Thomas F. 2009. Gènes, pouvoirs et profits. Recherche publique et régimes de production des savoirs de Mendel aux OGM, Paris, Ed. Quae.
- Ceccarelli S., Grandi S. 2007. Decentralized-participatory plant breeding: an example of demand driven research. *Euphytica* 155, 3, 349-360.
- Chambers R. 1983. *Rural Development: Putting the Last First*, Longmans.
- Desclaux D., Nolot JM., Chiffolleau Y., Gozé E., Leclerc C. 2008. Changes in the concept of genotype × environment interactions to fit agriculture diversification and decentralized participatory plant breeding - pluridisciplinary points of view. *Euphytica*. 163, 533-546.
- David A. 2011. Régimes, théories et méthodes de la conception innovante. Séminaire « Innovation et agroécologie : une approche pluridisciplinaire pour un développement durable en agriculture » ; organisé par l'UMR AGIR 1248, INRA Toulouse, 31 janvier 2011.
- Gallais A. 1990. *Théorie de la sélection en amélioration des plantes*. Masson.
- Vanloqueren G., Baret P. 2009. How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations. *Research Policy*, 38, 971-983.
- Scott P., Martin W. 2005. Evolutionary plant breeding for low input systems. *Journal of Agricultural Science*, 143, 45-254.
- Warner KD. 2007. *Agroecology in Action: Extending Alternative Agriculture through Social Networks*. Cambridge: MIT Press.

### **Conception de typologies agro-environnementales des prairies permanentes : les enseignements et les questions posées à l'écologie fonctionnelle.**

Plantureux S., Amiaud B., Michaud A., Baumont R., Farruggia A. et Carrère P.

La diversité des prairies permanentes a conduit les agronomes et les écologues, depuis qu'ils s'intéressent à ces écosystèmes, à décrire cette diversité et à la formaliser sous forme de typologies. De nombreuses typologies régionales (Jeannin et al., 1991 ; Plantureux et al., 1993) et plus récemment une typologie nationale des prairies permanentes (Launay et al., 2011) ont ainsi été proposées en France. Parallèlement à ces typologies « localisées », des typologies basées sur des critères génériques (traits fonctionnels, catégories botaniques, ...) ont également vu le jour (Cruz et al., 2010). Les contextes, les finalités, les profils des auteurs et les modes d'élaboration de ces typologies sont assez variés.

Les premières typologies avaient essentiellement un but descriptif, afin de différencier les prairies selon leur composition botanique et leur potentiel fourrager. Agronomes et écologues ont ensuite cherché à caractériser les propriétés de ces types de prairies (ex : productivité, biodiversité), à comprendre les facteurs (milieu-sol-pratiques) expliquant ces types, et à prévoir l'évolution d'un type de prairie à un autre. Il s'agit alors de faire des typologies des outils de compréhension et d'aide à la décision, dans le cadre d'une gestion agronomique et/ou écologique des prairies, et même des outils de médiation entre agriculture et environnement (Petit et al., 2004). Les années 2000 ont vu l'avènement du concept de services éco-systémiques qui a encore élargi le champ des attentes vis-à-vis des typologies (Michaud et al., 2011a et 2011b).

Dans ce cadre, l'élaboration des typologies de prairies permanentes pose aujourd'hui trois principales questions à l'écologie fonctionnelle :

- 1) Quels sont les critères (traits, syndrome de traits, autres caractéristiques fonctionnelles) qui permettent de prédire les services éco-systémiques rendus par les prairies ? Quels services est-on aujourd'hui capable de prédire ?
- 2) Pour les critères dont la mesure est difficilement envisageable à grande échelle, comment peut-on évaluer ces critères à partir des bases de données ou des bases de connaissances existantes ?
- 3) En quoi les concepts de l'écologie fonctionnelle permettent-ils de mieux comprendre le déterminisme des types de prairies, et leurs dynamiques d'évolution ?

La présentation illustrera les réponses possibles à ces trois questions sur des exemples de typologies existantes.

Références bibliographiques :

- CRUZ P, THEAU J.P., LECLOUX E., JOUANY C., DURU M, 2010. Typologie fonctionnelle de graminées fourragères pérennes: une classification multitraits. *Fourrages*, 201, 11-17.
- JEANNIN B., FLEURY P., DORIOZ J.M., 1991. I-Typologie des prairies d'altitude des Alpes du Nord : méthode et réalisation. *Fourrages*, 128, 379-396.
- LAUNAY F., BAUMONT R., PLANTUREUX S., FARRIE J-P., MICHAUD A., POTTIER E., 2011. Prairies Permanentes : des références pour valoriser leur diversité. Ed. Institut de l'Élevage. 128 pages.
- MICHAUD A., PLANTUREUX S., AMIAUD B., CARRERE P., CRUZ P., DURU M., DURY B., FARRUGIA A., FIORELLI J-L., KERNEIS E., BAUMONT R., 2011a Identification Of The Environmental Factors Which Drive The Botanical And Functional Composition Of Permanent Grasslands. *The Journal Of Agricultural Science*, Available On Cjo 2011 Doi:10.1017/S0021859611000530.
- MICHAUD A., 2011b. Evaluation des services fourragers et environnementaux des prairies permanentes à partir de la végétation, du milieu et des pratiques de gestion. Thèse de Doctorat. INPL, 291 p.
- PETIT S., FLEURY P., VANSTEELANT J.Y., PLAIGE V., 2004. Les typologies de prairies : d'un outil agronomique à un objet de médiation entre agriculture et environnement. *Fourrages*, 179, 369-282.
- PLANTUREUX S., BONISCHOT R. GUCKERT A., 1993. Classification, vegetation dynamics and forage production of permanent pastures in Lorraine. *Eur. J. Agron.*, 2(1): 11-17

## **SESSION 5 - Les apports de la modélisation dans ces approches, on mobilisera des exemples d'intégration des traits fonctionnels dans les modèles**

### **Prise en compte de la plasticité des traits fonctionnels dans les modèles**

N.Viovy et al.

Une première « révolution » des modèles de végétation a eu lieu il y a une vingtaine d'années avec l'introduction de la notion de types fonctionnels de plantes qui permet de s'affranchir de la notion d'espèce pour représenter une plante « moyenne » décrite par un ensemble de paramètres et de paramétrisation. La notion de traits fonctionnels agrégés est ainsi implicitement représentée dans ces modèles. En revanche une limitation importante de cette approche est qu'une partie de ces traits (i.e les paramètres du modèles) sont fixés pour un type fonctionnel. Ainsi la variabilité spatiale est temporelle est décrite uniquement par les paramètres abiotiques. On ne prend ainsi pas en compte la plasticité des traits liée à la biodiversité et à la variabilité intra-spécifique. Depuis deux ou trois ans il existe donc une réflexion importante pour modifier la représentation des traits dans les modèles afin de mieux prendre en compte cette plasticité. On montrera, illustré par quelques exemples, l'état de cette réflexion qui passe d'abord par la possibilité de faire varier les traits fixés à l'intérieur d'un type fonctionnel pour aller dans un futur plus lointain peut être à la disparition de la notion de types fonctionnels remplacés simplement par la notion de différents assemblage de traits possibles pour des conditions abiotiques données.



**Prochain rendez vous : fin 2012,**

**Thème pressenti : Changements d'échelles (niveaux d'organisation écologique : plante, communauté, paysage) et niveau de gestion (parcelle, exploitation, territoire):**

- comment traiter de la diversité biologique intra et inter à différents niveaux de gestion.
- complémentarité d'échelle à rechercher pour répondre aux enjeux ( i.e., inter parcelles , inter exploitation, entre éléments paysagers ; entre activités au sein d'un territoire).