



HAL
open science

Adaptation génétique et intensification écologique: le double défi de l'adaptation des prairies semées au changement climatique

Jean-Louis Durand, Jerome Enjalbert, Laurent Hazard, Frederic Huard, Isabelle Litrico, Catherine Picon-Cochard, Marie-Pascale Prud'Homme, Florence Volaire

► To cite this version:

Jean-Louis Durand, Jerome Enjalbert, Laurent Hazard, Frederic Huard, Isabelle Litrico, et al.. Adaptation génétique et intensification écologique: le double défi de l'adaptation des prairies semées au changement climatique. Colloque présentant les méthodes et résultats du projet Climagie (métaprogramme ACCAF), Nov 2015, Poitiers, France. 223 p. hal-01233898

HAL Id: hal-01233898

<https://hal.science/hal-01233898v1>

Submitted on 25 Nov 2015

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.

16-17 novembre 2015 - Poitiers

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

ADAPTATION DES PRAIRIES SEMÉES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

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



ADAPTATION GÉNÉTIQUE ET INTENSIFICATION ÉCOLOGIQUE : LE DOUBLE DÉFI DE L'ADAPTATION DES PRAIRIES SEMÉES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

PLANT BREEDING AND ECOLOGICAL INTENSIFICATION: THE DOUBLE CHALLENGE FOR ADAPTING SOWN GRASSLANDS TO CLIMATE CHANGE

Jean-Louis Durand¹, Jérôme Enjalbert², Laurent Hazard³, Frédéric Huard⁴,
Isabelle Litrico¹, Catherine Picon Cochard², Marie-Pascale Prud'homme⁵,
Florence Volaire⁶.

Jean-louis.durand@lusignan.inra.fr

¹Inra, UR004 URP3F, F-86600 Lusignan, France, ²Inra, UREP, Clermont
Ferrand, France, ²URGV, Inra, Université de Paris-Sud – CNRS –
AgroParisTech Ferme du Moulon, F-91190 Gif-sur-Yvette, France,

³Inra, AGIR, Toulouse, France, ⁴Inra, AGROCLIM, Avignon, France,

⁵Université de Caen, EVA, Caen, France, ⁶Inra-CNRS, CEFV, Montpellier,
France.

RÉSUMÉ

Le projet climagie a réuni durant quatre années une trentaine de chercheurs autour de la question de l'amélioration des prairies semées, tant pour leur composition génétique que pour leur utilisation. La base de ce travail fut l'approfondissement des connaissances sur les réactions des plantes aux fortes températures et aux sécheresses intenses qui caractériseront le climat des décennies à venir. De nouvelles lois de réponse ont été établies et la variabilité génétique de leurs paramètres a été évaluée chez différentes espèces de graminées et légumineuses. Les bases génétiques et écophysiologiques de la dynamique des mélanges ont été précisées, et tout particulièrement le rôle de la diversité intra-spécifique. Les programmes conjoints entre la recherche Inra et les acteurs de terrains ont permis de cerner les objectifs d'amélioration. Des perspectives renouvelées sur les caractères de résistance à la sécheresse d'une part et sur de nouveaux schémas de sélection dédiés à des cultures en mélanges d'autre part ont été définies.

ABSTRACT

During four years, the climagie project brought together thirty researchers on the question of improving sown grasslands in terms of genetic composition and management. Such a

work was based on increasing and sharing knowledge about the plant's responses to severe drought and heat, which will be more frequent in the near future. New response functions were established and the genetic variability of their parameters was investigated in various species of legumes and grasses. Studies brought new insights into the genetic and ecophysiological basis of the dynamics of mixtures, especially as far as intra-specific diversity was concerned. The joined actions between INRA and stakeholders helped focusing research on needs of breeding and/or genetic resources management. On the one hand, new prospects on drought resistance traits were reported, and on the other, new breeding schemes dedicated to mixtures were defined.

INTRODUCTION : CLIMAGIE, UN PROJET DE COORDINATION DES RECHERCHES À L'INRA

Les besoins en production animale vont augmenter et la satisfaction des besoins fourragers va devoir faire appel à une utilisation intensive et écologique de la prairie (Neely *et al.*, 2009). Etant donné que les prairies couvrent 70 % de la surface totale dédiée à l'agriculture dans le monde, elles constituent un élément essentiel des écosystèmes agricoles. Le statut polyvalent des prairies (production de fourrage, protection du sol, stockage de carbone, conservation de la biodiversité) est aujourd'hui bien reconnu (Hervieu, 2002). Il est donc certain que le changement climatique a dès à présent un impact sur les services des agro-écosystèmes, en affectant la composition des prairies et leur potentiel de production. Selon un des scénarios climatiques les plus modérés et prenant en compte des mesures efficaces pour réduire la production de gaz à effet de serre au cours de ce siècle, les simulations climatiques annoncent un bilan hydrique climatique estival (P-ET°) dégradé (Durand *et al.*, 2010).

En conséquence, des défaillances des prairies et des dégradations à long terme en raison de la sécheresse pourraient s'accroître d'une manière progressive (Brisque *et al.*, 2003). Tandis que des conditions hivernales plus chaudes pourraient promouvoir leur productivité (Durand *et al.*, 2010). Une récente étude de Météo France a montré des variations de bilan climatique, hydrologique et édaphique depuis 1998 en France (Vidal *et al.*, 2010). Un déplacement des frontières climatiques vers le nord est en conséquence projeté par la plupart des scénarios à l'avenir. Les conséquences de ces conditions ont été modélisées avec des modèles de simulation de la production et qualité du fourrage. Le bilan hydrique climatique sur la période d'été peut être comparé aux valeurs de seuil de mortalité au champ établies par Poirier *et al.*, (2012) chez des variétés méditerranéennes et tempérées de fétuque et dactyle. Selon ces auteurs, pour un déficit hydrique supérieur à 450 mm sur la période estivale, seules les variétés méditerranéennes pourraient survivre à

l'été. Michel Déqué présente ici une étude agro-climatique préliminaire basée sur des données des cinquante dernières années et sur les simulations du modèle Aladin (Météo France). Il montre que cette situation de déficit extrême se produirait déjà une année sur dix sur une partie non négligeable des zones de production traditionnelles des prairies semées.

Toutefois, les données expérimentales concernant les effets combinés du réchauffement et de la sécheresse ne sont pas nombreuses (De Boeck *et al.*, 2008). Davantage de données expérimentales sont nécessaires afin de modéliser et explorer les impacts négatifs des changements climatiques et des événements extrêmes sur les plantes fourragères (Soussana *et al.*, 2010). Dans les prairies temporaires, la régularisation de la production requerra une adaptation graduelle de leur composition génétique, tant dans les systèmes gérés d'une manière intensive en pur qu'avec des mélanges d'espèces et de variétés gérés d'une façon intensive et écologique. Cela demandera de nouvelles solutions génétiques et de nouveaux mélanges variétaux. Dans les prairies dégradées et les prairies temporaires, le maintien de la production fourragère et des autres usages dépendront de la disponibilité de semences adaptées. Ces objectifs se déclinent en deux étapes aux niveaux scientifique et de l'organisation de la sélection génétique :

Comment organiser la production de connaissances, de l'écologie fonctionnelle à l'écophysiologie en passant par la génétique quantitative ?

Comment utiliser ces connaissances scientifiques pour, à travers un effort renouvelé, concevoir avec les usagers finaux des innovations génétiques, de nouveaux mélanges d'espèces et d'écotypes et/ou cultivars améliorés, pour faire face au changement des conditions de l'environnement ?

ORGANISATION DES RECHERCHES ET OBJECTIFS

La recherche de règles d'assemblage pour des prairies semées adaptées au changement climatique doit intégrer des connaissances sur les réponses des espèces et variétés aux variables du changement climatique (T, CO₂ et eau), telles que ces espèces les perçoivent en situation de mélange. Or, l'étude en culture pure ne permet pas de le faire toujours dans la mesure où les compétitions pour les ressources, notamment la lumière, modifient la forme des plantes et donc leur accès aux ressources du milieu. Les caractères qui valent pour l'amélioration des plantes en pur peuvent être les mêmes qu'en conditions de mélange mais les valeurs des caractères recherchés peuvent se distinguer selon les deux situations. Comme la combinatoire entre espèces, variétés et conditions d'utilisation est très grande, il n'est pas possible de prévoir une approche purement empirique de la

question car les tests de sélection variétale sont des processus lourds. En revanche, nos capacités de prédiction des performances des mélanges pourraient grandement profiter de meilleures connaissances sur les réponses des différentes espèces fourragères composant les mélanges au milieu.



Figure 1 : dessins des espèces plus particulièrement étudiées dans le projet Climagie. Dactyle, ray-grass, fétuque, trèfles et luzerne.

Le projet climagie du métaprogramme ACCAF a tout d'abord consisté à coordonner pour mieux partager un ensemble d'expériences pour documenter une base de données de réponses des plantes aux conditions climatiques, intégrant la variabilité génétique intra-spécifique. Ensuite, le projet a visé à améliorer les modèles de production en y mettant à jour ces fonctions de réponses. Parallèlement, une exploration de la variabilité génétique de certaines espèces fourragères pour les conditions méditerranéennes et tempérées a été réalisée. Enfin, les obtenteurs et agriculteurs cherchant à sélectionner les populations les mieux adaptées ont été impliqués dans divers programmes conjoints avec l'Inra pour bénéficier au plus tôt de ces avancées tout en contribuant à une meilleure définition des objectifs de sélection.

Dans la limite d'un projet de 4 ans et pour focaliser les efforts, seules la température et l'eau ont été prises en compte. Il faut toutefois rappeler que la teneur en CO₂ atmosphérique joue un rôle considérable dans le fonctionnement des peuplements à la fois sur la consommation d'eau et sur l'assimilation photosynthétique. Ces rôles favorisent tous la productivité primaire et *a priori* réduiront les effets négatifs des faibles disponibilités en eau.

Les espèces cibles (figure 1) ont été déterminées pour prendre en compte (i) une diversité fonctionnelle appropriée à l'adaptation des prairies semées, (ii) la diversité génétique disponible pour l'agriculture, (iii) et la capacité de recherche rassemblée par le projet. La fétuque élevée, le ray-grass anglais, le dactyle, la luzerne et le trèfle blanc ont donc été étudiés par la plupart de nos équipes ; le sainfoin, le trèfle violet, le lotier et le pâturin des prés étant également abordés dans certaines expériences. Nous avons cherché à tirer parti de la diversité d'approches déployées de façon conjointe sur les mêmes objets et à les intégrer à divers niveaux d'organisation du vivant, du gène à la communauté végétale (figure 2). L'écophysiologie, l'écologie fonctionnelle, la génétique quantitative et la dynamique des populations ont ainsi apporté leurs propres grilles d'analyse et permis un approfondissement de la connaissance sur les objets et les processus. Grâce à la notion de groupe fonctionnel, l'écologie permet de déterminer efficacement les comportements régulièrement associés à certaines situations dans les prairies naturelles composées d'un grand nombre d'espèces. Elle est susceptible de proposer les traits associés en tant que critères de sélection pour des variétés adaptées à des mélanges. Selon cette vision, la notion de groupes fonctionnels pourrait ainsi être un élément de définition des types-voire des idéotypes recherchés en amélioration des plantes. L'écophysiologie apporte des modèles de réponse mécanistes pour quelques espèces représentatives qui sont susceptibles de simuler la réponse de la production fourragère sous une large gamme de conditions et d'usages, et permet d'extrapoler aux situations climatiques à venir. Chaque approche est validée dans des contextes distincts pour des communautés végétales dont le nombre de constituants est très différent. Si l'on considère la question de déterminer quelle approche est la mieux placée pour prédire l'évolution des équilibres entre les espèces dans un contexte pédoclimatique et agricole donné, l'approche écologique, essentiellement empirique, donne toute son efficacité en situation d'un grand nombre d'espèces (certaines prairies naturelles par exemple), devenant moins pertinente pour les mélanges semés à quatre ou cinq espèces, justement ceux-là mêmes qui sont proposés pour résister aux aléas climatiques sur des périodes de 3 à 6 ans. Symétriquement, très efficace pour des peuplements formés d'une ou deux espèces en mélange, l'écophysiologie est encore difficilement en mesure à ce jour de simuler la dynamique

opérant dans l'évolution de prairies à quatre espèces ou davantage. Enfin, intégrer l'amélioration des plantes, c'est-à-dire la sélection orientée à ces espèces en vue de constituer des mélanges, reste un défi et demandera une avancée importante en théorie de la sélection.

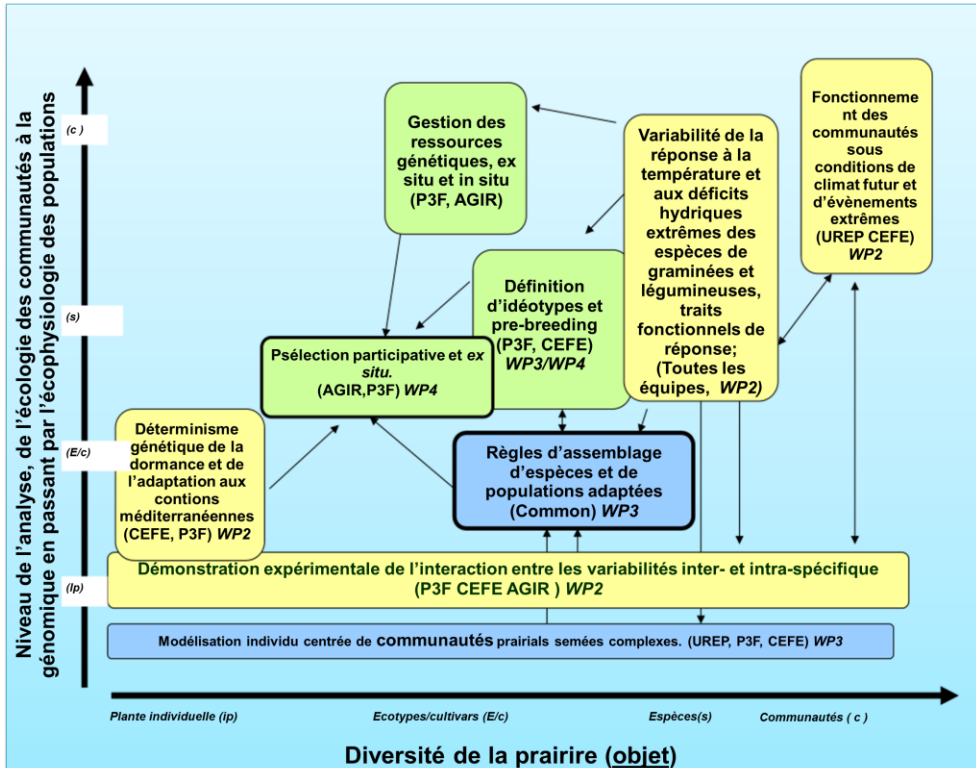


Figure 2 : tâches, objectifs et unités de recherche impliquées, correspondant aux ordres d'organisation de la structure spatiale et génétique et aux disciplines mises en œuvre conjointement coordonnées dans le projet Climagie. CEFE : Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, AGIR : AGroécologie Innovation et territoires, P3F : Unité de Recherche Pluridisciplinaire Prairies et Plantes Fourragères, UREP : Unité de Recherches sur l'Ecosystème Prairial, EVA : Ecophysiologie Végétale Agronomie.

RÉSULTATS PRÉSENTÉS DANS LE COLLOQUE DE RESTITUTION DU PROJET CLIMAGIE

Les résultats des travaux conduits dans le projet Climagie se détaillent dans la suite de ce recueil en cinq grands chapitres.

Le premier rend compte des avancées sur la connaissance des actions de la température et de la sécheresse sur les plantes fourragères. Nous en avons maintenant une vision complète, pour un large spectre d'espèces et de variétés et populations. Ces résultats originaux sont précisés dans les interventions d'Abraham Escobar et Serge Zaka pour ce qui est de la température ; de Philippe Barre, Marc Ghesquière, Marie-Pascale Prudhomme et Thibault Remacle pour ce qui concerne le déficit hydrique. Il ressort de ces études qu'en effet les variétés adaptées aux conditions méditerranéennes présentent bien des différences de comportement vis-à-vis de ces variables du changement climatique mais associées de façon complexe. L'enracinement, la phénologie (date de floraison au printemps et remontaison) et la dormance estivale jouent des rôles de premier plan dans la diversité génétique, tandis qu'il ne semble pas apparaître de variabilité intra-spécifique importante concernant la réponse des fonctions végétatives à la température.

Le deuxième ensemble de communications présente les résultats récents obtenus pour mieux cerner la façon dont la diversité génétique sécurise et stabilise d'une repousse à l'autre la productivité et la qualité fourragère des prairies semées notamment en interspécifique comme pour le travail de Catherine Picon-Cochard. Les résultats originaux d'Isabelle Litrico, Vincent Béguier, François Gastal et leurs collaborateurs, obtenus à partir de différentes approches expérimentales et théoriques, mettent en évidence que l'accroissement du nombre de variétés pour chaque espèce améliore la stabilité de la composition spécifique du peuplement au cours de son exploitation, notamment en cas de contrainte hydrique forte. Sous d'autres conditions, les résultats de Karim Barkaoui et al. montrent que la diversité interspécifique fonctionnelle (ici racinaire) au sein des mélanges n'a pas eu en elle-même d'effet significatif sur l'amélioration de la résilience au stress hydrique.

Le troisième chapitre rend compte des progrès en modélisation individu-centrée. Vincent Migault présente le résultat de son travail de thèse qui a consisté à construire un module de simulation de la croissance et du fonctionnement d'un système racinaire sur le ray-grass anglais. Parallèlement, le travail de Christophe Lecarpentier a permis de progresser sur la simulation mathématique de la diversité variétale chez le blé, qui offre un cas limite entre les cultures monogénétiques et les cultures fourragères, dans la famille des graminées. Gaëtan Louarn présente l'état d'avancement du projet *Virtual grassland*, modèle de prairie semée qui simule maintenant le partage des ressources en lumière, eau et azote entre une graminée et une légumineuse. Un des premiers résultats marquants de ce travail étant la mise en évidence théorique de l'instabilité dans le temps des performances (quantitative et qualitative) des mélanges binaires graminées/légumineuses. Enfin les premiers résultats de la simulation de la transmission

des caractères d'une population à la génération suivante sous l'influence de la compétition pour la lumière seront illustrés par Didier Combes sur un peuplement de ray-grass anglais.

Un quatrième chapitre est consacré à des expériences françaises, canadiennes et suisses pour répondre au changement climatique, présentées par Gilles Bélanger, Eric Mosimann, Sandra Novak et leurs collaborateurs.

Enfin, les progrès enregistrés récemment dans la gestion des ressources et la sélection des fourragères forment le cœur de la cinquième et dernière série d'interventions, de Jean-Paul Sampoux, Pascale Pelletier, Arnaud Gauffreteau et Laurent Hazard.

CONCLUSION

Deux défis se présentent simultanément aux éleveurs et donc aux obtenteurs qui travaillent à leur fournir les solutions attendues. Premièrement, le changement climatique modifie les frontières entre les grandes régions de culture des différentes espèces et variétés. Des opportunités d'adaptation variétales et des changements de zones de culture se présentent à l'échéance de 20 ou 30 ans. Deuxièmement, la nécessaire modération de l'usage d'engrais azotés pour limiter la consommation d'énergie et pour mieux gérer les cycles biogéochimiques, associée à la nécessité de maîtriser les adventices avec moins d'herbicides, rend incontournable l'usage de prairies associant plusieurs espèces utiles. Ces prairies, quel que soit le domaine géographique, devront mieux résister aux aléas climatiques et notamment ceux liés à la sécheresse d'été. Ces deux objectifs d'adaptation devront être atteints sans aggraver la production de gaz à effet de serre, c'est-à-dire notamment avec une conduite appropriée. La recherche agronomique s'est ainsi mobilisée au cours des 4 dernières années dans cette direction. Les acquis pratiques débouchent maintenant sur la possibilité de mieux prévoir l'évolution de la prairie en fonction de sa composition génétique, sous l'influence de climats variés. Se fait jour dans le même temps la nécessité d'élaborer rapidement les nouveaux schémas de sélection appropriés à l'enjeu.

BIBLIOGRAPHIE

De Boeck H.J., Lemmens C., Zavalloni C., Gielen B., Malchair S., Carnol M., Merckx R., Van den Berge J., Ceulemans R. and Nijs I. (2008) Biomass production in experimental grasslands of different species richness during three years of climate warming. *Biogeosciences*, 5, 585-594.

Briske, Fuhlendorf S.D., Smeins F.E., (2003) Vegetation dynamics on rangelands: a critique of the current paradigms, *J. Appl. Ecol.*, 40 601-614. ;

Durand J.L., Bernard F., Lardy R., Grault A.I., 2010. in Brisson N. et Levrault F. (ed). *Changement climatique, agriculture et forêts en France : simulations d'impacts sur les principales espèces*. 181-190.

Hervieu B., 2002. Multifunctionality: a conceptual framework for a new organization of research and development on grasslands and livestock systems. In Durand J.L., Emile J.C., Huyghe C. and Lemaire G. (eds), *Multifunction grasslands. Grassland forage in Europe 7*: 1-2.

Neely C., Bunning S., Wilkes A., 2009. FAO... <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/i1135e/i1135e00.pdf>

Poirier M., Durand J.L., Volaire F., 2012. Persistence and production of perennial grasses under water deficits and extreme temperatures: importance of intraspecific vs. interspecific variability. *Global Change Biology* 18, 3632–3646.

Soussana J.F., Tallec T., & Blanfort V., 2010. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *animal*, 4(03), 334-350.

Vidal J.P., Martin E., Franchistéguy L., Baillonn M., Soubeyroux J.M., 2010. A 50-year high resolution atmospheric reanalysis over France with the Safran system. *Int. J. Climatol.* 30:1627-1644.