



HAL
open science

Adaptation des prairies semées au changement climatique : amélioration génétique et intensification écologique

Jean-Louis Durand

► **To cite this version:**

Jean-Louis Durand. Adaptation des prairies semées au changement climatique : amélioration génétique et intensification écologique. [Contrat] auto-saisine. 2016, 41 p. hal-01594783

HAL Id: hal-01594783

<https://hal.science/hal-01594783>

Submitted on 26 Sep 2017

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License



Adaptation des Prairies Semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et Intensification Ecologique.

CLIMAGIE

Métaprogramme ACCAF

Rapport final : résultats pour la période 2011
– 2016

Version française



juillet / 2016

Remarques générales sur le rapport

Ce rapport servira de base à l'évaluation du projet ;

Le rapport est constitué d'un résumé pour décideurs (deux pages) et d'une synthèse scientifique destinée aux acteurs et gestionnaires concernés par le projet de recherche et à l'évaluation du projet (10 pages maximum, hors annexes) ;

Ce document a pour but d'être téléchargé et mis à disposition des différents comités du métaprogramme ACCAF (comité scientifique international, comité des porteurs d'enjeux, cellule de coordination) ;

Les contenus devront donc être rédigés de façon à ce qu'ils soient facilement compris par un lecteur non spécialiste, notamment ceux du résumé, et pourront être complétés par des illustrations (photos, graphiques, schémas, etc.) ;

Le résumé et la synthèse devront être rédigés en français et en anglais (dans deux documents distincts).

La répétition de certains éléments a pour but de permettre une réutilisation facile des contenus de chacune des parties ;

Une version éditable de toutes les informations devra être fournie jusqu'à approbation par la cellule de coordination du métaprogramme ;

En complément de ce rapport, les équipes devront fournir deux diapositives reprenant les faits et conclusions essentiels du projet ;

Une mention particulière devra être ajoutée au cas où des données ou informations confidentielles seraient incluses dans le rapport ;

Le comité scientifique international sera chargé de cette évaluation. Une attention particulière doit donc être donnée aux remarques formulées par le comité lors de la soumission des projets ;

Veillez, de plus, à apporter des éléments autour des 5 points suivants :

- Science en amont des processus clés.
- Meilleure évaluation des incertitudes pour les projections de réponses et d'impacts.
- Développement d'un ensemble d'options d'adaptation.
- Evaluation des moteurs et des freins socio-économiques.
- Contribution à l'innovation.

Ce rapport doit être complété dans un délai de 4 mois maximum après la fin du projet.

SOMMAIRE

REMARQUES GENERALES SUR LE RAPPORT	2
SOMMAIRE.....	3
PRESENTATION GENERALE DU PROJET.....	4
SYNTHESE.....	8
LISTE DES OPERATIONS DE VALORISATION	22
RESUME	30
FAIT(S) MARQUANT(S) DU PROJET.....	33
EVALUATION	39
ANNEXES : TEXTES DES PUBLICATIONS.....	41

Présentation générale du projet

Titre : [Adaptation des praires semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et Intensification Ecologique](#)

Dates et durée du projet : novembre 2011-novembre 2016 ; 4 ans

Budget ACCAF alloué pour le projet : 167 keuros

Porteur(s) de projet

Nom : [Jean-Louis Durand](#)

Unité et Département : UR Praires et Plantes Fourragères, Environnement & Agronomie – Biologie et Amélioration des Plantes.

Contacts : jean-louis.durand@lusignan.inra.fr

Présentation du consortium

Autres unités impliquées :

UREP INRA Clermont Ferrand

URGV le Moulon INRA Versailles Grignon

ECOSYS INRA Versailles Grignon

CEFE CNRS Montpellier

AGIR INRA Toulouse

EVA INRA - Université de Caen

Autres départements impliqués :

Ecologie Forêt Prairie et Milieux Aquatiques

Sciences pour l'Action et le Développement

Effectifs impliqués :

- Permanents :

DR / CR	20
IR / IE	2
AI-B-C	10

- Contractuels :

CDD	
Post-doctorants	2

Doctorants	8
Masters :	6

Hommes.mois mobilisés sur la durée du projet :

- Permanents :

DR / CR	240
IR / IE	41
AI-B-C	326

- Contractuels :

CDD	
Post-doctorants	18
Doctorants	165
Masters	30

Stagiaires accueillis (master, doctorants, post-doctorants) :

Masters :

Mathilde Chen (LaSalle Beauvais), en 2014

Pierre-Jean Haupais, Master 1 UniCaen en 2012

Jimenez L (2012) Caractérisation fonctionnelle de quatorze fabaceae prairiales - Réponse au stress hydrique et phosphaté.

Judas G (2014) Acquisition de connaissances en sélection participative : le cas des semences paysannes dans le Sud-Aveyron.

Céline Lebas (IUT de Cergy Pontoise) en 2014

Blandine Ollivier (M1 Espaces, Ressources, Milieux) en 2015

Doctorants

AHMED L. thèse soutenu le 10/7/2015.

BARKAOUI K thèse soutenue le 12/12/2013.

FORT F. thèse soutenue le 27/9/2013.

HERNANDEZ P. 2013-

LECARPENTIER C. 2013-

MIGAULT V. thèse soutenue le 24/2/2015.

ZAKA S. thèse soutenue le 30/03/2016.

ZWICKE M. thèse soutenue le 19/12/2013..

Post Doctorants :

Jose Luis Pastor (Agreenskill . BAP/P3F/Grasslandscape)

Serge Zaka (CASDAR/P3F/ACCAF)

Les partenaires du projet (avec logos) :



SYNTHESE

(destinée aux acteurs, gestionnaires et au comité international)

(Environ 10 pages, hors liste des publications et autres valorisations)

Adaptation des praires semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et Intensification Ecologique

Métaprogramme « Adaptation au Changement Climatique de l'Agriculture et de la Forêt » (ACCAF)

SYNTHESE

Nom du porteur de projet : Jean-Louis Durand

Autres partenaires scientifiques : Jérôme Enjalbert, Laurent Hazard, Isabelle Litrico, Catherine Picon-Cochard, Marie-Pascale Prudhomme, et Florence Volaire.

CONTEXTE GENERAL

Les prairies semées sont une des clefs des systèmes de productions agricoles permettant de sécuriser l'approvisionnement des élevages en fourrage, améliorer les performances écologiques de l'agrosystème à l'échelle de l'exploitation et du territoire en pouvant si elle sont bien exploitées, contribuer à la séquestration durable du carbone atmosphérique dans le sol.

OBJECTIFS GENERAUX DU PROJET

De 2011 à 2015, six équipes de quatre départements de recherche de l'Inra : Biologie Amélioration des Plantes, Environnement et Agronomie, Ecologie Forêt et Milieux Aquatiques, Sciences pour l'Action et le Développement, associant plus de 20 chercheurs et 10 étudiants en thèse et en master se sont attachés à améliorer nos connaissances sur l'impact du changement climatique sur la productivité (son niveau, sa régularité, sa qualité) des prairies semées. Il s'agissait de mieux comprendre la réponse des plantes aux fortes températures et aux sécheresses estivales, de simuler la dynamique des plantes et des prairies soumises à ces contraintes pour appuyer les efforts d'amélioration des plantes entrepris directement en collaboration avec les partenaires semenciers ou les éleveurs.



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

QUELQUES ELEMENTS DE METHODOLOGIE (ET EVENTUELLES DIFFICULTES RENCONTREES)

Une première série de travaux conduits en conditions contrôlées, pour éviter la confusion avec les déficits hydriques atmosphérique, a visé à mieux comprendre les causes de la variabilité génétique de la réponse des variétés fourragères à la température. Ces travaux expérimentaux également en mini couverts ou en plante isolée ont aussi exploré les variations, chez les mêmes espèces de la réponse aux déficits hydriques estivaux. Enfin sur ces dispositifs, le rôle de la diversité génétique des fonctions de production de la plante aériennes et souterraines sur la productivité et la pérennité des prairies a été établi. Un second ensemble de travaux a consisté à construire des modèles permettant de simuler, de la graine à la graine, la dynamique de la prairie à partir de la

réponse individuelle de la plante à son milieu, lui-même modifié par les plantes voisines. Enfin des travaux ont permis de progresser dans la création de matériel innovant et offrant une base de valorisation pour la création de nouvelles populations. Ce dernier travail a été réalisé aussi bien avec les semenciers de l'Association des Créateurs de Variétés Fourragères et l'INRA qu'en sélection participative.

RESULTATS OBTENUS

Les travaux conduits dans CLIMAGIE ont été regroupés en trois volets : identifications des caractères à améliorer, au niveau du génotype, de la population et de la communauté prairiale, simulation du fonctionnement des plantes dans le peuplement végétal et sélection génétique pour des mélanges variétaux et d'espèces, dont un volet sur la distribution des ressources génétiques *in situ*.

1. IDENTIFICATIONS DES CARACTERES A AMELIORER, AU NIVEAU DU GENOTYPE, DE LA POPULATION ET DE LA COMMUNAUTE PRAIRIALE

Réponses à la température

La température joue un rôle majeur dans le contrôle des réactions chimiques et enzymatiques ainsi que sur le fonctionnement de la graine et de la plante entière. Le réchauffement climatique est donc susceptible d'entraîner de profondes modifications dans l'usage des variétés selon les régions. Des progrès majeurs dans la connaissance de la variabilité génétique de la réponse à la température, exploitable en amélioration des plantes, ont été réalisés au cours de ce projet.

Un premier objectif était d'étudier la variabilité de la germination en réponse à la température chez des variétés et populations sauvages françaises de trois espèces de graminées prairiales. Huit populations de *Lolium perenne* L., quatre de *Festuca arundinacea* Schreb., et quatre de *Dactylis glomerata* L., ont été évaluées. Quatre lots de 100 graines par population ont été mis à germer à l'obscurité. Les graines ont été placées sous huit températures constantes entre 5 et 40°C avec des écarts tous les 5°C. Aucune germination n'a été observée pour aucune des 16 populations à

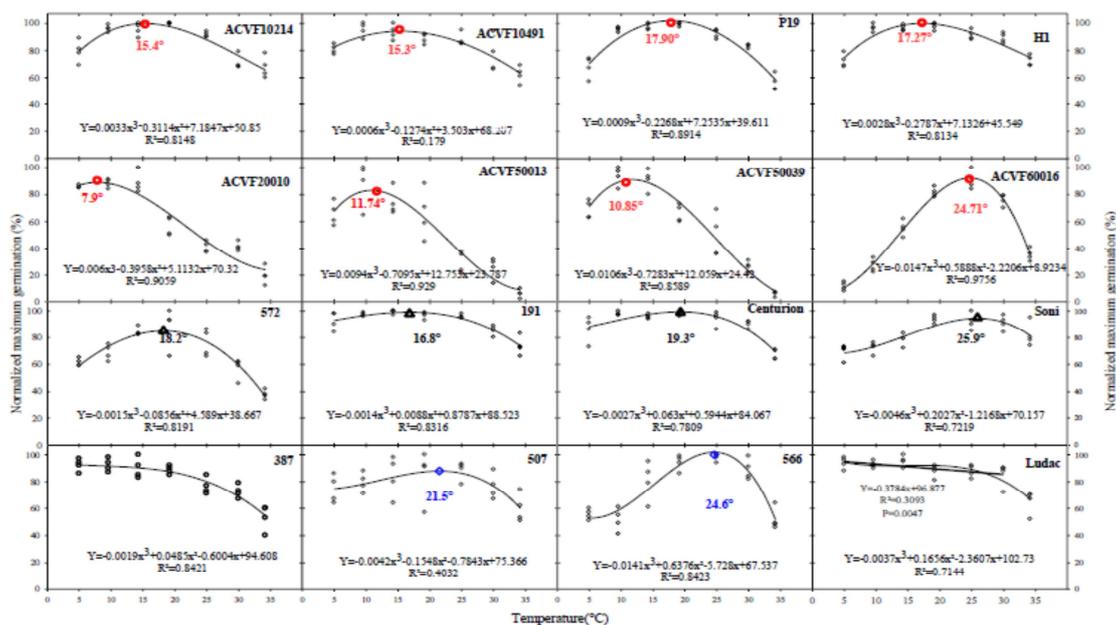


Figure 2. réponse germinative à la température de 16 populations de *L.perenne* (o), *Festuca arundinacea* (Δ) et *Dactylis glomerata* (◇). Ahmed et al 2015.

Adaptation des praires semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et Intensification Ecologique

40°C. Des températures optimales pour la germination ont été estimées entre 7,9 et 25,9°C. Les résultats montrent, qu'au sein des populations françaises de chacune des trois espèces, il existe une variabilité en réponse à la température de germination. Le dépôt d'une variété en étude pour inscription au catalogue requiert que celle-ci germe à près de 100 % à 25°C. Or, il s'agit d'une limite pour des variétés que l'on souhaiterait voir germer spécifiquement dans des conditions plus froides. La question réglementaire est ainsi soulevée. Plus généralement, les conséquences de cette variabilité sur la distribution des ressources génétiques sur le territoire est posée. Elle est en cours d'évaluation à l'échelle européenne grâce au projet Grasslandscape financé dans le cadre de la JPI FACCE.

Pour ce qui concerne les autres fonctions végétatives que la germination, des différences de productivité et de date d'entrée en végétation entre géotypes d'origines climatiques contrastées ont été observées au champ. L'hypothèse favorisée au début du projet CLIMAGIE était celle de différences de réponse à la température. Pour tester cela, nous avons mené 8 expérimentations en conditions contrôlées de 5 à 40°C et en conditions ferti-hydrique non-limitantes. Nous avons caractérisé les courbes de réponse à la température de deux espèces fourragères *a priori* adaptées au changement climatique du fait de leur bon comportement en climat chaud et sec (luzerne et féтуque élevée) pour différents processus physiologiques (croissance, développement, photosynthèse, respiration, fixation de l'azote atmosphérique...). Ces expérimentations n'avaient jamais été conduites dans des conditions expérimentales rigoureuses, permettant en particulier d'exclure toute interaction avec le déficit hydrique de l'air. Les résultats révèlent clairement que **les différences saisonnières de production de matière sèche entre géotypes observées au champ ne s'expliquent pas par des différences de réponses à la température**. D'autres hypothèses sont à explorer comme la réponse à la photopériode ou l'évolution de la réponse à la température due à l'induction florale. Les résultats indiquent en outre que l'adaptation des feuilles à leur température de croissance permet de ne représenter la réponse de la photosynthèse instantanée à la température que par une seule courbe de réponse.

Adaptation des prairies semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et Intensification Ecologique

Résistances à la sécheresse.

La sécheresse estivale détermine, selon son intensité, le type de plantes adaptées au climat local. En zone méditerranéenne où la production estivale non irriguée est exclue, ce sont les caractères de **survie** qui sont essentiels. En zone tempérée, il s'agit **en outre de produire un maximum** en période sèche.

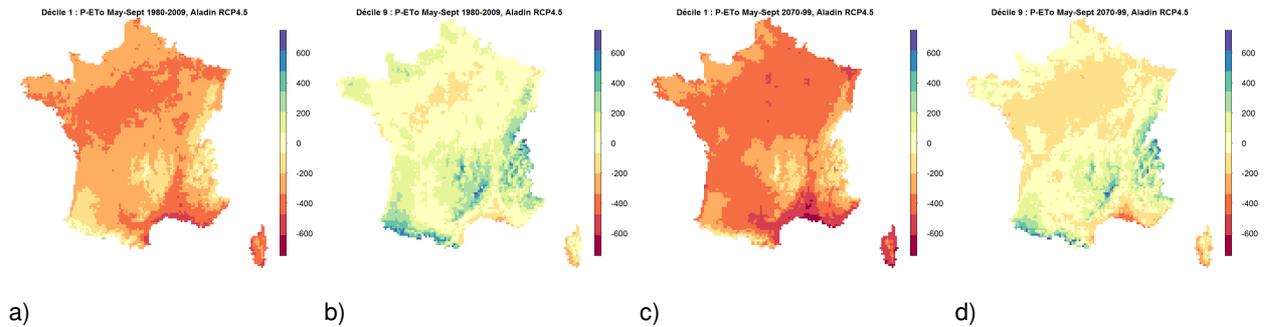


Figure 3. Ecart cumulé entre précipitations et évapotranspiration de référence pour le climat de référence (a et b) et le scénario RCP4.5 (c et d) en fin de siècle entraînant une hausse de 2°C des températures. Premier (a et c) et dernier (b et d) décile de la distribution (crédit F. Huard). La zone où s'imposent les variétés méditerranéennes se situe dans les zones où le déficit est supérieur à 450 mm. (Poirier et al 2014 et Huard 2015)

Sous climat méditerranéen, les graminées pérennes présentent un grand intérêt fourrager si elles peuvent survivre plusieurs années aux sécheresses estivales. La dormance estivale permet une résistance importante aux sécheresses sévères mais elle est souvent liée à une faible production annuelle. L'objectif était de mesurer la dormance estivale et un paramètre de production fourragère *i.e.* la vitesse de repousse au printemps, dans une descendance de dactyle entre un parent dormant l'été mais peu productif (Kasbah) et un parent non dormant mais productif (Medly). Il ressort effectivement une corrélation négative entre dormance estivale et vitesse de repousse ($r = -0.30$) mais cette corrélation est faible car il existe des individus à la fois dormants et productifs. De plus, des QTL de ces caractères et de la date d'épiaison ont été identifiés. Outre qu'ils rompent avec l'idée longtemps entretenue que la survie estivale impliquait une faible productivité annuelle, ces résultats sont très encourageants pour la création de nouveaux matériels élite adaptés au climat méditerranéen. De plus, une nouvelle piste de variabilité génétique portée par la biochimie des sucres solubles et par leur rôle dans la protection des membranes cellulaires a été ouverte au cours de ce projet.

Adaptation des prairies semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et Intensification Ecologique

Les fructanes, polymères solubles de fructose, ne représentent pas seulement une réserve carbonée mais participent aussi à la résistance des plantes vis-à-vis de contraintes telles que la

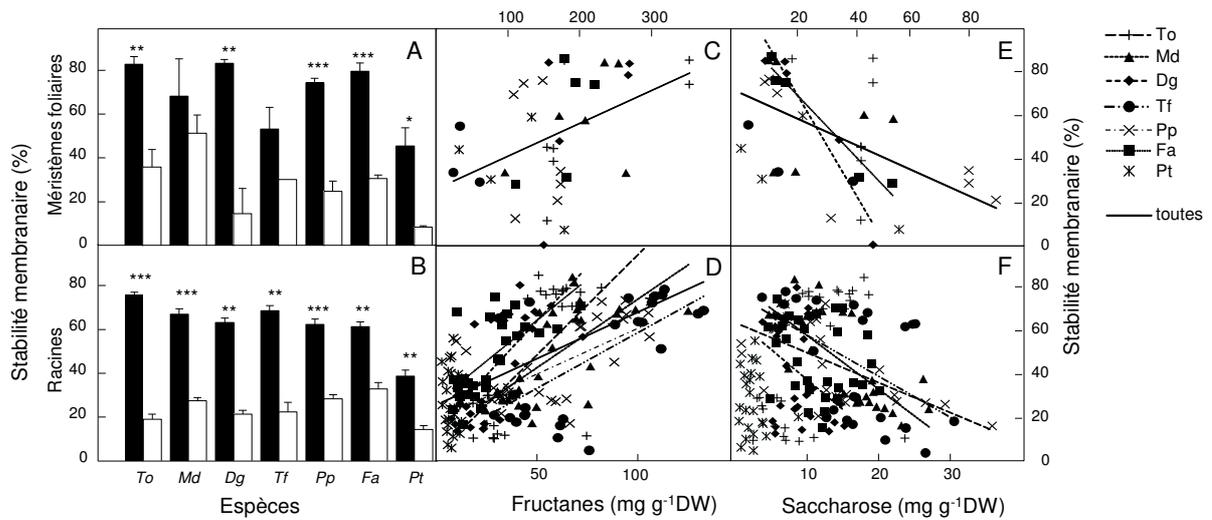


Figure 4 : stabilité membranaire des zones de croissance (en haut) et des racines (en bas) selon l'espèce (AB), la concentration en fructose (CD) et la concentration en saccharose (EF). Zwicke et al 2015.

sécheresse. Cette étude, menée sur des espèces prairiales plus ou moins résistantes à la sécheresse, teste l'hypothèse selon laquelle les fructanes contribuent à cette résistance en protégeant les structures membranaires des méristèmes foliaires et du système racinaire, lors de la déshydratation. Six espèces prairiales natives de prairies de moyenne montagne (*Taraxacum officinale*, *Dactylis glomerata*, *Trisetum flavescens*, *Poa pratensis*, *Festuca arundinacea*, *Poa trivialis*) et un cultivar méditerranéen (*Dactylis glomerata* cv Medly) ont été cultivés en conditions semi-contrôlées en monoculture avant d'être soumis à une période de sécheresse pendant 50 jours. Chez les espèces les plus résistantes, les teneurs en saccharose et en fructanes sont peu affectées, voire augmentent, tandis que chez les espèces les plus sensibles, les teneurs en saccharose augmentent et celles des fructanes diminuent. En considérant l'ensemble des populations, la stabilité membranaire des méristèmes foliaires et des racines est corrélée positivement avec la teneur en fructanes. Ce résultat corrobore pour la première fois in vivo le rôle protecteur des fructanes vis-à-vis des membranes. Cette contribution au maintien de l'intégrité membranaire est cruciale pour la survie des plantes sous sécheresse intense.

Une large investigation de la variabilité génétique de la phénologie et de ses relations avec la tolérance à la sécheresse pour la **zone tempérée** via le système racinaire. Pour cela, des stress climatiques ont été appliqués à des populations de fétuque et dactyle, d'origine tempérée et méditerranéenne, et issues de croisement interspécifique fétuque x ray-grass (*Festulolium*) diversement recombinées. L'évaluation de la réponse génétique a été réalisée par prélèvements d'individus ou récoltes de graines directement dans les peuplements, qui ont été ensuite comparés aux populations initiales dans des dispositifs en pépinière. Les résultats montrent que lorsque la morphogenèse ne permet pas de contribuer à un enracinement profond, la phénologie devient une variable critique de la réponse au déficit hydrique. Vis-à-vis de la fétuque élevée, les populations d'origine méditerranéenne de dactyle se démarquent par une extrême précocité de leur épiaison au printemps. En situation d'hybridation interspécifique, on observe que l'on peut obtenir une réponse

Adaptation des prairies semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et Intensification Ecologique

génétique au déficit hydrique mobilisant simultanément des mécanismes de tolérance propres à chacune des espèces parentales.

2. UTILISER LES MELANGES FOURRAGERS POUR S'ADAPTER AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

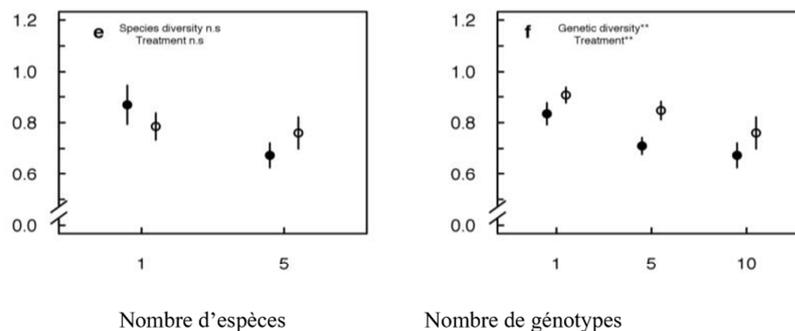


Figure 5 : Effet de (a) la diversité spécifique et (b) de la diversité génétique sur le coefficient de variation de la biomasse accumulée en condition irriguée (noir) et de contrainte hydrique (blanc.) Prieto et al 2015.

Dans la mesure où les prairies semées devront être conduites avec une utilisation plus faible des intrants, en sec et sur une durée la plus longue pour réduire les labours et les risques d'émission de gaz à effet de serre, le recours à des mélanges d'espèces, déjà largement pratiqué, devient une nécessité. Or, la variabilité intra-spécifique constaté chez les variétés fourragères pourrait être un atout majeur dans la pérennité et la production de fourrages de qualité, en même temps qu'un facteur de stabilité de la production vis-à-vis des aléas climatiques. Nous avons conduit une expérimentation qui vise à montrer l'importance de la diversité spécifique et génétique intra-parcelle au sein des espèces cultivées, en particulier les prairies semées, pour les services attendus de l'agriculture. Sur des mini couverts constitués de cinq espèces ou une seule (trèfle blanc, luzerne, fétuque élevée, ray-grass anglais et dactyle) chacune comprenant les clones de un, cinq ou dix génotypes, nous mettons en évidence un impact significatif et complémentaire de la diversité spécifique et génétique sur la production et nous apportons des éléments sur les mécanismes associés à ces effets. Nos résultats laissent entrevoir des pistes intéressantes pour l'amélioration des espèces destinées à une utilisation en mélange, en particulier via l'introduction de diversité génétique dans les schémas de sélection.

Adaptation des praires semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et Intensification Ecologique

Dans un autre essai au champ cette fois, à Lusignan (France) et à Vaiamonte (Portugal) les cultures d'espèces et de variétés en pur confirment le comportement déjà connu des variétés méditerranéennes et mettent en évidence le différentiel positif plus marqué en faveur des variétés méditerranéennes lorsque la température hivernale est douce. La surproductivité des mélanges de variétés n'est pas observée dans le cas de mélanges monospécifiques, mais apparait en revanche dans le cas de mélanges bispécifiques luzerne-graminée. Là encore, la variabilité intra-spécifique apporte une meilleure productivité au champ. De plus, dans tous les cas de mélange, une meilleure stabilité du rendement est observée entre les différentes récoltes de l'année.

Pour comprendre plus précisément ces effets positifs de la diversité, la variabilité des caractères des racines a été étudiée. La durabilité des prairies est menacée sous changement climatique surtout en zones méditerranéennes. Comme une biodiversité élevée est reconnue pour

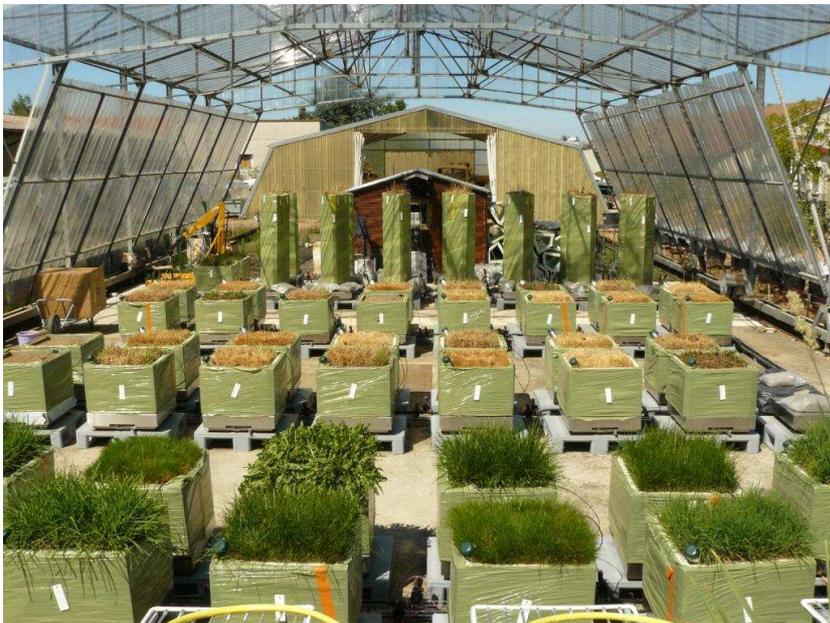


Figure 6 : dispositif de contrôle d'alimentation en eau pour l'étude de la réaction de l'enracinement et de la consommation d'eau de communautés végétales diverses.

stabiliser les communautés végétales, cette étude a testé si des mélanges d'espèces fourragères avec des **stratégies fonctionnelles racinaires contrastées** pouvaient améliorer les prélèvements hydriques et la résilience des couverts sous sécheresses sévères. Des monocultures et des mélanges bi ou tri-spécifiques de graminées pérennes ont été comparés dans un essai au champ sous sécheresse estivale moyenne et extrême dans le sud de la France. Les traits racinaires ont permis de calculer l'identité fonctionnelle (traits moyens des espèces associées) et la

diversité fonctionnelle (différence de traits) pour chaque mélange. La sur-productivité du mélange par rapport à la somme de ses parties, et sa résilience (capacité d'évoluer pour maintenir la communauté végétale) ont été estimés par des mesures de biomasses aériennes. La fraction de l'eau du sol transpirable par les plantes a été mesurée. Pour tous les traitements et niveaux de sécheresse, productivité aérienne et résilience sont très corrélées à l'eau transpirable et à la profondeur d'enracinement. Dans ce cas, la profondeur moyenne d'enracinement de la communauté végétale est le plus important tandis que la diversité interspécifique de cette profondeur n'apporte pas d'avantage particulier. Ceci provient du fait que les plantes à enracinement profond, dans les conditions étudiées, sont également celles qui exploitaient fortement les horizons superficiels.

Adaptation des prairies semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et Intensification Ecologique

Pour approfondir la question l'effet de complémentarité des densités racinaires des différentes composantes de la communauté prairiale sur la récupération à un stress hydrique sévère a été également évaluée. Ainsi nous avons comparé la réponse à un stress hydrique sévère et après réhydratation des racines profondes de mélanges (1, 2 et 5 espèces) d'espèces issues de prairies de moyenne montagne. Hors stress hydrique, nous avons observé que la densité des racines profondes a augmenté dans les mélanges par rapport aux monocultures. En revanche cette surproduction de racines n'est pas observée dans les conditions sèches les plus sévères. Les mélanges les plus complémentaires contenant une espèce à enracinement superficiel (trisète, pâturin des prés) et une espèce à enracinement profond (dactyle, fétuque) ont eu une surproduction de racines profondes à la fin du stress et après réhydratation. On peut faire l'hypothèse que la trisète et le pâturin ont eu un effet positif sur la densité des racines profondes du dactyle et de la fétuque. En conclusion, le stress hydrique a modifié la mise en place de la surproduction de racines en profondeur, ce qui a probablement limité la résistance au stress des mélanges et la récupération à court terme. L'analyse à plus long terme (+1 an) est en cours pour comprendre la dynamique temporelle des racines profondes et des racines de surface de ces mélanges ainsi que le suivi de l'arrière effet du stress hydrique

En conclusion, on peut penser que la complémentarité des fonctions de production aériennes est décisive, et que la base de cette complémentarité entre espèces et génotypes est leur décalage phénologique. En revanche, les complémentarités dans l'usage des ressources du sol ne semblent pas s'exprimer au premier ordre.

3. LES NOUVEAUX OUTILS DE SIMULATION DE LA RÉPONSE DES PRODUCTIONS FOURRAGÈRES AUX VARIABLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.

Rationaliser les mélanges d'espèces, assembler les variétés correctement, définir l'impact de la variabilité d'un caractère particulier et construire de nouveaux idéotypes, associant plus de réponses complexes à l'ensemble des variables du changement climatique demandera des modèles plus sophistiqués permettant de simuler la dynamique de prairies multi-espèces en intégrant la réponse individuelle des plantes en interaction entre elles et en réponse au microclimat et aux ressources du sol. Des progrès sensibles ont été enregistrés au cours du projet dans ce domaine, tant dans la production des fonctions et algorithmes permettant de prendre en compte de nouvelles fonctions et de nouvelles réponses à la température et à l'eau, que dans l'utilisation des modèles de morphogenèse pour simuler la reproduction sexuée et la production de graine des individus dans le peuplement.

Adaptation des praires semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et Intensification Ecologique

Un peuplement prairial est un système complexe de développement de plantes individuelles interagissant entre elles. Afin d'appréhender ce système, nous proposons un modèle structure-fonction de morphogenèse de ray-grass anglais (*Lolium perenne* L.), appelé L-grass. Ce modèle permet la simulation de morphotypes contrastés ainsi que l'impact de l'environnement local sur

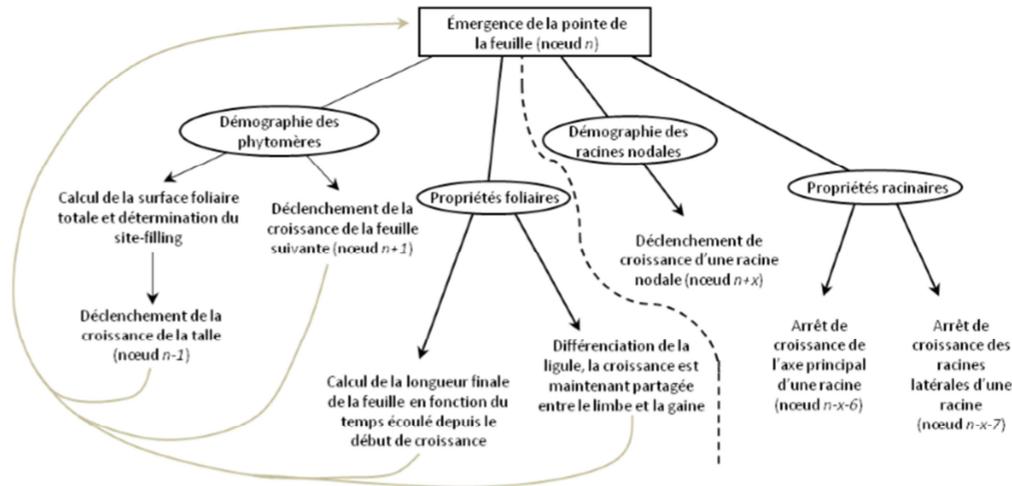


Figure 7 : Diagramme représentant le schéma cybernétique général du modèle de morphogenèse de graminée fourragère L-Grass. Migault 2015.

leurs développements grâce au couplage du modèle avec un modèle de rayonnement et un modèle de sol. Ces deux modèles environnementaux étant capable d'estimer les modifications de l'environnement local d'une plante, provoquées par les plantes voisines (ombrage, assèchement du sol), L-grass est un outil pertinent pour appréhender le développement de peuplements.

Le modèle de «Virtual grassland » vise à prédire l'évolution de la composition spécifique, du rendement et de la qualité des prairies semées en réponse à la disponibilité en eau et à la gestion de l'azote (fertilisation, présence de légumineuses) et de la défoliation. Il intègre L-Grass, son équivalent L-egume (en cours de validation pour une diversité de légumineuses) un module de gestion de ressources du sol et un module de gestion de la répartition du rayonnement. Développé sur la plateforme Open alea, *Virtual grassland* simule les interactions de compétition et la facilitation (rayonnement, ressources du sol) entre les composantes du couvert au travers du couplage de ces quatre modules (graminées, légumineuses, sol, transfert radiatif). Les évaluations préliminaires du modèle suggèrent le bon comportement qualitatif des réponses au rayonnement et à la disponibilité en eau.

Des générations successives de populations de ray-grass soumises à la défoliation, ont été simulées en utilisant le modèle structure fonction L-Grass couplé avec un modèle de génétique. Les variables d'entrées de ce modèle sont les compositions alléliques de chaque individu pour un caractère déterminant de la morphogenèse, les conditions micro-climatiques, la distribution spatiale initiale des individus. Les variables de sortie, outre la surface foliaire et la biomasse aérienne, la composition allélique des individus (graines) de la génération suivante. Les caractéristiques des générations simulées et produites dans le cadre d'une expérimentation à densité contrôlée en mini couverts ont été comparées à celles issues de l'expérimentation sur laquelle repose cette approche.

Adaptation des praires semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et Intensification Ecologique

Les résultats préliminaires montrent la forte plasticité des individus, associée à une faible modification de la composition génétique et phénotypique de la population sur les premières générations ce qui est conforme à la faible évolution allélique observée d'une génération à l'autre dans cette expérimentation.

4. SELECTION & AMELIORATION VARIETALE



Climagie a également permis de faire vivre et mieux structurer la collaboration entre la recherche et les acteurs de l'aval. En particulier, il a permis de faire dialoguer les collectifs INRA impliqués dans la sélection participative et ceux impliqués dans des partenariats avec des semenciers. Ceci devient crucial à l'époque de profondes mutations dans les droits d'accès aux ressources génétiques et de remise en question du Certificat d'Obtention Végétale. CLIMAGIE a ainsi été un lieu de débats sur la meilleure façon de permettre aux éleveurs d'accéder à la meilleure génétique en fonction des diverses situations.



Les ressources génétiques. Les espèces fourragères font l'objet de programmes de sélection depuis plusieurs décennies afin d'offrir des semences de haute valeur agronomique pour la création de prairies temporaires. La diversité de ces espèces présente dans les prairies naturelles a fourni le matériel génétique qui a permis d'initier les premiers programmes d'amélioration puis d'enrichir régulièrement les pools de sélection. Pour cela, des campagnes de collecte de diversité naturelle ont été entreprises sur de vastes territoires. Nous esquissons la

distribution spatiale de cette diversité à trois échelles géographiques (locale, régionale et continentale) et nous mobilisons les collections des centres de ressources génétiques exploitées internationalement pour contribuer aux nouveaux enjeux agro-environnementaux auxquels doivent faire face les prairies naturelles et semées.

En quoi le changement climatique modifie-t-il ces perspectives d'amélioration des espèces fourragères ? Cette vaste question était l'un des objectifs du projet. Les études réalisées à des échelles très contrastées montrent que la variabilité génétique de la réponse aux variables climatiques est considérable, aussi bien entre populations naturelles qu'au sein d'une même variété. Le changement climatique renouvelle ainsi le cadre habituel d'expression de la variabilité génétique des fourrages et les approches expérimentales à conduire. Le sélectionneur Agriobtentions en partenariat avec l'INRA combine utilisation en croisement d'écotypes Méditerranéens, de sous-ensembles di- et tétraploïdes au sein d'un même complexe d'espèces, modélisation de la variabilité génétique naturelle en fonction de variables spatiales et climatiques, contrôle du déficit hydrique dans des dispositifs en abris à pluie, mesure de température surface des feuilles, marquage

Adaptation des prairies semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et Intensification Ecologique

moléculaire... Telles ont été les différentes actions entreprises au cours du projet. Plus que la levée de verrous conceptuels, il apparaît que c'est la construction de schémas de sélection ad-hoc et leur mise en œuvre sur le long terme, intégrant toutes les ressources de variabilité génétique et de technologies actuellement disponibles, qui permettront une réponse génétique à hauteur des enjeux du changement climatique.

La sélection pour les mélanges. Plusieurs travaux récents montrent un impact significatif de la diversité génétique intraspécifique sur les services attendus des peuplements semés. Chez Jouffray-Drillaud, l'intérêt de cette diversité intraspécifique est évaluée dans le cadre de mélanges prairiaux plurispécifiques en partenariat avec l'INRA. Les premiers résultats semblent être favorables à une diversité pour la stabilité de la production et le maintien de la diversité des espèces au sein du mélange. Cela peut avoir des implications fortes en termes de types variétaux pour une utilisation en mélanges plurispécifiques.

Faire participer les éleveurs à la sélection fourragère : un levier efficace pour des variétés utiles et utilisées. La production agricole doit réduire l'usage des intrants à un moment où elle fait face aux effets du changement climatique. Or l'utilisation des intrants, si elle permet d'augmenter la production, tamponne également la variabilité spatiale et temporelle des conditions de culture, atténuant notamment les effets des aléas climatiques. L'utilisation d'une diversité d'espèces et de variétés, de populations génétiquement diversifiées constitue une alternative agroécologique à l'utilisation des intrants synthétiques. Le défi est alors de créer des innovations génétiques (variétés, mélanges des variétés, mélanges d'espèces) qui soient adaptées aux conditions locales. Cela nécessite donc de raisonner à l'échelle locale et d'impliquer l'utilisateur dans ce travail de conception de ces innovations. Travailler avec les acteurs de terrain permet (i) d'affiner les objectifs poursuivis et d'ainsi faire évoluer les questions de recherche et les critères d'évaluation des innovations, (ii) de produire des connaissances et des innovations adaptées aux usagers (idéotypage participatif d'associations variétales), (iii) de concevoir des outils leur permettant de créer leurs propres solutions (outil Capflor® d'aide à la conception de prairies à flore variée), ou (iv) d'accompagner le développement d'un programme de la sélection paysanne. Ces travaux rompent ainsi avec la logique du transfert de connaissances des chercheurs vers les agriculteurs au profit d'apprentissages croisés favorisant l'adaptation locale dans le processus d'innovation.

IMPACT DE LA RECHERCHE : IMPLICATIONS PRATIQUES, RECOMMANDATIONS, REALISATIONS PRATIQUES, VALORISATION

- Implications pratiques :
 - La révélation d'une très forte variabilité génétique naturelle dans la réponse de la germination des fourragères à la température est une surprise majeure pour les sélectionneurs.
 - La confirmation de l'intérêt de la diversité génétique inter- et intra-spécifique pour la stabilisation de la production en cas de stress climatique sévère est importante pour les éleveurs et les semenciers qui sont autorisés à vendre les variétés en mélange.
 - La possibilité de créer des variétés capable de survivre aux déficits hydriques estivaux sévères (>450 mm) tout en conservant un potentiel de production relativement élevé est une découverte très importante pour l'avenir des prairies semées en zone méditerranéenne.
- Recommandations et limites éventuelles :

Adaptation des prairies semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et Intensification Ecologique

Les résultats établis par CLIMAGIE ne concernent pas la teneur en CO₂ atmosphérique. Il s'agit donc de réponses maximum, dans la mesure où l'on sait que le CO₂ réduit la consommation d'eau, accroît la disponibilité en énergie dans la plante. Ces deux phénomènes concourent à les rendre plus résistantes au changement climatique.

Le zonage climatique à partir de l'étude fréquentielle d'un déficit estivale (mai –septembre) de 450 mm permet de mieux définir les zones où les variétés méditerranéennes (produisant plus sur l'année et pérennes) de graminées adaptées aux conditions sèches sont nécessaires.

- Réalisations pratiques et valorisation :

Outre un site web et la production d'articles et d'ouvrage de synthèse, le projet fournit des populations fourragères nouvelles aux sélectionneurs partenaires ou aux éleveurs associés à la démarche de sélection participative.

PERSPECTIVES

Il convient de compléter les études d'écophysiologie en (i) explorant les nouvelles variabilités révélées (rôle des fructanes, dormance estivale, phénologie) (ii) croisant les réponses obtenues avec les variations de teneur en CO₂ attendues, (iii) évaluer mieux l'impact de ces conditions climatiques sur le flux d'énergie vers le sol et le stockage de carbone, (iv) mettre sur pied des schéma de sélections pour des variétés en mélange : tout est à construire sur ce plan et le recours à la modélisation individu centré sera sans doute nécessaire pour explorer l'ensemble des combinaisons possibles. Enfin, la construction d'une base de données dynamique permettant de rationaliser les mélanges variétaux reste à concrétiser.

PARTENARIATS

Le partenariat académique au sein de l'INRA s'est considérablement renforcé au cours du projet qui permet de rendre visible l'ensemble des démarches visant à mieux comprendre pour maîtriser l'usage des mélanges fourragers dans la lutte contre le réchauffement climatique. En particulier, l'articulation avec les recherches sur les céréales débouchent sur une meilleure synergie entre les différents domaines agronomiques. Les démarches avancées dans le contexte de climagie ont intégré les recherches fourragères avec les recherches sur les associations de céréales et légumineuses. Le partenariat entre l'INRA et les obtenteurs a été particulièrement actif. Il faut souligner que parallèlement, CLILMAGIE a permis d'interagir avec les démarches de sélection participative, ordinairement très méfiantes vis-à-vis de la profession semencière. Le dialogue interne à l'INRA à ce sujet est important dans le cadre de la mise en place des traités internationaux sur les ressources génétiques naturelles et domestiques.

POUR EN SAVOIR PLUS (QUELQUES REFERENCES)

DURAND JL, ENJALBERT J, HAZARD L, LITRICO I, PICON-COCHARD C, PRUDHOMME MP, VOLAIRE F, (eds.) 2015. Adaptation des Prairies Semées au Changement Climatique. INRA. 223 p. <http://www6.inra.fr/climagie/Media/fichiers/Colloque-Climagie/Actes>

Adaptation des praires semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et
Intensification Ecologique

LISTE DES OPERATIONS DE VALORISATION / ACTIONS OF PROMOTION
(ARTICLES DE VALORISATION, PARTICIPATIONS A DES COLLOQUES,
COMMUNICATION, ...)

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES / SCIENTIFIC PUBLICATIONS

• Publications scientifiques parues / Published

COUIX, N., HAZARD, L. (2013). . When the future of biodiversity depends on researchers' and stakeholders' thought-styles. *Futures*, 53 (septembre), 13-21. Doi : 10.1016/j.futures.2013.09.005

FORT, F., CRUZ, P., CATRICE, O., DELBRUT, A., LUZARRETA, M., STROIA, C., JOUANY, C. (2015). Root functional trait syndromes and plasticity drive the ability of grassland fabaceae to tolerate water and phosphorus shortage. *Environmental and experimental botany*, 110, 62-72. Doi : 10.1016/j.envexpbot.2014.09.007

KALLIDA R., ZHOURI L., VOLAIRE F., GUERIN A., JULIER B., SHAIMI N., FAKIRI M., BARRE P. (2016) Combining drought survival via summer dormancy and annual biomass productivity in *Dactylis glomerata* L. *Frontiers in Plant Sciences*. doi: 10.3389/fpls.2016.00082

LITRICO, I., VIOLLE, C. 2015. Diversity in plant breeding: a new conceptual framework. *Trends in plant science*, 20 (10), 604-612. DOI : 10.1016/j.tplants.2015.07.007

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 (12), 3632-3646. DOI : 10.1111/j.1365-2486.2012.02800.x

PRIETO, I., VIOLLE, C., BARRE, P., DURAND, J. L., GHESQUIERE, M., LITRICO, I. 2015. Complementary effects of species and genetic diversity on productivity and stability of sown grasslands. *Nature Plants*, 1 (4), 1-5. DOI : 10.1038/NPLANTS.2015.33.

VOLAIRE. F., BARKAOUI K., NORTON M. (2014) Designing resilient and sustainable grasslands for a drier future: adaptive strategies, functional traits and biotic interactions. *European Journal of Agronomy*, 52: 81-89.

ZAKA, S., FRAK, E., JULIER, B., GASTAL, F., & LOUARN, G. 2016. Intraspecific variation in thermal acclimation of photosynthesis across a range of temperatures in a perennial crop. *AoB Plants*, plw035.

ZWICKE M., PICON-COCHARD C., MORVAN-BERTRAND A., PRUD'HOMME M.P., VOLAIRE F. (2015) What functional strategies drive drought survival and recovery of perennial species from upland grassland? *Annals of Botany*, 116: 1001-1015.

• Publications scientifiques à paraître / In press

HERNANDEZ, P., & PICON-COCHARD, C. 2016. Presence of *Trifolium repens* promotes complementarity of water use and N facilitation in diverse grass mixtures. *Frontiers in plant science*, 7.

NORTON M., MALINOWSKI D., VOLAIRE F. (2016) Plant drought survival under climate change and strategies to improve perennial grasses. A review. *Agronomy for Sustainable development*

LENS F, PICON-COCHARD C, DELMASC CEL, SIGNARBIEUX C, BUTTLERD A, COCHARD H, JANSENG S, CHAUVIN T, CHACON DORIA L, DEL ARCOI M, DELZON S. 2016. Herbaceous angiosperms are not more vulnerable to drought-induced embolism than angiosperm trees. *Plant Physiology*. DOI:10.1104/pp.16.00829.

BARKAOUI, K., ROUMET, C., & VOLAIRE, F. 2016. Mean root trait more than root trait diversity determines drought resilience in native and cultivated Mediterranean grass mixtures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 231, 122-132.

OUVRAGES / PUBLICATIONS

- Ouvrages parus / Published

BARRE, P., ZHOURE, L., KALLIDA, R., JULIER, B., SHAIMI, N., FAKIRI, M., & VOLAIRE, F. (2014). Towards Productive Summer Dormant Cocksfoot for Mediterranean Climates. In *Quantitative Traits Breeding for Multifunctional Grasslands and Turf* (pp. 145-149). Springer Netherlands.

GHESEQUIERE, M., BARRE, P., DURAND, J. L., LITRICO, I., SAMPOUX, J. P., MOURNET, P., & VOLAIRE, F. (2014). Genetic response to climate scenarios in *Dactylis* and *Festuca* of temperate Versus Mediterranean origin. In *Quantitative Traits Breeding for Multifunctional Grasslands and Turf* (pp. 41-48). Springer Netherlands.

RICHARD D, DOURMAD JY, COULON JB, PICON-COCHARD C. 2013. Elevage et filières animales. In « S'adapter au changement climatique. Agriculture, écosystèmes et territoires », coordination Soussana JF, Quae éditions, Paris, Chapitre 7, 107-124.

DURAND JL, ENJALBERT J, HAZARD L, LITRICO I, PICON-COCHARD C, PRUDHOMME MP, VOLAIRE F, (eds.) 2015. Adaptation des Prairies Semées au Changement Climatique. INRA. 223 p.

COLLOQUES / SEMINARS

- Participations passées à des colloques / Attended conferences

a. En tant qu'intervenant / as contributor

Présentations orales / Oral presentations

AHMED, L. Q., DURAND, J.-L., ESCOBAR GUTIERREZ, A. 2015. Températures extrêmes et variabilité de la germination. In: *Adaptation des prairies semées au changement climatique* (p. 42-47). Presented at Colloque présentant les méthodes et résultats du projet Climagie (métaprogramme ACCAF), Poitiers, FRA (2015-11-16 - 2015-11-17). INRA.

BARKAOUI K., BIROUSTE M., BRISTIEL P., ROUMET C., VOLAIRE F. (2015) La diversité fonctionnelle racinaire peut-elle favoriser la résilience des mélanges de graminées méditerranéennes sous sécheresses sévères ? Colloque ACCAF Climagie, Poitiers, Novembre 16-17 (oral presentation)

BARRE P., ZHOURE L., KALLIDA R., JULIER B., SHAIMI N., FAKIRI M., VOLAIRE F. (2015) Peut-on combiner la dormance estivale et la productivité annuelle pour des variétés adaptées au climat méditerranéen ? Colloque ACCAF Climagie, Poitiers, Novembre 16-17(oral presentation)

BEGUIER, V., LITRICO, I. 2015. Mettre au point des mélanges d'espèces efficaces et stables en prairie semée. In: *Adaptation des prairies semées au changement climatique* (p. 107-112). Presented at Colloque présentant les méthodes et résultats du projet Climagie (métaprogramme ACCAF), Poitiers, FRA (2015-11-16 - 2015-11-17). INRA.

- COMBES, D., LITRICO, I., BARRE, P., ESCOBAR GUTIERREZ, A., SANCHEZ, L., LOUARN, G. 2015. Effets de l'intensité de la défoliation sur la composition génétique et phénotypique d'une population virtuelle de ray-grass. In: *Adaptation des prairies semées au changement climatique* (p. 149-155). Presented at Colloque présentant les méthodes et résultats du projet Climagie (métaprogramme ACCAF), Poitiers, FRA (2015-11-16 - 2015-11-17). INRA.
- DURAND J., LORGEOU J., PICON COCHARD C., VOLAIRE F. (2013) Ecophysiologie de la réponse et de l'adaptation des plantes fourragères et prairiales au changement climatique. Journée de l'association Française pour la Production Fourragère. Le changement climatique : incertitudes et opportunités pour les prairies et systèmes fourragers. Paris, Mars 2013.
- DURAND JL., AHMED L., ANDRIEU B., BARRE P, COMBES D, CRUZ P, DECAU ML., ENJALBERT J., ESCOBAR-GUTIERREZ A., FORT F., FRAK E., GHESQUIEREM, GASTAL F., GOLDRINGER I, HAZARD L., JOUANY C. JULIER KOUBAITI B., LITRICO I., LOUARN G., MEURIOT F., MORVAN BERTRAND A., PICON COCHARD C., POTTIER J. PRUDHOMME MP., SAMPOUX JP., VOLAIRE F., ZAKA S., ZWICKE M. 2014. CLIMAGIE: A French INRA project to adapt the grasslands to climate change. European Grassland Federation Conference, Aberystwyth, UK, 7-11 September. Oral presentation
- DURAND, J.-L., ENJALBERT, J., HAZARD, L., HUARD, F., LITRICO, I., PICON COCHARD, C., PRUD'HOMME, M.-P., VOLAIRE, F. 2015. Adaptation génétique et intensification écologique : le double défi de l'adaptation des prairies semées au changement climatique. In: *Adaptation des prairies semées au changement climatique* (p. 31-39). Presented at Colloque présentant les méthodes et résultats du projet Climagie (métaprogramme ACCAF), Poitiers, FRA (2015-11-16 - 2015-11-17). INRA.
- ENJALBERT J ET AL. 2015. Intérêt des associations variétales de blé tendre pour l'agriculture du bassin parisien. Journée de réflexion sur les assemblages variétaux/spécifiques – Paris, 15 sept. 2015
- ENJALBERT J ET AL. 2014. Intérêt des associations variétales de blé tendre pour l'agriculture du bassin parisien. Séminaire de lancement du Méta Programme EcoServ Nantes, 9 avril 2014.
- GASTAL, F., FERNANDEZ, L., LOUARN, G., JULIER, B., BARRADAS, A., CRESPO, D., GODINHO, B. 2015 Les mélanges de variétés méditerranéennes/tempérées comme stratégie d'adaptation des espèces fourragères au changement climatique ?. In: *Adaptation des prairies semées au changement climatique* (p. 113-121). Presented at Colloque présentant les méthodes et résultats du projet Climagie (métaprogramme ACCAF), Poitiers, FRA (2015-11-16 - 2015-11-17). INRA.
- GHESQUIERE, M., BOURGOIN, T., BARIAC, T., VOLAIRE, F., DURAND, J.-L. 2015. Comment la phénologie affecte-t-elle l'accès à la ressource en eau chez les graminées pérennes ?. In: *Adaptation des prairies semées au changement climatique* (p. 62-71). Presented at Colloque présentant les méthodes et résultats du projet Climagie (métaprogramme ACCAF), Poitiers, FRA (2015-11-16 - 2015-11-17). INRA.
- HERNANDEZ P, PICON-COCHARD C 2014. Extreme drought on grasslands: the buffering effect of plant diversity through functional complementarity. Colloque commun British Ecological Society (BES) and Société Française d'Ecologie (SFÉ), Joint Annual Meeting. Lille, 9-12 december 2014
- KALLIDA, R., ZHOURI L., SHAIMI N., FAIZ C. AI, VOLAIRE F., JULIER B., BARRE P. (2013) Relationship between biomass production and summer dormancy in *Dactylis glomerata* L., Satellite meeting on 'Plant responses to drought and high temperatures', 22nd International Grassland Congress, Sydney, Australia, 15-19 September 2013.
- LECARPENTIER, C., GOLDRINGER, I., ANDRIEU, B., ENJALBERT, J. 2013. Coupling genetic and ecophysiologic models to simulate temporal evolution of cultivar mixtures and composite populations. International Symposium on Evolutionary Breeding in Cereals. Aston University, Birmingham, GB, 21 janvier.

- LECARPENTIER, C., GOLDRINGER, I., ANDRIEU, B., ENJALBERT, J. 2013. Valorisation de la diversité intra-parcelle dans un contexte de changement global : développement d'un modèle couplant écophysologie 3D et génétique évolutive chez le blé. Journée du DIM ASTREA. Paris, 29 mars.
- LECARPENTIER C, GOLDRINGER I, ANDRIEU B & ENJALBERT J, 2013. Valorisation de la diversité intra-parcelle dans un contexte de changement global : Développement d'un modèle couplant écophysologie 3D et génétique évolutive chez le blé. Colloque « Des ingénieries par et pour le vivant, écologiques et agro-écologiques », 19 décembre 2013, Montpellier
- LECARPENTIER C, BARILLOT R, GOLDRINGER I, ANDRIEU B & ENJALBERT J, 2014. Developing a 3D architectural model to investigate competition for light within wheat growing associations. PhD Days de l'école doctorales Science du Végétal, 07 Novembre 2014, Orsay.
- LECARPENTIER, R. BARILLOT. M. ABICHO, C., GOLDRINGER, I., ENJALBERT, J ANDRIEU, B., 2013. Modélisation de la plasticité phénotypique et compétition chez le blé Colloque interne du Moulon – févr. 2015 : C Lecarpentier (modèle compétition pour la lumière en mélanges)
- LITRICO, I., BARRE, P., DURAND, J.-L., GHESQUIERE, M., PRIETO, I., VIOLLE, C. 2015. Diversité spécifique et génétique dans les prairies semées : une plus-value complémentaire !. In: *Adaptation des prairies semées au changement climatique* (p. 100-106). Presented at Colloque présentant les méthodes et résultats du projet Climagie (métaprogramme ACCAF), Poitiers, FRA (2015-11-16 - 2015-11-17). INRA.
- LOUARN, G., ESCOBAR GUTIERREZ, A., MIGAULT, V., FAVERJON, L., COMBES, D. 2015. "Virtual grassland" : un modèle individu-centré pour simuler la dynamique des communautés prairiales en réponse à la disponibilité en eau en N du sol. In: *Adaptation des prairies semées au changement climatique* (p. 132-136). Presented at Colloque présentant les méthodes et résultats du projet Climagie (métaprogramme ACCAF), Poitiers, FRA (2015-11-16 - 2015-11-17). INRA.
- MIGAULT, V., LOUARN, G., COMBES, D., ESCOBAR GUTIERREZ, A. 2015. L-Grass : un modèle de morphogenèse de la plante entière de ray-grass anglais. In: *Adaptation des prairies semées au changement climatique* (p. 124-131). Presented at Colloque présentant les méthodes et résultats du projet Climagie (métaprogramme ACCAF), Poitiers, FRA (2015-11-16 - 2015-11-17). INRA.
- PICON-COCHARD C., BLOOR J, ZWICKE M, DURU M. 2013. Impacts du changement climatique sur les prairies permanentes. Journée de l'association Française pour la Production Fourragère. Le changement climatique : incertitudes et opportunités pour les prairies et systèmes fourragers. Paris, Mars 2013.
- PICON-COCHARD C, HERNANDEZ P. 2015. Buffering effect of plant diversity through belowground functional complementarity under a severe drought in grassland mixtures. International Society of Root Research (ISRR)-9: Roots down under. Belowground solutions to global challenges? Canberra, 6-9 October 2015.
- PRUD'HOMME MP, ZWICKE M., PICON-COCHARD C., VOLAIRE F., MORVAN-BERTRAND A. 2015. Les fructanes protègent les cellules contre les sécheresses modérées et intenses. Colloque ACCAF Climagie, Poitiers, Novembre 16-17 (oral presentation)
- RENAUDEAU D , LITRICO I, DELAGARDE R ET BELLOCCHI G 2014. Changement climatique Quelles pistes d'adaptation pour l'élevage ? Les Rencontres de l'INRA au Salon de l'Agriculture. http://www6.inra.fr/recolad/content/download/3222/32993/version/1/file/SIA_2014_%C3%83%C2%A9levage.pdf
- SAMPOUX, J.-P. 2015. La collecte, la conservation et la valorisation des ressources génétiques naturelles comme leviers de l'adaptation des espèces fourragères aux nouveaux enjeux agro-environnementaux. In: *Adaptation des prairies semées au changement climatique* (p. 180-188).

CLIMAGIE

Presented at Colloque présentant les méthodes et résultats du projet Climagie (métaprogramme ACCAF), Poitiers, FRA (2015-11-16 - 2015-11-17). INRA.

VOLAIRE F., BARRE P., BEGUIER V., BOURGOIN T., DURAND JL., GHESQUIERE M., JAUBERTIE JP, LITRICO I., NOËL D. 2013 Quels idéotypes de plantes fourragères pour des prairies adaptées au changement climatique ? Journée de l'association Française pour la Production Fourragère. Le changement climatique : incertitudes et opportunités pour les prairies et systèmes fourragers. Paris, Mars 2013.

VOLAIRE F., POIRIER M., DURAND JL. (2013) Persistence and production of perennial grasses under droughts and heat waves. Workshop on perennial grasses in pasture production systems – Australian Grasslands Association. Canberra, Australia, May 2013.

VOLAIRE F., BARKAOUI K., NORTON M. (2013) Designing resilient and sustainable grasslands for a drier future: adaptive strategies, functional traits and biotic interactions. Invited Key note for the 22nd International Grassland Congress, Sydney, Australia, 15-19 September 2013.

ZAKA, S., AHMED, L. Q., ESCOBAR GUTIERREZ, A., DURAND, J.-L., LOUARN, G. 2015. Les températures cardinales des grandes fonctions de production chez deux plantes fourragères pérennes. In: *Adaptation des prairies semées au changement climatique* (p. 48-55). Presented at Colloque présentant les méthodes et résultats du projet Climagie (métaprogramme ACCAF), Poitiers, FRA (2015-11-16 - 2015-11-17). INRA.

ZWICKE M., PICON-COCHARD C., MORVAN-BERTRAND A., PRUD'HOMME MP, VOLAIRE F. 2014. Quelles sont les stratégies et les traits fonctionnels impliqués dans la survie à la sécheresse d'espèces herbacées prairiales de moyenne montagne ? Colloque d'Ecologie des Communautés Végétales, Lyon, France, Avril 2014. Oral presentation.

Posters

BARRE P., ZHOURI L., KALLIDA R., JULIER B., SHAIMI N., FAKIRI M., VOLAIRE F. (2013) Towards productive summer dormant cocksfoot for Mediterranean climates. Conference of the Eucarpia Fodder and Amenity Species. Vrnjačka Banja, Serbie. Poster

BARKAOUI K., VOLAIRE F. (2013) Concevoir des prairies multi-spécifiques adaptées à la sécheresse : quels apports de l'écologie des communautés ? Colloque sur 'l'ingénierie écologique et agro-écologique', Montpellier, 19 décembre 2013. Poster

BARKAOUI K., BRISTIEL P., BIROUSTE M., ROUMET C., VOLAIRE F. (2015) Can functional complementarity of plant strategies enhance drought resilience in associations of Mediterranean grasses? 3rd Global Science Conference on Climate Smart Agriculture, Montpellier, March 16–18. Poster

DURAND, J.-L., 2013. Climagie : un projet intra multidisciplinaire sur l'adaptation des prairies au changement climatique : amélioration génétique et intensification écologique. Journées de l'AFPF 23 mars 2013.

DURAND, J.-L., ENJALBERT, J., HAZARD, L., LITRICO, I., PICON-COCHARD, C., PRUD'HOMME, M.-P., VOLAIRE, F. 2013. CLIMAGIE: A French INRA project to adapt the grasslands to climate change. In: *Revitalising grasslands to sustain our communities* (p. 1325-1326). Presented at 22. International Grassland Congress, Sydney, AUS (2013-09-15 - 2013-09-19). Orange New South Wales, AUS : Publisher New South Wales Department of Primary Industry.

FORT F., LECLoux E., STROIA C., CRUZ P., JOUANY C. 2012 Water and Phosphorus stress: contrasting effect on root functional traits and between grasses functional groups. International Society of Root Research (ISRR) "Roots to the future", Dundee UK.

FORT F., LECLoux E., JOUANY C., CRUZ P. 2012 Rhizospheric Phosphatase activity of grassland

poaceae grown under contrasted water and Phosphorus supplies. International society of Root Research (ISRR) "Roots to the future", Dundee UK.

HERNANDEZ P., PICON-COCHARD C. 2014. Effect of extreme drought on grassland: Evaluation of the buffering effect of plant diversity with an experimental approach. In: *Cah. Opt. Mediterr.* Joint Meeting of FAO-CIHEAM Mountain Pastures and Mediterranean Forages Resources networks and Mountain Cheese network, June 24-25-26, 2014, Clermont-Ferrand, France.

LECARPENTIER C, BARILLOT R, GOLDRINGER I, ANDRIEU B & ENJALBERT J. 2015. Developing a 3D architectural model to investigate competition for light within wheat growing associations. Journées des doctorants 2015 du DIM Astréa – 27 mars 2015, Paris.

NORTON M., VOLAIRE F., CULVENOR R. (2013) Measuring summer dormancy in perennial grasses in contrasting environments. 22nd International Grassland Congress, Sydney, Australia, 15-19 September 2013. Poster

VOLAIRE F., BRISTIEL P., VIOLLE C. (2013) Concevoir de nouveaux idéotypes prairiaux adaptés à la sécheresse: quels apports de l'écologie théorique ? Colloque sur 'l'ingénierie écologique et agro-écologique', Montpellier, 19 décembre 2013. Poster

ZWICKE M., BERTRAND-MORVAN A., PRUD'HOMME M-P., VOLAIRE F., PICON-COCHARD C. 2012 Root responses of seven perennial forage species to severe drought. ISRR-8: 25-29 June 2012, Dundee.

THESES / THESIS

- Thèses soutenues / Defended PhDs

AHMED L. Analyse de la variabilité inter et intra-spécifique de cinq espèces prairiales en réponse à la température pendant la germination et la phase hétérotrophe initiale. (Université de Poitiers. 10/7/2015.

BARAKAOUI K Structure fonctionnelle et fonctionnement écohydrologique de parcours méditerranéens selon un gradient de disponibilité en eau. Centre International d'Etudes Supérieures Agronomiques. 12/12/2013.

FORT F. Stratégies d'acquisition des ressources des plantes prairiales sous contraintes hydrique et minérale – Rôle du système racinaire dans la réponse aux facteurs structurant les communautés. Université De Toulouse. 27/9/2013.

MIGAULT V. *Insertion de la morphogenèse racinaire dans L-grass, un modèle structure-fonction de graminées fourragères* Université de Poitiers. 24/2/2015.

ZAKA S. Caractérisation et modélisation des réponses à la température de la luzerne et de la fétuque élevée pour des variétés d'origines contrastées - Application du modèle Stics. Université de Poitiers. 30 mars 2016.

ZWICKE M. Impacts d'une canicule sécheresse sur le fonctionnement et la structure des communautés végétales de l'écosystème prairial. Doctorat de l'Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 19/12/2013..

- Thèses en cours / Ongoing PhDs

HERNANDEZ P. 2013- Evaluation du rôle tampon de la diversité végétale sur la réponse à des stress hydriques extrêmes de mélanges prairiaux

LECARPENTIER C. 2013- Modélisation 3D des compétitions aériennes chez le blé, et étude des complémentarités dans l'utilisation de la lumière d'un mélange de variétés.

MODELES – LOGICIELS / MODELS – SOFTWARES

- Outils développés / Developed tools

L-GRASS modèle de simulation 3D de ray-grass anglais en interaction avec l'éclaircissement et l'alimentation hydrique.

- Outils en cours de développement / Tools under construction

Modèle L-PY (environnement OPEN-ALEA) permettant la simulation 3D individu centrée du développement aérien et de la production de grains chez le blé.

Virtual Grassland. (environnement OPEN-ALEA) Plateforme de simulation individu-centrée de prairie semée multi-espèces.

ACTIONS DE VULGARISATION - TRANSFERT / ARTICLES OF VULGARIZATION - TRANSFER

- Articles de valorisation parus / Published

DURAND J., LORGEOU J., PICON COCHARD C., VOLAIRE F. (2013) Ecophysiologie de la réponse et de l'adaptation des plantes fourragères et prairiales au changement climatique. *Fourrages*, 214: 111-118.

DURAND J.L., ANDRIEU B., BARILLOT R., BARRE P., COMBES D., ENJALBERT J., ESCOBAR-GUTIERREZ A.J., FAVERJON L., LECARPENTIER C., LITRICO I., LOUARN G., MIGAULT V., SANCHEZ L. 2016. Progresser dans la simulation mathématique des performances des mélanges de variétés fourragères pour composer et améliorer les prairies *Fourrages* 225, 21-28.

GHESEQUIERE, M., BARRE, P., BOUTET, G., CAMELEYRE, I., GIBELIN, C., PIERRE, J.-B., SAMPOUX, J. P. 2013. Progrès génétique et maintien de la variabilité génétique : sont-ils incompatibles ? Le cas du ray-grass anglais au travers de 40 ans d'amélioration de variétés fourragères et à gazon. *Innovations Agronomiques*, 27, 123-137.

GHESEQUIERE M., BOURGOIN T., DURAND J.L., SAMPOUX J.P., VOLAIRE F. 2016. Quelles innovations variétales face au changement climatique ? Les marges de progrès génétique chez les graminées fourragères. *Fourrages* 225 29-38.-

HAZARD L., BORG J., CHARRON M.H., DEO M., ENJALBERT J., GAUFFRETEAU A., GOUTIERS V., GRESSIER E. 2016. L'innovation à l'épreuve d'un climat et d'un monde changeant rapidement : intérêt de la co-conception dans le domaine des semences. *Fourrages* 225 39-48.

GRESSIER, E., LAURENT, P., PARENTI, T., HAZARD, L. (2013). . Produire du fourrage avec des populations de pays : exemple de la luzerne et du sainfoin à faibles intrants dans le sud-aveyron. *Fourrages* (216), 313-319.

LITRICO I., BARKAOUI K., BARRADAS A., BARRE P., BEQUIER V., BIROUSTE M., BRISTIEL P., CRESPO D.G., DELEGLISE C., DURAND J.L., FERNANDEZ L., GASTAL F., GHESEQUIERE M., GODINHO B., HERNANDEZ P., JULIER B., LOUARN G., MEISSER M., MOSIMANN E., PICON-COCHARD C., ROUMET C., VOLAIRE F. 2016. Utiliser les mélanges fourragers pour s'adapter au changement climatique : opportunités et défis *Fourrages* 225. 11-20.

RUGET, F., DURAND, J. L., RIPOCHE, D., GRAUX, A.-I., BERNARD, F., LACROIX, B. ., MOREAU, J.-C. (2013). Impacts des changements climatiques sur les productions de fourrages (prairies, luzerne, maïs) : variabilité selon les régions et les saisons. *Fourrages*, 214, 99-109.

SAMPOUX, J.-P., BEQUIER, V., BOURDON, P., GALBRUN, C., GRAS, M., NOËL, D., PIETRASZEK, W., POINSARD, L., THAREL, B., DURAND, J.-L. 2016. Efficacité du prélèvement de l'azote et efficacité de l'eau en conditions de production fourragère chez le ray-grass anglais : recherche de critères d'évaluation de la diversité variétale. *Innovations Agronomiques* (50), 111-121

CLIMAGIE

STRAEBLER M, 2016. Ventes de semences fourragères en mélange en France : quelles compositions et quelles tendances observe-t-on ? *Fourrages* 225 49-54.

VOLAIRE F., AHMED L.Q., BARRE P., BOURGOIN T., DURAND J.L., ESCOBAR-GUTIERREZ A.J., FAKIRI M., GHESQUIERE M., JULIER B., KALLIDA R., LOUARN G., MORVAN-BERTRAND A., PICON-COCHARD C., PRUDHOMME M.P., SHAIMI N., ZAKA S., ZHOURI L., ZWICKE M. 2016. Quelle est la variabilité intra- et interspécifique des caractères d'adaptation des espèces prairiales pérennes aux variables du changement climatique ? *Fourrages* 225 1-9.

VOLAIRE F., BARRE P., BEGUIER V., BOURGOIN T., DURAND JL., GHESQUIERE M., JAUBERTIE JP, LITRICO I., NOËL D. (2013) Quels idéotypes de plantes fourragères pour des prairies adaptées au changement climatique ? *Fourrages*, 214 : 119-126

AUTRES ACTIONS VERS LES MEDIAS / OTHER ACTIONS TOWARDS MEDIA

- Actions vers les médias (interviews...) effectuées / Concluded actions
 - <https://youtu.be/eEoMp8FZEG4>
 - Emissions diverses sur FR3 Poitou-Charentes de 2012 à 2015
 - 7 à Poitiers
 - Réussir Lait
 - Actualité Poitou Charentes

AUTRES / OTHERS

Sites webs : site du projet et site du colloque

<http://www6.inra.fr/climagie/Colloque-de-restitution-du-projet>

<https://colloque.inra.fr/climagie>

RESUME

TITRE DU PROJET

Adaptation des prairies semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et
Intensification Ecologique

RESUME COURT

De 2011 à 2015, six équipes de quatre départements de recherche de l'Inra se sont associées pour mieux comprendre la réponse des plantes aux fortes températures et aux sécheresses estivales, à simuler la dynamique des plantes et des prairies soumises à ces contraintes pour appuyer les efforts d'amélioration des plantes entrepris directement en collaboration avec les partenaires semenciers ou les éleveurs.

RESUME LONG

Contexte :

Les prairies semées sont une des clefs des systèmes de productions agricoles pour sécuriser la production de fourrage, d'améliorer les performances écologiques de l'agrosystème, de contribuer à la séquestration durable du carbone atmosphérique dans le sol.

Objectifs :

Il s'agissait de mieux comprendre la réponse des plantes aux fortes températures et aux sécheresses estivales, de simuler la dynamique des plantes et des prairies soumises à ces contraintes pour appuyer les efforts d'amélioration des plantes entrepris directement en collaboration avec les partenaires semenciers ou les éleveurs.

Méthodologie :

Une première série de travaux conduits en conditions contrôlées, pour éviter la confusion avec les déficits hydriques atmosphérique, a visé à mieux comprendre les causes de la variabilité génétique de la réponse des variétés fourragères à la température. Ces travaux expérimentaux ont aussi exploré les variations, chez les mêmes espèces de la réponse aux déficits hydriques estivaux. Enfin sur ces dispositifs, le rôle de la diversité génétique des fonctions de production de la plante aériennes et souterraines sur la productivité et la pérennité des prairies a été établi. Un second ensemble de travaux a consisté à construire des modèles permettant de simuler, de la graine à la graine, la dynamique de la prairie à partir de la réponse individuelle de la plante à son milieu, lui-même modifié par les plantes voisines. Enfin on a cherché à créer du matériel innovant par croisement entre populations d'origines et aux caractères contrastés. Ce dernier travail a été réalisé aussi bien avec les semenciers de l'Association des Créateurs de Variétés Fourragères et l'INRA qu'en sélection participative.

Principaux résultats obtenus :

- La variabilité génétique de la réponse de la germination à la température chez les graminées les plus cultivées (ray-grass anglais, fétuque élevée et dactyle) révèle de fortes différences (de 8 à 25 °C) entre les populations étudiées. Au contraire, la variabilité des températures minimale,

Adaptation des prairies semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et Intensification Ecologique

optimale et maximale des fonctions végétatives des plantes est apparue très peu variable au sein de chaque espèce.

- Concernant les sécheresses en zones tempérées, on a progressé dans les méthodes de phénotypage à même niveau de contrainte hydrique. Pour les conditions méditerranéennes, on a montré (i) qu'il existe une variabilité génétique importante sur la dormance mais qui ne s'oppose pas à une meilleure productivité aérienne annuelle; (ii) que les fructanes, ont bien un rôle de protecteur des cellules dans les plantes subissant des sécheresses intenses.
- Nous montrons que la variabilité inter-spécifique des caractères aériens (croissance des tiges) est nécessaire dès lors que les facteurs de production fourragère (eau, azote...) ne sont pas à l'optimum, mais il ne semble pas que la variabilité de la profondeur d'enracinement joue en général un rôle majeur. Nos travaux montrent en outre et pour la première fois que la pérennité et la stabilité des résultats agronomiques de ces mélanges fourragers requiert une importante diversité intra-spécifique sur les caractères de croissance aérienne.
- Communs avec de nouveaux modèles de simulation de céréales, nécessaires pour rationaliser les mélanges fourragers et devant simuler les réponses des plantes individuelles aux conditions microclimatiques nous avons construit des modèles qui permettent de simuler le rôle de la variabilité génétique en interaction avec l'environnement et de simuler la reproduction.
- La répartition des ressources génétiques naturelles en fonction du climat est mieux comprise. Des croisements entre populations méditerranéennes et tempérées, sélectionnées dans des conditions de sécheresse plus ou moins intense, permettent d'élargir la base génétique. Enfin, une démarche originale en sélection participative permet d'associer des éleveurs aux choix de critères et de populations pour permettre à des systèmes de productions locaux de durer face au changement climatique.

Sorties opérationnelles pour décideurs, applications éventuelles :

- Le zonage climatique à partir de l'étude fréquentielle d'un déficit estivale (mai – septembre) de 450 mm permet de mieux définir les zones où les variétés méditerranéennes de graminées adaptées aux conditions sèches sont utiles.
- Les critères de sélections du CTPS concernent des variétés cultivées en pur. La question de leur utilisation pour les mélanges doit être approfondie.

Perspectives :

L'analyse de la répartition géographique des ressources génétiques se fait maintenant au niveau européen grâce à un partenariat international élargi (projet de la JPI FACCE également géré par ACCAF).

Il conviendrait de compléter les études d'écophysiologie en (i) (rôle des fructanes, dormance estivale, phénologie, rôle de la teneur en CO₂). Nous souhaitons mettre sur pied des schémas de sélections pour des variétés en mélange, en élargissant encore le partenariat international.

Enfin, la construction d'une base de données dynamique permettant de rationaliser les mélanges variétaux reste à concrétiser.

MOTS-CLÉS :

prairie temporaire, fetuque, dactyle, ray-grass, trèfle, luzerne, sécheresse, température, qualité, pérennité, sélection, mélanges fourragers, diversité génétique.

Adaptation des praires semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et
Intensification Ecologique

FAIT(S) MARQUANT(S) DU PROJET

Catégories de faits marquants :

1. une avancée ou un résultat scientifique
2. une innovation technique
3. une expertise
4. un partenariat exemplaire
5. un événement remarquable (ex. colloque)

Les faits marquants ne devront être présentés que s'ils sont pertinents pour le projet. Il n'est donc pas obligatoire de mentionner un fait marquant pour chacune des cinq catégories présentées ci-dessus.

Veillez, par contre, ne présenter qu'un fait marquant par catégorie.

TITRE

Lancement du projet FACCE-JPI ERA-NET+ "GrassLandscape"

CATEGORIE

un partenariat exemplaire

RESUME

Le projet "GrassLandscape" contribue au projet CLIMAGIE. Il a pour objectif de détecter des marqueurs génomiques de l'adaptation climatique dans la diversité naturelle du ray-grass anglais à l'aide des outils méthodologiques du cadre conceptuel de la génomique du paysage. Les résultats obtenus seront utilisés pour concevoir des stratégies d'adaptation de la diversité de cette graminée fourragère aux changements climatiques attendus (migration assistée, sélection).

CONTEXTE ET ENJEUX

Les prairies naturelles et semées représentent 36% de la SAU de l'Union Européenne. Les espèces végétales présentes dans les prairies présentent une grande diversité d'écotypes bien adaptés aux contextes climatiques régionaux de l'Europe. Toutefois, la distribution spatiale actuelle de ces écotypes ne sera probablement pas adaptée aux futurs climats régionaux prédits par les modèles de changement climatique. Le projet CLIMAGIE du métaprogramme ACCAF aborde la question de la gestion des ressources génétique et s'appuiera sur les résultats d'une collaboration européenne renforcée sur ce thème. Le projet 'GrassLandscape' a ainsi pour objectif d'étudier la distribution de la diversité adaptative d'une graminée fourragère et de proposer des stratégies d'adaptation au changement climatique de cette espèce. Il réunit l'INRA (URP3F, coordinateur), l'EPHE (Ecole Pratique des Hautes Etudes), l'IBERS (Grande-Bretagne) et l'IPK (Allemagne).

RESULTATS

A ce stade du projet, les résultats sont encore bruts et incomplets. Les participants (IBERS (UK), ILVO (Belgique) IPK (RFA) et INRA) sont tous mobilisés et déjà 3 réunion plénières ont réuni les partenaires. Il s'agit de la plus ambitieuse opération de mise en commun de données de ressources génétiques à l'échelle européenne. Il a permis de rassembler 550 populations couvrant la totalité du continent européen. Le génotypage des populations est très avancé. Le phénotypage individuel a commencé et la mise en place d'un essai en micro-parcelles des 550 populations en trois sites européens est achevée. Les premiers résultats sont enregistrés. Un ingénieur géomaticien et un post doc Agreenskill (3 ans) mettent en forme et commencent à analyser les données.

PERSPECTIVES

: Ce projet, qui utilise une méthode de génotypage haut-débit basée sur une technologie de séquençage NGS, devrait permettre de détecter un nombre important de marqueurs génomiques liés à des locus d'adaptation environnementale, notamment climatique. Ces marqueurs permettront d'optimiser la gestion des ressources génétiques du ray-grass anglais pour adapter cette espèce au changement climatique. Les stratégies d'adaptation de la diversité du ray-grass anglais qui pourront être développées à partir des résultats de ce projet seront conçues en collaboration avec les porteurs d'enjeux (semenciers, associations de promotion des cultures herbagères) et se poursuivront par de nouvelles actions collaboratives de mise en œuvre de ces stratégies.

VALORISATION

Sampoux J.P., Barre P., Litrico I. (2013) High-throughput genome-wide genotyping to revive the use of natural diversity in forage and turf breeding. In: Sokolovic D. *et al.* (eds), Quantitative traits breeding for multifunctional grasslands and turf. Springer, Dordrecht, pp. 313-323. 30th EUCARPIA Fodder Crops and Amenity Grasses Section Meeting, 12-16 May 2013. Vrnjacka Banja, Serbia (*invited paper*)

MOTS-CLES

Génomique du paysage, ray-grass anglais, ressources génétiques, changement climatique, biogéographie

TITRE

VERS DES VARIETES DE DACTYLE MEDITERRANEENNES PRODUCTIVES

CATEGORIE

Un résultat scientifique

RESUME

La dormance estivale permet une résistance importante aux sécheresses sévères des graminées fourragères mais est souvent liée à une faible production annuelle. Cette étude a permis de montrer qu'il était possible de créer, par croisements génétiques, des individus de dactyle à la fois dormant l'été et ayant une vitesse de croissance foliaire importante au printemps et en automne garant d'une forte productivité fourragère.

CONTEXTE ET ENJEUX

Les prévisions climatiques pour les futures décennies montrent un risque accru des sécheresses estivales ainsi qu'une extension de la zone climatique méditerranéenne (IPCC, 2007). Sous ces conditions de sécheresses sévères, les graminées pérennes comme *Dactylis glomerata* et *Festuca arundinaceae* sont des espèces de grand intérêt pour une production fourragère durable sans irrigation. Chez de nombreuses graminées, il a été montré que la dormance estivale, définie comme un arrêt de croissance et une sénescence foliaire l'été sans limitation d'eau, permet une meilleure survie après des sécheresses sévères. Cependant, une dormance estivale complète semble être associée avec une faible productivité fourragère annuelle. L'objectif de cette étude était l'analyse du déterminisme génétique et éco-physiologique de la dormance estivale et de la productivité fourragère chez le dactyle dans un but ultérieur de s'affranchir du choix entre dormance estivale et productivité fourragère par croisements génétiques

RESULTATS

La dormance estivale et un paramètre de production fourragère i.e. la vitesse de croissance foliaire au printemps à Rabat (Maroc) et en automne à Lusignan (France), ont été mesurées dans une descendance de dactyle entre un parent dormant l'été mais peu productif (Kasbah) et un parent non dormant mais productif (Medly). Une forte variabilité avec un gradient continu a été observée pour l'ensemble des caractères révélant une architecture génétique complexe pour chacun d'eux y compris la dormance estivale. Une faible corrélation négative assez lâche a été observée entre la dormance estivale et la vitesse de croissance foliaire. Des descendants présentant une dormance estivale équivalente à celle de Kasbah et une vitesse de croissance foliaire largement supérieure à celle de Medly ont été identifiés. Des QTL spécifiques de dormance estivale et de vitesse de croissance foliaire ont été identifiés ainsi que des QTL communs.

PERSPECTIVES

Ces résultats obtenus sur un seul croisement sont prometteurs pour la création de variétés de dactyle à la fois dormantes l'été (donc résistantes aux sécheresses sévères) et productives durant les périodes favorables (printemps-automne). De nouveaux croisements impliquant plusieurs origines de dormance estivale et du matériel tempéré élite sont en cours pour confirmer ces résultats et servir

de base d'un programme de pré-sélection de nouvelles variétés méditerranéennes (collaboration avec Agri-Obtentions).

VALORISATION

- Kallida R., Zhouri L., Volaire F., Guerin A., Julier B., Shaimi N., Fakiri M., Barre P. 2016 Combining drought survival via summer dormancy and annual biomass productivity in *Dactylis glomerata* L. *Frontiers in Plant Science*. doi: 10.3389/fpls.2016.00082

- Kallida R., Zhouri L., Volaire F., Guerin A., Julier B., Shaimi N., Fakiri M., Barre P. (2015) Peut-on combiner la dormance estivale et la productivité annuelle pour des variétés adaptées au climat méditerranéen ? Actes du colloque Climagie : « l'adaptation des prairies au changement climatique », Poitiers, France, les 16-17/11/2015

- Barre P., Zhouri L., Kallida R., Julier B., Shaimi N., Fakiri M., Volaire F. (2014) Towards productive summer dormant cocksfoot for Mediterranean climates. In *Quantitative traits breeding for multifunctional grasslands and turf*. Eds Sokolovic D., Huyghe C., Radovic J. Pub. Springer Conference of the Eucarpia Fodder and Amenity Species Section. Vrnjačka Banja, SERBIA, 2013 p. 145.

- Kallida, R., Zhouri L., Shaimi N., Faiz C., Volaire F., Julier B., Barre P. (2013) Relationship between biomass production and summer dormancy in *Dactylis glomerata* L., Satellite meeting on 'Plant responses to drought and high temperatures', 22nd International Grassland Congress, Sydney, Australia, 15-19 September 2013.

MOTS-CLES

TITRE

Adaptation des prairies semées au changement climatique.

CATEGORIE

Evènement

RESUME

Le colloque CLIMAGIE a réuni 100 personnes durant 2 jours à Poitiers, impliqués dans la production végétale, souhaitant s'informer et discuter des innovations attendues dans ce domaine. Ce colloque a donné à ces enseignants, chercheurs, techniciens, étudiants, agents des services publics de l'état et des territoires... l'occasion de participer à la présentation des travaux du projet CLIMAGIE, et de débattre pour améliorer les cultures fourragères du futur.

CONTEXTE ET ENJEUX

Le changement climatique affecte l'ensemble des productions végétales en France et dans le Monde. Les cultures fourragères pérennes doivent affronter des saisons de plus en plus chaudes, des étés de plus en plus secs. Le déséquilibre saisonnier se creuse et il est attendu que les variétés continuent à s'adapter à un rythme encore plus rapide. De plus, les pratiques culturales doivent prendre en compte les projections des climatologues pour de nouveaux assemblages d'espèces et de variétés permettant d'adapter la production des prairies semées aux conditions à venir. Enfin les contraintes environnementales et énergétique toujours plus sévères conduisent à accroître la diversité semée selon des schémas qui restent encore largement à préciser. L'Inra s'est saisi de ces problématiques en fédérant un ensemble de travaux multidisciplinaires (de l'écophysiologie à l'amélioration des plantes en passant par l'écologie, la physiologie végétale et les sciences sociales). Le colloque visait à rendre compte auprès des porteurs d'enjeu de la filière des productions fourragères.

RESULTATS

Le colloque s'est tenu les 16 et 17 novembre 2015 à L'Espace Toumaï à Poitiers. Il a participé à l'animation scientifique en amont de la COP21.

Introduit par les directeurs de l'agriculture et de l'environnement à l'INRA, il a en outre accueilli deux chercheurs étrangers francophones (Suisse et Canada) venus partager leur expérience de la recherche pour adapter les plantes fourragères au changement climatique.

Il a réuni 100 personnes (chercheurs, enseignants, étudiants, conseillers agricoles, élus, obtenteurs) durant deux jours.

La presse professionnelle s'est faite l'écho de cet évènement.

Un ouvrage reprend l'ensemble des actes avec des résumés de 4 à 10 pages des 25 interventions.

L'AFPF et sa revue *fourrages* ont publié une synthèse des contributions avec 6 articles dans son numéro de mars 2016 spécialement consacré à cet évènement.

PERSPECTIVES

S'inscrivant dans la suite d'une animation portée par l'AFPF et le réseau des unités de l'INRA impliquées dans CLIMAGIE. Une réédition de cet évènement peut être envisagée pour 2018 ou 2019.

VALORISATION

DURAND JL, ENJALBERT J, HAZARD L, LITRICO I, PICON-COCHARD C, PRUDHOMME MP, VOLAIRE F, (eds.) 2015. Adaptation des Prairies Semées au Changement Climatique. INRA. 223 p.

DURAND J.L., ANDRIEU B., BARILLOT R., BARRE P., COMBES D., ENJALBERT J., ESCOBAR-GUTIERREZ A.J., FAVERJON L., LECARPENTIER C., LITRICO I., LOUARN G., MIGAULT V., SANCHEZ L. 2016. Progresser dans la simulation mathématique des performances des mélanges de variétés fourragères pour composer et améliorer les prairies Fourrages 225, 21-28

GHEQUIERE M., BOURGOIN T., DURAND J.L., SAMPOUX J.P., VOLAIRE F. 2016. Quelles innovations variétales face au changement climatique ? Les marges de progrès génétique chez les graminées fourragères. Fourrages 225 29-38.-

HAZARD L., BORG J., CHARRON M.H., DEO M., ENJALBERT J., GAUFFRETEAU A., GOUTIERS V., GRESSIER E. 2016. L'innovation à l'épreuve d'un climat et d'un monde changeant rapidement : intérêt de la co-conception dans le domaine des semences. Fourrages 225 39-48

LITRICO I., BARKAOUI K., BARRADAS A., BARRE P., BEQUIER V., BIROUSTE M., BRISTIEL P., CRESPO D.G., DELEGLISE C., DURAND J.L., FERNANDEZ L., GASTAL F., GHEQUIERE M., GODINHO B., HERNANDEZ P., JULIER B., LOUARN G., MEISSER M., MOSIMANN E., PICON-COCHARD C., ROUMET C., VOLAIRE F. 2016. Utiliser les mélanges fourragers pour s'adapter au changement climatique : opportunités et défis Fourrages 225. 11-20

STRAEBLER M, 2016. Ventes de semences fourragères en mélange en France : quelles compositions et quelles tendances observe-t-on ? Fourrages 225 49-54.

VOLAIRE F., AHMED L.Q., BARRE P., BOURGOIN T., DURAND J.L., ESCOBAR-GUTIERREZ A.J., FAKIRI M., GHEQUIERE M., JULIER B., KALLIDA R., LOUARN G., MORVAN-BERTRAND A., PICON-COCHARD C., PRUDHOMME M.P., SHAIMI N., ZAKA S., ZHOURI L., ZWICKE M. 2016. Quelle est la variabilité intra- et interspécifique des caractères d'adaptation des espèces prairiales pérennes aux variables du changement climatique ? Fourrages 225 1-9

MOTS-CLES

Génomique du paysage, ray-grass anglais, ressources génétiques, changement climatique, biogéographie

EVALUATION

QUELLE A ETE LA CONTRIBUTION DU METAPROGRAMME ACCAF ?

- Quelles opportunités vous a apportées le métaprogramme ?

Mise en réseau les collègues travaillant sur l'écophysiologie et l'amélioration des plantes fourragères à l'INRA. Animation scientifique forte sur les fronts de science dans ces domaines.

Cadre intéressant pour impliquer de façon critique et à bénéfices partagés l'écologie fonctionnelle dans les approches agronomiques.

Un rapprochement des partenaires de la filière semence de la recherche INRA.

Un portail sur les grands événements internationaux liés au changement climatique et une visibilité accrue de chaque équipe sur la question du changement climatique.

Une opportunité d'aborder ensemble les questions de sélection participative et de sélection ex situ.

- Avez-vous engagé des actions qui n'auraient pas pu avoir lieu sans le métaprogramme ?
Si oui, lesquelles ?

Les recherches sur les réponses à la température qui étaient attendues depuis très longtemps n'auraient pas pu émerger sans le soutien de ACCAF.

La synergie avec les thématiques développées sur les céréales à paille dans n'auraient sans doute pas nourri nos recherches (dans tous les domaines, de l'écophysiologie à la sociologie de la sélection participative) de façon aussi organisée.

Le montage de Grasslandscape a bénéficié de ce projet.

Les collaborations entre l'écophysiologie de la résistance à la sécheresse et la physiologie du métabolisme des sucres ont sûrement été accélérées par le projet.

- Vos attentes scientifiques par rapport au métaprogramme ont-elles été satisfaites ?
Pourquoi ?

Le projet CLIMAGIE lui-même, a été soutenu et bien valorisé par ACCAF

La notion de biodiversité semée et son impact sur le fonctionnement de la prairie est ressortie très bien documentée, objectivée, dans un contexte très finalisé.

Regret toutefois que la dynamique collective qui émerge de l'ensemble du métaprogramme (entre les projets) n'apparaisse qu'à la fin. (ayant permis toutefois les deux rapprochement susdits)

- Selon vous, le métaprogramme atteint-il ses objectifs en termes de multidisciplinarité ?

Oui la confrontation de l'approche en sélection participative et ex situ qui a donné lieu à un atelier spécifique en mai 2014 est un bon exemple. Les aspects sociologiques sont très importants

- Et en termes d'effet levier ?

Adaptation des prairies semées au Changement Climatique : Amélioration Génétique et Intensification Ecologique

Il est probable que la contribution des fourragères au projet de SOERE TEMPO ne se serait pas faite aussi efficacement.

Le rapprochement de la communauté scientifique « forestière » autour de l'écophysiologie des populations a certainement été facilité par ACCAF.

Plusieurs contrats CASDAR et le projet Grasslandscape ont bénéficié de l'environnement de CLIMAGIE et d'ACCAF.

- Voyez-vous des limites à l'action du métaprogramme ?

Trop sélectif et pas assez d'animation scientifique : il faudrait trouver un moyen de mobiliser plus d'équipes INRA encore autour de thèmes stratégiques discutés au sein de l'INRA (notamment en modélisation des cultures).

- Avez-vous des propositions concrètes pour améliorer l'animation du métaprogramme ?

Renoncer aux appels d'offre.

- Seriez-vous prêt à porter une animation dans le cadre du métaprogramme ?

Oui, s'il s'agit d'animation scientifique (ex : écophysiologie des populations)

Annexes : textes des publications

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES PARUES



When the future of biodiversity depends on researchers' and stakeholders' thought-styles



Nathalie Couix*, Laurent Hazard[†]

INRA, UMR 1248 AGIR, CS 52627, 31326 Castanet-Tolosan Cedex, France

ARTICLE INFO

Article history:
Available online 27 September 2013

Keywords:
Collective learning
Ecological restoration
Partnership
R&D project management
Thought-style
Transdisciplinarity

ABSTRACT

The future of biodiversity depends on actions taken today by a variety of actors working together to overcome the complexity that creates its conservation. Designing and implementing these actions put to the test the ability of such a group of actors from different scientific disciplines and professions to share and build the knowledge that is needed to do so. The success of conservation projects depends to a large extent on the integration of different kinds of knowledge and their underlying epistemologies. This integration characterizes transdisciplinarity. An increasing amount of studies focuses on the difficulties to develop transdisciplinary approaches due to the sub-division and specialization of research disciplines. Little work deals with the difficulties faced by the researchers that are engaged in a mode of knowledge production associating different scientific disciplines and professions. Among these difficulties, the link between the content of science and the values and beliefs underlying researchers' and stakeholders' perspectives remains unexplored although it is a critical point in the success of collaboration. A transdisciplinary project on local seed use in an ecological restoration in the Pyrénées is taken as an example to show how not taking into account such link could lead to the failure of a project. Analyzing this failure revealed that the success of a problem-based project is highly dependent on the compatibility of each partner's thought-style, i.e., epistemological background, values and conception of the world. Since the success of a transdisciplinary project depends on the ability of the partners to collaborate, not only technical and methodological issues should be debated as it is always the case, but also the paradigms underlying the collective action. Overcoming thought-style divergences require the partners to enter into a collective learning process. This learning process deserves a specific task dedicated to a reflexive analysis involving all the project's partners.

© 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The future of biodiversity is embedded in conservation actions that are being taken at this time. While thinking about the future is seen as a catalyst for change [1], no-change is often an implicit objective for the future of biodiversity. However, maintaining a stable level of biodiversity in a changing, complex and unpredictable world is a challenge that calls for cross-disciplinary approaches [2–5]. In addition to scientists, it requires all of the actors involved in conservation efforts to work together toward a solution. Consequently, biological conservation relies on knowledge built into partnerships among

* Corresponding author. Tel.: +33 5 61 28 52 64; fax: +33 5 61 73 55 37.
E-mail addresses: Nathalie.Couix@toulouse.inra.fr (N. Couix), Laurent.Hazard@toulouse.inra.fr (L. Hazard).

[†] Tel.: +33 5 61 28 54 68; fax: +33 5 61 73 55 37.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES SOUS PRESSE