



**HAL**  
open science

# Rôle tampon de la diversité dans la résistance à la sécheresse au sein de l'écosystème prairial

Marie-Elsa Lefranc

► **To cite this version:**

Marie-Elsa Lefranc. Rôle tampon de la diversité dans la résistance à la sécheresse au sein de l'écosystème prairial. Biodiversité et Ecologie. 2014. hal-02801579

**HAL Id: hal-02801579**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02801579>**

Submitted on 5 Jun 2020

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

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

# **Rapport de stage du Master 1 Biologie et Environnement**

## **Mention Génomique, Ecophysiologie et Production Végétale**

**Marie-Elsa LEFRANC**

Rôle tampon de la diversité dans la résistance à la sécheresse au sein  
de l'écosystème prairial



Membres du jury :

Boudet Julie

Drevet Patricia

Gousset Aurélie

Présenté le 3 septembre 2014



**Laboratoire d'accueil :**

**Institut National de la Recherche Agronomique**

**Adresse :**

**Site de Theix**

**63122 Saint Genes de Champanelle**

**Responsable de l'encadrement du stage :**

**Pauline Hernandez**

## **Remerciements**

Je tiens tout d'abord sincèrement à remercier ma maîtresse de stage, Pauline Hernandez, en deuxième année de thèse, pour son accueil, sa disponibilité ainsi que tous les conseils qu'elle a pu me fournir tout au long de ce stage. .

Je remercie également l'intégralité des membres de l'UREP de l'INRA de Clermont-Ferrand pour m'avoir accueillie au sein de leur unité.

## **Résumé :**

Les prairies permanentes sont des écosystèmes très répandus et possèdent une grande importance financière. Leur gestion durable est donc un enjeu majeur dans le contexte actuel de changement climatique. Les études sur leurs résistances aux sécheresses extrêmes revêtent donc une importance capitale. Ainsi, cette étude, qui s'inscrit dans le cadre du projet européen SIGNAL, va observer le fonctionnement des écosystèmes prairiaux quand ils sont soumis à une sécheresse tout en regardant l'impact de la diversité inter et intra-spécifique. L'expérimentation repose sur 216 bacs permettant d'étudier le rôle de la richesse spécifique et fonctionnelle à travers trois groupes fonctionnels : les Légumineuses, les Forbs et les Graminées. Le rôle de la diversité intra-spécifique est, quant à lui, observé à travers les interactions entre différentes provenances de *Dactylis glomerata*. Le dispositif va provoquer une sécheresse sur la moitié des bacs grâce à des écrans de protection. Il sera, entre autres, régulièrement mesuré la conductance, la teneur en eau relative et la température du couvert. Au début de la mise en place de la sécheresse, la quantité de biomasse, par espèce et par bac, sera également mesurée. Des premiers résultats observés, la diversité inter et intra-spécifique a un effet bénéfique sur la production de biomasse des plantes. De plus, certaines associations de familles de plantes telle que graminés/légumineuses ont un impact positif sur le rendement total.

**Mots clefs :** Prairie- sécheresse- diversité- écosystème- graminées- légumineuses- forbs- association- résistance- facilitation.

## **Abstract :**

The permanent grasslands are very widespread ecosystems, and are very important financially. So, their enduring management is a major issue in the present context of climate change. The studies about their resistance to extreme drought are therefore of primary importance. The aim of the SIGNAL European project, is firstly to observe the functioning of grassland ecosystems, when they are submitted to drought, secondly to notice the impact inter- and intra-specific diversity. We established a mesocosm experiment with 216 pots containing combinations of grassland species (1, 3 or 6 species) in order to study the impact of species richness and functional diversity, through three functional groups: Legume, Forbs and Grass. As for the intra-specific diversity, we observed by the interactions between different origins of *Dactylis glomerata* using mixtures of 1, 3 or 6 provenances. An extreme summer drought was applied to half the pots using rainout shelters. Conductance, relative water content and the temperature of the cover will be continuous measured. At the beginning of the drought, the amount of biomass by species will be also measured. First observed, the inter and intra-specific diversity has a positive effect on the biomass production. Moreover, some combinations of plant families, such as Forbs and Legume, have a positive impact on the total yield.

**Key words :** Grassland- drought- diversity- ecosystem- grasses- legume- forbs- association- resistance- facilitation.

## **Abréviations**

**ANOVA** : Analyse Of Variance

**CNRS** : Centre National de la Recherche Scientifique

**EFPA** : département de l'Ecologie des Forêts, des Prairies et des milieux Aquatiques

**INRA** : Institut National de la Recherche Agronomique

**LDMC** : Leaf Dry-Matter Content

**NDVI** : Normalized Difference Vegetation Index

**PAR** : Photosynthetically Active Radiation

**PF** : Poids Frais

**PS** : Poids à Saturation

**Psat** : Poids à saturation

**SLA** : Specific Leaf Area

**Sp** : espèce

**TRE** : Teneur en Eau Relative

**UEMA** : l'Unité Expérimentale des Monts d'Auvergne

**UREP** : Unité de Recherche sur l'Ecosystème Prairial

## Sommaire

<b>I. INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
A. PRESENTATION DE LA STRUCTURE .....	1
i. <i>Historique.....</i>	<i>1</i>
i. <i>Organisation .....</i>	<i>1</i>
ii. <i>L'Unité de Recherche sur l'Ecosystème Prairial .....</i>	<i>1</i>
B. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE .....	2
i. <i>L'écosystème prairial.....</i>	<i>2</i>
ii. <i>La sécheresse .....</i>	<i>2</i>
iii. <i>Les réponses des végétaux à la sécheresse .....</i>	<i>3</i>
iv. <i>Complémentarité racinaire avant et après sécheresse .....</i>	<i>5</i>
C. CONTEXTE DU STAGE.....	5
<b>II. MATERIEL ET METHODE.....</b>	<b>6</b>
A. MATERIEL BIOLOGIQUE .....	6
B. ÉTUDE DE LA RICHESSE INTERSPECIFIQUE ET INTRASPECIFIQUE.....	7
C. MESURES AVANT SECHERESSE.....	8
i. <i>Mesures de traits.....</i>	<i>8</i>
ii. <i>Mesure de l'humidité du sol.....</i>	<i>8</i>
iii. <i>Mesures atmosphériques.....</i>	<i>9</i>
D. MESURES EFFECTUEES PENDANT LE STRESS.....	9
i. <i>Mesure de la conductance stomatique .....</i>	<i>9</i>
ii. <i>Teneur en eau relative.....</i>	<i>9</i>
iii. <i>Mesure du pourcentage de sénescence foliaire .....</i>	<i>10</i>
iv. <i>Mesure de la température du couvert .....</i>	<i>10</i>
E. ANALYSES STATISTIQUES .....	10
<b>III. RESULTATS ET DISCUSSIONS .....</b>	<b>11</b>
A. RESULTATS AVANT SECHERESSE.....	11
i. <i>Relevés de biomasse.....</i>	<i>11</i>
ii. <i>Mesures des traits .....</i>	<i>11</i>
B. MESURES APRES SECHERESSE .....	13
i. <i>Analyse de la teneur en eau relative .....</i>	<i>13</i>
ii. <i>Mesures de conductance et de transpiration .....</i>	<i>13</i>
<b>IV. CONCLUSION .....</b>	<b>15</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>16</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>18</b>

## **I. Introduction**

### **a. Présentation de la structure**

#### **i. Historique**

L'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) est un organisme de recherche français créé en 1946 et placé sous la tutelle du Ministère de la Recherche et du Ministère de l'Agriculture. Cet organisme public, dirigé par François Houllier, mène des recherches dans les domaines de l'agriculture, de l'environnement et de l'alimentation. Son but premier était d'améliorer les techniques de productions ainsi que la génétique animale et végétale, dans l'optique de pouvoir palier à la pénurie alimentaire qui a fait suite à la seconde guerre mondiale. Une fois l'autosuffisance atteinte dans les années 1970-1980, les recherches vont alors s'étendre à la transformation des matières premières agricoles, à l'environnement et aux biotechnologies.

#### **i. Organisation**

Dans le cadre de la recherche internationale, l'INRA est, en termes de nombre de publications, le premier institut de recherche en Europe, le second dans le monde dans le domaine de l'agriculture, et se situe à la quatrième place mondiale dans la science des plantes et de l'animal.

Actuellement, l'INRA compte près de 8500 agents titulaires dont près de 1837 chercheurs titulaires et plus de 3000 contractuels répartis dans 18 centres de recherches régionaux. Cette organisation comporte près de 200 unités de recherches et une cinquantaine de plateformes expérimentales, ce qui en fait l'un des réseaux les plus importants d'Europe.

#### **ii. L'Unité de Recherche sur l'Ecosystème Prairial**

L'Unité de Recherche sur l'Ecosystème Prairial (UREP) est rattachée au Centre de Clermont-Ferrand-Theix-Lyon qui est le second centre le plus important avec près de 9% de l'effectif total de l'INRA qui y est regroupé. Cette unité de recherche, dont le directeur est Pascal Carrère, est apparentée au département Ecologie des Forêts, des Prairies et des milieux Aquatiques (EFPA).

Basée sur le site de Crouël, bien que plusieurs dispositifs soient localisés sur le site de Theix ou à l'Unité Expérimentale des Monts d'Auvergne (UEMA), l'unité comporte 21 agents permanents (parmi lesquels 10 chercheurs et ingénieurs) et une quinzaine d'agents non titulaires. Ses axes de recherche portent principalement sur le cycle carbone-azote et l'effet de serre et sur la biodiversité, le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes prairiaux. Le but étant de comprendre le fonctionnement des prairies et leur diversité afin de proposer des modes de gestions adaptés et pérennes tout en prenant en compte le



contexte actuellement changeant. Pour ce faire, l'UREP étudie, entre autres, la composition et le fonctionnement des prairies, de même que leurs évolutions tout en s'appuyant sur la diversité fonctionnelle, la structure des communautés ainsi que les interactions avec les microorganismes du sol et les herbivores.

## **b. Synthèse bibliographique**

### **i. L'écosystème prairial**

L'écosystème prairial est l'un des biomes le plus représenté. Il se compose en grande majorité de plantes herbacées (www.cnrs.fr) dont notamment des graminées et des légumineuses. Il existe plusieurs types de prairies, tel que la toundra, les steppes tempérées, les grandes prairies, les prairies alpines ou encore les savanes tropicales. Cependant, malgré leurs grandes diversités, tous ces écosystèmes ont comme point commun d'abriter une importante biodiversité végétale mais également animale.

Les prairies revêtent une grande importance pour l'Homme, principalement du point de vue de l'agriculture où elles jouent un rôle prépondérant dans l'alimentation des herbivores domestiques (Stroila, 2007). Elles permettent également de limiter le lessivage du sol ainsi que de lutter de manière préventive contre l'érosion (Fatyga, 2004). De plus, de par la diversité des espèces qui les constituent, les prairies forment un patrimoine génétique des espèces locales tout en définissant les caractéristiques du paysage grâce à leurs distributions spatiales ou leurs associations (Di Pietro et *al.*, 1997).

### **ii. La sécheresse**

La sécheresse consiste en un manque d'eau du sol, et est due à une diminution des précipitations, sur une période plus ou moins importante, de telle façon que le stress hydrique qui en découle a un impact sur la flore présente : le déficit hydrique du sol entraînant une carence en eau au niveau des zones de développement racinaires. En effet, l'eau est un élément indispensable à la survie d'un végétal de par son rôle structural dans le maintien d'un port érigé (phénomène de turgescence), le transport d'éléments ou encore le maintien de la température. La transpiration est la principale source de perte d'eau pour une plante, en effet, près de 95% de l'eau ne fait que transiter temporairement avant d'être éliminée par la transpiration (Lecoeur, 2007).

Les sécheresses ont un fort impact sur les prairies, elles sont les principaux facteurs provoquant une diminution du rendement fourrager, entraînant par là même une perte financière (Gilgen et *al.*, 2009) (figure1) . Or, près de 40% des terres actuellement cultivées dans le monde subissent les effets de la sécheresse (Lecoeur, 2007). Ces dernières années, il a été constaté une augmentation de la fréquence et de la magnitude des événements climatiques extrêmes, de type sécheresse, due au changement climatique

(Smith, 2011) (figure 2). Ces phénomènes se différencient par leurs intensités et leurs durées : ce sont des évènements qui sont statistiquement rares et qui génèrent une réponse écologique du milieu. Un évènement climatique extrême se différencie donc d'un extrême climatique par le fait qu'il engendre, en plus des perturbations climatiques, une réponse écologique extrême telle que de la mortalité (Smith, 2011).

De plus, des études ont prouvé que les conséquences d'une sécheresse peuvent être observées plusieurs années après l'évènement (Knapp *et al.*, 2001). Les conséquences de ces évènements peuvent aller d'une diminution de la densité des espèces présentes à une augmentation du risque de disparition pour les espèces rares ou ayant des attributs vitaux moins performants en cas de déficit hydrique (Tilman *et al.*, 1991), ce qui causerait une diminution de la richesse spécifique.

Cependant, l'importance des réponses à la sécheresse dépend de plusieurs facteurs telles que : la durée et l'intensité du stress (on parle alors de la résistance qui correspond à la capacité à résister à la sécheresse en maintenant une croissance), la nature de la population ou encore la résilience, c'est-à-dire la capacité et la vitesse à laquelle l'écosystème va retourner à son état initial (Meisser *et al.*, 2013).

### **iii. Les réponses des végétaux à la sécheresse**

En réponse à la sécheresse, les plantes vont présenter des réponses morphologiques ou physiologiques telle que la fermeture des stomates. Ces moyens de lutte contre le déficit hydrique auront pour conséquence un ralentissement de la croissance ainsi qu'une accumulation de la matière sèche (Meisser *et al.*, 2013). Les végétaux pourront également avoir recours à des stratégies de tolérance ou d'évitement de la sécheresse à l'échelle de l'espèce. En revanche, à l'échelle de la communauté, il est possible d'observer des phénomènes de co-extinction (ce qui correspond au remplacement d'une population par une autre), étant précisé que le processus de recolonisation est nettement plus lent que celui de disparition d'une espèce. La sécheresse, quand elle perdure pendant un temps plus ou moins long (ce qui provoque alors un stress continu), aura donc une action sur la composition de la communauté, et c'est la capacité de résilience des espèces présentes qui déterminera en grande partie l'impact de ce stress sur la biodiversité (Alard *et al.*, 2007).

Cependant, les effets de la sécheresse varient selon les espèces végétales. Ainsi, il semblerait que les espèces pérennes soient particulièrement sensibles au changement climatique, alors que les effets semblent être nettement moins importants pour les Forbs et les Légumineuses (Gilgen *et al.*, 2009). La diversité au sein de l'écosystème prairial, que se soit la diversité spécifique ou la diversité fonctionnelle, jouerait donc un rôle fondamental dans la résistance à la sécheresse (Vogel *et al.*, 2012). Cela est dû, entre autres, aux interactions souterraines qui se produisent entre les plantes. En effet, les interactions

entre plantes peuvent être positives (protection contre les prédateurs,...) ou négatives (compétition pour la lumière, l'eau, les nutriments...) et ces interactions peuvent être modulées par la sévérité de l'environnement. Hors période de stress, des interactions sont déjà présentes et permettent d'augmenter les performances de la communauté grâce à des processus de facilitations (Loreau et *al.*, 2001). Des études tendent à montrer que l'augmentation du degré de stress permet d'accentuer les interactions positives qui ont lieu (Brooker et *al.*, 2008).

C'est le cas, par exemple, avec les espèces nurses qui, dans des milieux difficiles ou soumis à un stress, faciliteront l'implantation et/ou la survie d'autres espèces en améliorant les conditions locales, c'est-à-dire en atténuant localement le stress. Ce type d'interaction s'observe plus fréquemment dans les environnements soumis à un stress. En effet, en condition favorable, les espèces mises en jeu tendent à être en concurrence (Michalet, 2006).

La facilitation, qui correspond à un processus où une espèce permet d'améliorer la survie ou l'installation d'une autre espèce sans qu'il y ait d'impact négatif pour aucun des deux partis, dépend cependant de l'espèce facilitatrice et de l'espèce facilitée considérées. Elle est différente de la complémentarité, cette dernière consistant en un décalage des cycles de développement ou de la répartition spatiale afin de permettre un développement optimisé de chaque espèce, soit une meilleure efficacité d'utilisation des ressources à l'échelle de la communauté (Louarn et *al.*, 2010).

La facilitation peut être indirecte, notamment entre les espèces occupantes des niveaux trophiques différents. De même, la facilitation indirecte est plus courante quand plusieurs facteurs limitants, qui sont présents à des intensités similaires, s'exercent dans une communauté. Ainsi, par exemple, on peut observer un cas de facilitation indirecte quand une espèce A provoque, par le biais de la compétition, la disparition d'une espèce B. L'absence de l'espèce B permettra à l'espèce C, qui était auparavant en compétition avec l'espèce B, de mieux se développer du fait d'une plus faible compétition (figure 3). Cet exemple illustre le phénomène de facilitation indirecte : ici, l'espèce A a indirectement facilité le développement de l'espèce C (Brooker et *al.*, 2008). Il faut cependant noter que les phénomènes de compétition-facilitation ne sont pas fixes : ils forment un état dynamique qui va évoluer au cours du temps (figure 4).

L'impact de la sécheresse n'intervient pas de façon synchrone selon les différentes espèces. Ainsi, l'impact négatif du stress hydrique sur certaines espèces sera compensé par les espèces encore non atteintes, que ce soit à l'échelle intra ou inter-spécifique. Le maintien d'une production constante est donc possible tant que la biodiversité est maintenue au sein de l'écosystème (Vogel et *al.*, 2012). Cependant, certaines études (Zwicke et *al.*, 2013) tendent à nuancer ces propos en mettant en avant une baisse de la productivité malgré une forte biodiversité.

#### **iv. Complémentarité racinaire avant et après sécheresse**

Lorsque plusieurs espèces sont présentes dans un même milieu, il peut se produire entre elles des interactions. Ces dernières peuvent correspondre à un phénomène de compétition ou à un phénomène de complémentarité racinaire. Des études ont notamment montré que cette complémentarité permettait aux espèces de produire plus de biomasse que des monocultures. Cette complémentarité interviendrait au niveau de la distribution verticale des racines des espèces mises en cause, ce qui permet une exploitation plus complète des ressources disponibles dans le sol (Mommer et *al.*, 2010).

Après un épisode de sécheresse, il a également été constaté une augmentation de la biomasse racinaire due à une réallocation du carbone des feuilles jusqu'aux racines (Chaves et al, 2002). Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que les plantes allouent préférentiellement les ressources aux organes qui sont chargés d'acquérir les ressources les plus limitées, ici l'eau (Cahill, 2004). Les plantes vont alors développer leurs réseaux racinaires de façon à pouvoir puiser l'eau en profondeur ou bien développer davantage de racelles afin d'augmenter la densité du réseau racinaire (Mommer et *al.*, 2010).

#### **c. Contexte du stage**

Ce stage obligatoire huit semaines minimum en laboratoire de recherche s'inscrit dans le cadre du Master 1 de Génomique, Ecophysiologie et Production Végétale de l'Université Blaise Pascal. Il s'inscrit dans le cadre de la thèse de Pauline Hernandez sur « les effets des sécheresses extrêmes sur l'écosystème prairial : évaluation du rôle tampon de la diversité végétale par approche expérimentale et de la complémentarité fonctionnelle entre espèces ». Le but de l'expérimentation est d'évaluer le rôle tampon de la diversité dans la résistance à la sécheresse au sein de l'écosystème prairial. Pour ce faire, deux études seront réalisées : l'une s'intéressera au rôle de la diversité inter-spécifique et la seconde à la diversité intra-spécifique dans la résistance et la résilience à la sécheresse. Ce stage s'intéressera principalement à la phase de résistance à la sécheresse et plus particulièrement à son influence sur les parties aériennes des plantes pendant le premier mois après l'application de la sécheresse.

L'objectif est donc i) d'évaluer le rôle de la diversité inter-spécifique en conditions non limitante et ce, selon les mélanges utilisés afin de voir si il y a une corrélation diversité-production ; ii) vérifier si, lors de l'application de la sécheresse, les effets positifs de la diversité sont maintenus ou non ; iii) si l'intérêt de la diversité peut apparaître suite à la sécheresse.

## II. Matériel et méthode

Les différentes mesures (figure 5) seront effectuées tout au long de l'expérimentation, que ce soit avant ou après sécheresse.

### a. Matériel biologique

L'expérimentation s'est déroulée sur le site de Theix qui est rattaché au centre Clermont-Ferrand-Theix-Lyon. Le site de Theix (45°43'43''N, 03°1'21''E) se situe à une altitude de 880 mètres et présente un climat semi-montagnard. La température annuelle moyenne y est de 8.7°C et les précipitations annuelles moyennes sont de 800mm.

L'expérimentation a lieu à l'échelle européenne entre les pays participant au projet SIGNAL (<http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/signal/>) : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, la Bulgarie, l'Espagne, la France, la Hongrie, l'Italie, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse, la Turquie et l'Ukraine. Parmi ces pays, seule quatre font cette expérimentation en mésocosme : l'Allemagne, la Belgique, la Bulgarie et la France.

Cette expérimentation en mésocosme comporte 216 bacs en PVC de 30cm de diamètre pour 50cm de profondeur, contenant des mélanges d'espèces prairiales, qui ont été répartis en six blocs (trois blocs témoins et trois qui sont soumis au traitement « sécheresse »), chaque bloc contenant 36 bacs (annexe 1). Les bacs ont été enterrés puis remplis avec le sol du site préalablement tamisé (sol de type brunisol développé en substrat granitique) à l'exception d'un bac de chaque bloc qui contient un substrat standard commercialisé en Allemagne.

Douze espèces ont été utilisées lors de l'expérimentation : *Festuca arundinaceae*, *Trisetum flavescens*, *Poa pratensis*, *Dactylis glomerata*, *Cerastium fontanum*, *Plantago lanceolata*, *Knautia arvensis*, *Taraxacum officinale*, *Lotus coniculatus*, *Vicia hirsuta*, *Trifolium repens* et *Trifolium pratense*. Ces espèces, dont les graines ont été récoltées sur le site de Laqueuille (45°39'03''N, 02°43'59''E) au printemps-été 2013, ont été choisies car elles appartiennent à trois groupes fonctionnels différents (légumineuses, graminées et forbs) ce qui permet d'observer le rôle de la richesse spécifiques dans la résistance à la sécheresse dans le but d'étudier le rôle de la diversité fonctionnelle.

Au mois d'avril 2014, les plantes, qui avaient été semées cet automne et cultivées sous serres, ont été repiquées dans les bacs à l'aide d'un patron. Chaque bac contient 18 individus répartis de la façon suivante : une plante au centre, six autres autour et onze en périphérie du bac (annexe 2). De début avril et jusqu'au début de la sécheresse (le 15 juillet), tous les bacs sont irrigués afin de maintenir des conditions hydriques optimales.

Afin de simuler une sécheresse extrême en terme d'intensité et de durée, des écrans de pluie ont été installés les 14 et 15 juillet sur les blocs 2, 4 et 6 (annexe 1) afin d'intercepter toutes les précipitations.

Les blocs témoins 1, 3 et 5 quant à eux sont irrigués, si nécessaire, afin de maintenir des conditions hydriques non limitantes. La sécheresse sera maintenue jusqu'à ce que la moitié des bacs mono-spécifiques soient entièrement sénescents.

## **b. Etude de la richesse interspécifique et intraspécifique**

Les bacs ont été répartis en quatre subsets qui permettront d'étudier les interactions inter ou intraspécifiques : la diversité est étudiée par le biais de mélanges à une, trois ou six espèces/provenances étant précisé que l'abondance relative initiale est la même pour chaque espèce/provenance et qu'il y a une répartition équilibrée des bacs de chaque subset entre les blocs.

Le subset 0 représente les bacs phytometers. Ils contiennent des plants de *Lotus corniculatus*, de *Plantago lanceolata* et de *Dactylis glomerata* dont les graines sont en provenance d'Allemagne. Deux bacs phytometers sont présents dans chaque bloc : l'un contenant du sol local et l'autre contenant du substrat standard. Ceci est le cas pour chaque pays : on y retrouve le même substrat standard, les mêmes graines ; il n'y a que le sol local qui diffère, ce qui permet de séparer l'effet climat et l'effet sol.

Le subset 1 permet d'évaluer le rôle de la richesse spécifique et fonctionnelle dans la résistance et la récupération à une sécheresse. Pour ce faire, trois groupes fonctionnels sont combinés : des légumineuses (*Lotus coniculatus*, *Vicia hirsuta*, *Trifolium repens*, *Trifolium pratense*), des graminées (*Festuca arundinaceae*, *Trisetum flavescens*, *Poa pratensis*, *Dactylis glomerata*) et des forbs (*Cerastium fontanum*, *Plantago lanceolata*, *Knautia arvensis*, *Taraxacum officinale*). Les bacs qui le composent sont constitués d'une, trois ou six espèces différentes parmi les douze utilisées dans cette expérimentation. Le subset comporte 72 bacs dont 24 bacs pour chaque niveau de diversité (annexe 3).

Le subset 3, quant à lui, permet d'observer le rôle de la diversité intra-spécifique. Il regroupe lui aussi 72 bacs au total qui accueillent une, trois ou six provenances de *Dactylis glomerata* (annexe 4). Ces graines de provenance ont été fournies par les différents pays qui participent au projet SIGNAL.

Le subset supplémentaire, qui est spécifique au site français, permet d'étudier plus particulièrement la complémentarité graminée-légumineuses à travers l'interaction entre les espèces suivantes : *Dactylis glomerata*, *Festuca arundinaceae*, *Trisetum flavescens*, *Poa pratensis* pour les graminées et *Trifolium repens* et *Trifolium pratense* pour les légumineuses.

Enfin, 42 tubes (10 cm de diamètres pour 1m50 de profondeur) contenant chacun un plant de dactyle d'une provenance différente (soit trois répétitions pour chaque provenance) sont également enterrés. Ces plantes servent à étudier les différences morphologiques et fonctionnelles des provenances de dactyles

afin de compléter l'analyse génétique qui sera réalisée ultérieurement et qui permettra de s'assurer que l'on dispose bien d'écotypes de dactyles différents.

### **c. Mesures avant sécheresse**

#### **i. Mesures de traits**

Le 19 juin, un prélèvement de feuilles est réalisé sur tous les bacs. Des mesures de poids frais, poids sec et surface foliaire avec un planimètre (appareil de la marque LI-COR, références LI-3100C AREA METER) sont ensuite réalisées sur ces prélèvements. A partir de ces données, la surface spécifique foliaire ( $SLA = \text{surface} / \text{PS}$ ) et le taux de matière sèche par unité de matière fraîche ( $LDMC = \text{PF}^* / \text{PS}$ ) sont calculées afin de caractériser les espèces en termes de stratégie fonctionnelle.

Le 25 et le 26 juin, juste avant le début de la mise en place de la sécheresse qui a eu lieu la semaine du 14 juillet, une coupe de biomasse a été réalisée sur tous les bacs à une hauteur de 3 cm. Pour chaque bac, les espèces sont séparées de même que les épis, feuilles et parties sèches. Là encore, les poids secs sont mesurés pour toutes les espèces dans l'optique de voir la production par espèce et par type de bacs.

#### **ii. Mesure de l'humidité du sol**

Afin d'évaluer l'avancée de la sécheresse, la teneur en eau du sol est mesurée deux fois par semaine avant et pendant la sécheresse. Les données d'humidité sont prises par l'appareil Profile Probe PR2 de la marque DELTA-T DEVICES : la sonde, une fois placée dans un tube en plastique enfoncé dans le sol lors de la mise en place des bacs, mesurera l'humidité du sol à 10-20 ; 20-30 et 30-40 cm de profondeur. Les bacs pourvus de ce dispositif sont ceux du subset 3 et certains bacs du subset 1.

Certains bacs des subsets 1 et supplémentaires (annexe 5) sont équipés de sondes automatiques qui mesurent l'humidité du sol à 20cm en continue (Soil moisture sensor ECHO5) ou bien qui mesurent l'humidité et la température du sol (Soil moisture+temp sensor ECHOTM) pour une partie des bacs du subset supplémentaire.

### **iii. Mesures atmosphériques**

Des mesures du rayonnement photosynthétique actif (PAR) sont également prises sur les blocs témoins ainsi que sur les bocs en situation de stress avant (depuis début juin) et pendant la sécheresse. Ces données sont mesurées toutes les dix minutes. Des mesures de la température de l'air ainsi que de l'humidité de l'air sont également prises pour les blocs témoins et pour les blocs sous abris. Ces mesures sont prises toutes les dix minutes depuis le 3 juin 2014.

#### **d. Mesures effectuées pendant le stress**

##### **i. Mesure de la conductance stomatique**

L'évaluation de la conductance stomatique ( $s.cm^{-1}$ ) et de la transpiration ( $\mu g.cm^{-2}.s^{-1}$ ) se fait grâce à un poromètre (de la marque LI-COR, Inc; référence: LI-1600 STEADY STATE POROMETER). La conductance est mesurée uniquement sur les bacs du subset 3 pendant la sécheresse. Les plantes utilisées pour les mesures sont toujours les mêmes et sont, à cet effet, marquées avec une bague de couleur permettant de les identifier.

Les mesures doivent s'effectuer idéalement entre 10 et 16 heures et par temps sec et non nuageux et sur des feuilles matures.

##### **ii. Teneur en eau relative**

La teneur en eau relative (TRE) permet d'évaluer le statut hydrique de la plante, et dans le cas présent son déficit hydrique. Pour ce faire, on prélève, dans les bacs appartenant au subset supplémentaire, deux feuilles par espèce et par bac. Pour les bacs du subset 3, il est prélevé une feuille par provenance et par bac pour les bacs comportant trois et six provenances, et trois feuilles par provenance pour les bacs mono-spécifiques.

Les feuilles prélevées sont immédiatement pesées afin d'obtenir leurs poids frais. Elles sont ensuite en partie immergées puis placées en chambre froide pendant 6 à 24 heures afin d'obtenir le poids à saturation (qui représente le poids à turgescence).

Par la suite, les feuilles seront mises à l'étuve pendant au moins 48 heures et à 60°C afin de pouvoir mesurer leurs poids sec.

La teneur en eau relative  $((PF-PS)/(Psat-PS))$  est mesurée de manière hebdomadaire, à compter du début de la sécheresse.



### **iii. Mesure du pourcentage de sénescence foliaire**

La mesure du pourcentage de sénescence s'effectue selon deux méthodes : avec une estimation visuelle ou bien avec un appareil.

Le Green Seeker handheld crop sensor (de la marque Trimble), va permettre de donner le niveau de sénescence du couvert (Normalized Difference Vegetation Index soit le NDVI). Le NDVI se base sur la différence entre les bandes visibles du rouge et celles de l'infrarouge. Cet indice varie donc selon la qualité et la vigueur de la végétation : ses valeurs sont comprises entre -1 et 1 ; les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que le couvert végétal et le sol nu ayant une valeur voisine de 0. Le couvert végétal, quant à lui, aura généralement un indice compris entre 0.3 et 0.7, les couverts les plus épais ayant les valeurs les plus fortes. Ces mesures sont prises une fois par semaine. L'appareil est placé à 60cm du sol afin d'englober tout le bac. Trois mesures sont prises pour chaque bac et on relève la valeur moyenne.

L'estimation visuelle a lieu une fois par semaine et est réalisée à l'échelle individuelle dans un premier temps, puis à l'échelle du couvert. Trois jeunes feuilles complètement développées sont sélectionnées pour un individu pris aléatoirement pour chaque espèce/provenance et sur l'ensemble des bacs ; on attribue pour chaque feuille une note entre 0 et 100%, 0 correspondant à une feuille complètement verte et 100 à une feuille complètement jaune. La valeur moyenne par individu constitue le score de la plante. Cette sénescence individuelle est suivie d'une estimation visuelle à l'échelle de la communauté pour l'ensemble des bacs ; de manière similaire une note de 0 à 100 sera attribuée.

### **iv. Mesure de la température du couvert**

La température du couvert est mesurée grâce à l'appareil TherMonitor C-1600. Les mesures, qui s'effectuent deux fois par semaine à compter du début de la sécheresse, sont prise à 95cm du sol afin que l'appareil englobe toute la largeur d'un bac (soit 30cm de diamètre).

### **e. Analyses statistiques**

Enfin, pour l'étude des résultats, les données obtenues sont analysées puis traitées avec le logiciel R (R Development Core Team, « 2014 ») : Tout d'abord, la normalité des mesures est vérifiée. Puis, une analyse de variance est réalisée afin de comparer les moyennes et de tester l'hypothèse.

### **III. Résultats et discussions**

#### **a. Résultats avant sécheresse**

##### **i. Relevés de biomasse**

Afin de suivre la croissance des plantes, des pesées de matières sèches ont été effectuées avant le début de la sécheresse sur tous les subsets. Ces données permettront d'évaluer, hors période de stress, la quantité de matière sèche produite selon le nombre d'espèces ou selon la diversité fonctionnelle. Il sera ainsi possible de voir si la composition des bacs, de même que les familles auxquelles appartiennent les espèces présentes jouent un rôle dans la production de biomasse. Ces données pourront également être comparées aux valeurs de biomasses qui seront obtenues à la fin de la période de sécheresse dans le but de voir si la production observées avant sécheresse se maintient après cette dernière.

La représentation du poids sec selon la diversité (figure 6 A) montre, en l'absence de stress, que les bacs mono-spécifiques produisent moins de biomasse que les bacs contenant des mélanges d'espèces (en moyenne, le poids sec est de 20 grammes pour les bacs mono-spécifique contre 30 à 32 grammes pour les bacs contenant des mélanges d'espèces avec  $p < 0.05$ ). Pour le graphique représentant la quantité de matière sèche selon la diversité fonctionnelle (figure 6 B), il y a une nette différence entre les bacs qui contiennent des légumineuses, que ce soit en mélange ou seul, et les autres : les bacs possédant des légumineuses ont, en effet, un poids sec moyen nettement supérieur (qui varie entre 37 et 48 grammes selon les mélanges) aux autres mélanges ou bacs mono-spécifiques donc la biomasse ne dépasse pas 28 grammes. Seul le mélange forbs/légumineuses contredit ces observations en présentant une biomasse d'environ 24 grammes ( $p < 0.05$ ).

Il semblerait donc que le fait d'associer plusieurs espèces favorise une production de biomasse plus importante. De même, il s'avèrerait qu'une association graminée-légumineuse serait favorable au développement des plantes.

##### **ii. Mesures des traits**

Les légumineuses, les forbs et les graminées présentent toutes trois des traits différents. Par exemple, les graminées possèdent la capacité de piéger le nitrate du sol pour en restituer une partie dans le sol sous forme d'azote à la culture suivante. Elles ont la particularité d'avoir une pousse relativement stable dans le temps bien que leurs démarrage soit plutôt tardif au printemps (Faurie, 1994). Ce sont ces traits qui vont être évalués par le SLA ou le LDMC afin de voir les stratégies des différents groupes.

Les mesures des traits foliaires s'effectuent à partir du poids frais, du poids sec, du poids à saturation et, pour le SLA, de la surface foliaire. Ces deux mesures que sont la surface de feuille réalisée par matière sèche (SLA) et le taux de matières sèches par unité de matière fraîche (LDMC), permettent de traduire la stratégie fonctionnelle et on été effectuées sur tous les subsets.

Les SLA et LDMC obtenus selon la diversité fonctionnelle (figure 7B) tendent à montrer des résultats différents selon les espèces présentes : les données du LDMC montrent que les bacs contenant uniquement des graminées ont un LDMC inférieurs aux bacs mono-spécifiques qui contiennent des forbs ou des légumineuses ( $p < 0.05$ ) ce qui signifie que les légumineuses présentent un trait fonctionnel différent des forbs et des graminées.

Pour les données de SLA, on observe un SLA plus fort dans les bacs ne contenant que des légumineuses ou un mélange forbs/légumineuses. Le SLA étant corrélé positivement à la capacité photosynthétique des feuilles et négativement corrélé à leurs durée de vie, on peut donc dire que les légumineuses, qui ont un fort SLA, présentent un développement foliaire rapide de par leurs forte capacité photosynthétique. En revanche, elles possèdent également un renouvellement rapide de leurs feuilles du fait de leurs faibles durées de vie. Ce sont des espèces dispendieuses qui vont consommer une grande quantité de ressources mais qui en stockeront relativement peu.

Les mesures de SLA et de LDMC obtenus sont globalement concordantes. Elles permettent donc, d'après les résultats obtenus avec les bacs ne contenant qu'un seul groupe fonctionnel, de discriminer les trois grands groupes fonctionnels entre eux. Enfin, les mélanges à deux espèces contenant des légumineuses et des forbs sont les seuls à posséder un LDMC et un SLA significativement supérieur aux autres mélanges utilisés (que ce soit à trois ou à deux groupes fonctionnels).

Le graphique représentant le SLA et le LDMC moyen selon le nombre d'espèces présentes dans chaque bac (figure 7 A) permet de voir que les données de SLA et de LDMC sont légèrement plus importantes pour les bacs contenant des mélanges à trois ou six espèces que pour les bacs qui ne contiennent qu'une seule espèce. Cependant ces résultats ne sont pas significativement différents pour le LDMC ce qui ne permet pas de confirmer la différence dans ce cas là pour les bacs du subset 1.

Les résultats obtenus semblent donc corroborer ceux des données de biomasse comme quoi l'association de plusieurs espèces est globalement favorable au développement des plantes. On peut déduire de ces résultats que, hors période de stress et selon les espèces présentes, les associations entre espèces qui disposent de stratégies semblables semblent avoir une production de biomasse supérieure aux espèces ayant des stratégies opposées. D'après les mesures du SLA et du LDMC, qui sont des traits aériens, on peut en conclure qu'il n'y a pas mise en évidence de complémentarité. C'est donc au compartiment racinaire qu'il faudrait s'intéresser afin d'expliquer l'impact positif de la diversité sur la production de biomasse.

Il est possible de relier la production de biomasse avec des données comme le SLA. En effet, les espèces qui ont le plus fort SLA, et qui donc consomment le plus de ressources, sont également celles qui produisent le plus de biomasse. Certaines espèces, quand elles sont présentes seules (légumineuses), produisent davantage de biomasse. De même, selon les familles de plantes associées, la biomasse produite

variera. On peut donc en déduire que, hors sécheresse, il y a une corrélation entre diversité des groupes fonctionnels et production ; en effet, avec certaines associations tel que graminée/légumineuse, on aura un effet bénéfique en terme de rendement de la biomasse.

## **b. Mesures après sécheresse**

Les mesures après sécheresse ont principalement lieu sur les bacs du subset 3 qui contiennent les différentes provenances de dactyles. Les résultats seront donc axés sur la diversité intra-spécifique.

### **i. Analyse de la teneur en eau relative**

La mesure de la teneur en eau relative permet d'estimer le statut hydrique de la plante.

D'après le graphique représentant la teneur en eau relative en fonction du temps (figure 8), on peut observer que le 22 juillet, soit juste après le début de la sécheresse, les bacs présentent tous une teneur en eau semblable : il n'y a aucune différence significative entre les mélanges à une, trois ou six provenances et ce qu'ils soient des secs ou des témoins. Cela peut s'expliquer par le fait que le manque d'eau n'est pas encore suffisamment marqué pour impacter les végétaux présents dans les bacs. Les mesures du 29 juillet présentent elles aussi des valeurs semblables à celles du 22 juillet. En revanche, pour les données du 7 août il est possible d'observer un décrochage significatif des teneurs en eau relative. En effet, les valeurs de teneur en eau relative ont globalement diminué notamment pour les bacs ne contenant qu'une seule ou trois provenances. Cependant, en comparant les valeurs des bacs témoins et secs, on peut constater que les valeurs sont significativement différentes pour les mélanges à trois provenances et les bacs mono-spécifiques. Il semblerait donc d'après ces résultats, qu'il y ait bien un effet tampon de la diversité qui permettrait aux bacs contenant un grand nombre de provenances différentes de mieux résister à la sécheresse. Cependant, pour une feuille qui transpire encore, et donc qui ne souffre pas d'un manque d'eau trop important, la teneur en eau relative est comprise entre 60 et 98% (Faurie, 1994). Or, dans le cas présent, bien qu'on ait pu constater une baisse de la teneur en eau, cette dernière ne passe pas en dessous des 85%. Les feuilles transpirent donc bien que ce soit chez les témoins comme chez les secs ce qui signifie que le stress hydrique n'en est encore qu'à son commencement. Ainsi, il est probable que ces valeurs continuent à baisser pour les prochaines mesures pour les plantes en situations de stress et ce jusqu'à passer sous la barre des 60%. Ici, on observe donc chez les individus secs, un stress hydrique modéré qui s'intensifiera au fur et à mesure que la sécheresse perdurera.

### **ii. Mesures de conductance et de transpiration**

Les mesures de conductance stomatique et de transpiration sont fortement corrélées entre elles. Ces deux mesures sont reliées à l'ouverture des stomates et donc à la quantité d'eau perdue par la plante.

Le graphique représentant l'évolution de la transpiration dans le temps et selon le traitement (figure 9) permet de voir que les valeurs de transpirations et de conductances suivent globalement les mêmes tendances et elles varient grandement d'un jour à l'autre. Cela est dû aux aléas environnementaux lors des prises des mesures (température et humidité de l'air, rayonnement, vent, humidité du sol) qui ont un fort impact sur l'ouverture des stomates, et par là même sur la transpiration. Cependant, il est possible de remarquer que les valeurs de transpirations/conductances restent sensiblement les mêmes entre les bacs témoins et les bacs secs à l'exception des mesures prises le 31 juillet et le 5 août où on peut observer une diminution de la transpiration des bacs soumis à la sécheresse ( $p < 0.05$ ). Ce ralentissement de la transpiration traduit une diminution des pertes en eau et signifie que les plantes ont atteint le seuil de stress hydrique. Pour les plantes ne présentant pas de diminution significative de la transpiration, cela signifie que les stomates restent ouverts malgré le déficit en eau. La feuille continue donc à transpirer ce qui sous entend que la plante parvient tout de même à puiser, grâce à ses racines, l'eau qu'elle perd par transpiration.

#### **IV. Conclusion**

Le but de cette étude est de montrer qu'en cas de sécheresse au sein d'un écosystème prairial, la biodiversité joue un rôle tampon permettant de ce fait aux plantes qui la composent de mieux résister au stress hydrique.

Pour cela, on étudie l'impact d'une sécheresse sur des bacs contenant un, trois ou six espèces différentes. Les espèces de plantes sélectionnées appartiennent à trois familles différentes (forbs, légumineuses et graminées) afin de voir l'impact de la diversité interspécifique. La diversité intra-spécifique est également évaluée par le biais de bacs contenant eux aussi une, trois ou six provenances de dactyles différentes.

Cette expérimentation a pu confirmer que la diversité interspécifique, avait un effet bénéfique sur la production de biomasse des plantes hors sécheresse. De plus, certaines associations de familles de plantes telle que légumineuses/graminées ont un effet particulièrement bénéfique en termes de rendement. En situation de stress modéré, il a été observé que les bacs les moins impactés étaient ceux qui présentaient une forte diversité intra-spécifique. Les mélanges les plus productifs en situation non stressée, c'est-à-dire ceux à trois ou six espèces, semblent donc également être ceux qui résistent le mieux au stress hydrique. Les relations de facilitation et de complémentarité aérienne entre espèces pourraient expliquer ces résultats. Cependant, d'autres mesures, comme la transpiration ou la teneur en eau relative, tendent à montrer que la sécheresse n'en est qu'à ses débuts. Ainsi, les différences dans les données entre les mesures avant et pendant stress ne sont pas encore très marquées.

On peut également noter que, pour le subset 1, l'effet positif observé hors stress (s'il n'est pas observé pendant stress) peut quand même être maintenu mais observable que pour un stress plus intense/prolongé. De même, pour le subset 3 l'effet positif (s'il n'est pas observé hors stress) apparaît ici pendant un stress même modéré. Les données aériennes (SLA, LDMC) collectées tendent à montrer que les mécanismes impliqués seraient plutôt racinaires du fait de la meilleure production dans les mélanges d'espèces aux stratégies aériennes semblables.

Il serait donc bien de poursuivre l'analyse des mesures pendant toute la durée de la sécheresse ainsi que pendant la phase de résilience. En effet, bien que les différences entre provenances et entre groupes fonctionnels soient pour le moment peu marquées, ces dernières peuvent s'accroître sous l'effet d'un stress plus sévère. De même, il serait intéressant d'observer les différences typologies de racine (grâce à la mise en place d'ingrowth cores après sécheresse afin d'étudier la récupération du système racinaire) selon les espèces et selon les associations afin de voir le rôle que jouent les racines dans la résistance à la sécheresse et si leurs formations peuvent être influencées par les espèces avoisinantes.

Ce stage m'a permis de découvrir le monde de la recherche. En trois mois de stage, j'ai pu découvrir bon nombres d'aspects de la recherche et améliorer mon utilisation d'outils informatiques. J'ai cependant également pu constater combien la collecte de données pouvait dépendre de facteurs environnementaux risquant de compromettre l'exactitude des mesures ce qui rendait plus ardue leurs analyses.

## Bibliographie

**Alard D., Balent G.** (2007). Sécheresse: quels impacts sur la biodiversité en systèmes prairiaux et pastoraux? *Fourrages*, **190** : 197-206.

**Brooker R., Maestre F., Callaway R.** (2008). Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future. *Journal of Ecology*. **96**: 18-34.

**Cahill J.** (2003). Lack of relationship between below-ground competition and allocation to root in 10 grassland species. *Journal of Ecology*. **91**: 532-540.

**Chaves M., Pereira J., Maroco J.** (2002). How Plants Cope with Water Stress in the Field. Photosynthesis and Growth. *Annals of Botany*. **89**: 907-916.

**Di Pietro F., Balent, G.** (1997). Dynamique des pratiques pastorales et des paysages: une approche pluri-échelles appliquées aux Pyrénées Ariégeoises, *Agronomie*, **17**, (3) : 139–156

**Fatyga, J.** (2004). Importance of grassland in the economy of the Sudeten Region. *Grassland Science in Europe*. **9** : 76 – 78.

**Faurie O., Courduroux J-C.** (1994). Interactions carbone-azote dans des associations prairiales graminée (*Lolium prene* L.) Légumineuse (*Trifolium repens* L.). Etude d'associations simulées en conditions contrôlées (thèse).

**Gilgen A., Buchmann N.** (2009). Response of temperate grasslands at different altitudes to simulated summer drought differed but scaled with annual precipitation. *Biogeosciences*. **6**: 2525-2539.

**Knapp A., Briggs J., Koelliker J.** (2001). Frequency and Extent of Water Limitation to Primary Production in a Mesic Temperate Grassland. *Ecosystems*. **4**: 19-28.

**Lecoeur J.** (2007). Influence d'un déficit hydrique sur le fonctionnement d'un couvert végétal cultivé. *Montpellier SupAgro*.

**Loreau M., Hector J.** (2001). Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature*. **412**.

**Louarn G., Corre-Hellou G., Fustec J.** (2010). Determinants écologiques et physiologiques de la productivité et de la stabilité des associations graminées-légumineuses. *Innovations Agronomiques*. **11**:79-99.

**Meisser M., Deléglise C., Mosimann E.** (2013). Effets d'une sécheresse estivale sévère sur une prairie permanente de montagne du Jura. *Recherche Agronomique Suisse*. **4** : 476-483.

**Michalet R.** (2006). Is facilitation in arid environments the result of direct or complex interactions. *New Phytologist*. **169**: 3-6

**Mommer L., Ruijven J., Caluwe H.** (2010). Unveiling below-ground species abundance in a biodiversity experiment: a test of vertical niche differentiation among grassland species. *Journal of Ecology*. **98**: 1117-1127.

**Smith M.** (2011). The ecological role of climate extremes : current understanding and future prospects. *Journal of Ecology*, **99**: 651-655.

**Tilman D., El Haddi A.** (1992). Drought and biodiversity in Grasslands. *Oecologia*, **89**: 257-264.

**Vogel A., Scherer-Lorenzen M., Weigelt A.** (2012). Grassland Resistance and Resilience after Drought Depends on Management Intensity and Species Richness. *PLoS ONE*. **7(5)**: e36992.

**Zwicke M., Alessio G., Thiery L.** (2013). Lasting effects of climate disturbance on perennial grassland above-ground biomass production under two cutting frequencies. *Global Change Biology*. **19**: 3435-3448.

#### **Références internet :**

<https://www1.clermont.inra.fr/urep/>

<http://www.cnrs.fr>

<http://www.inra.fr/>

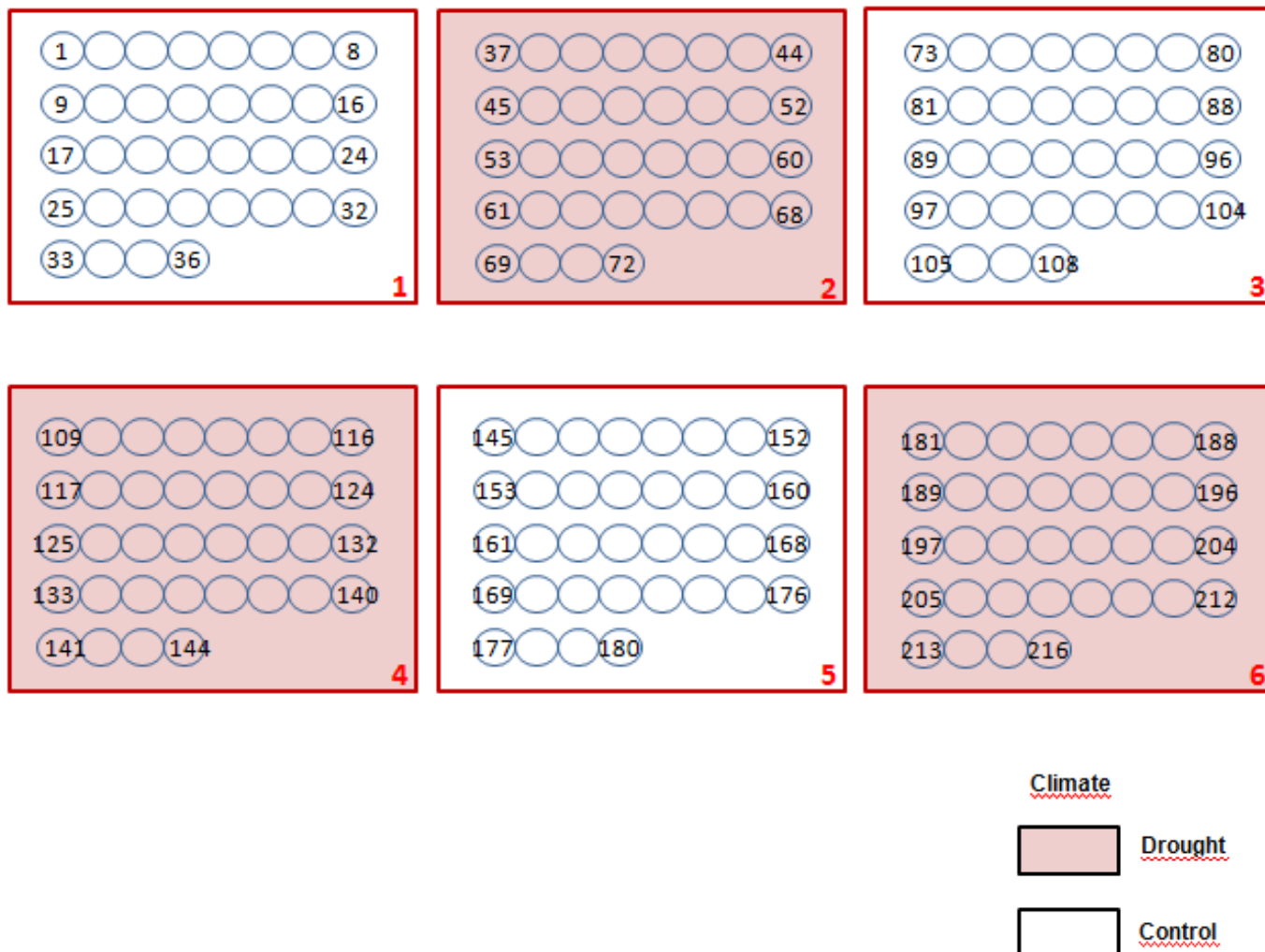
#### **Logiciels utilisés :**

R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria

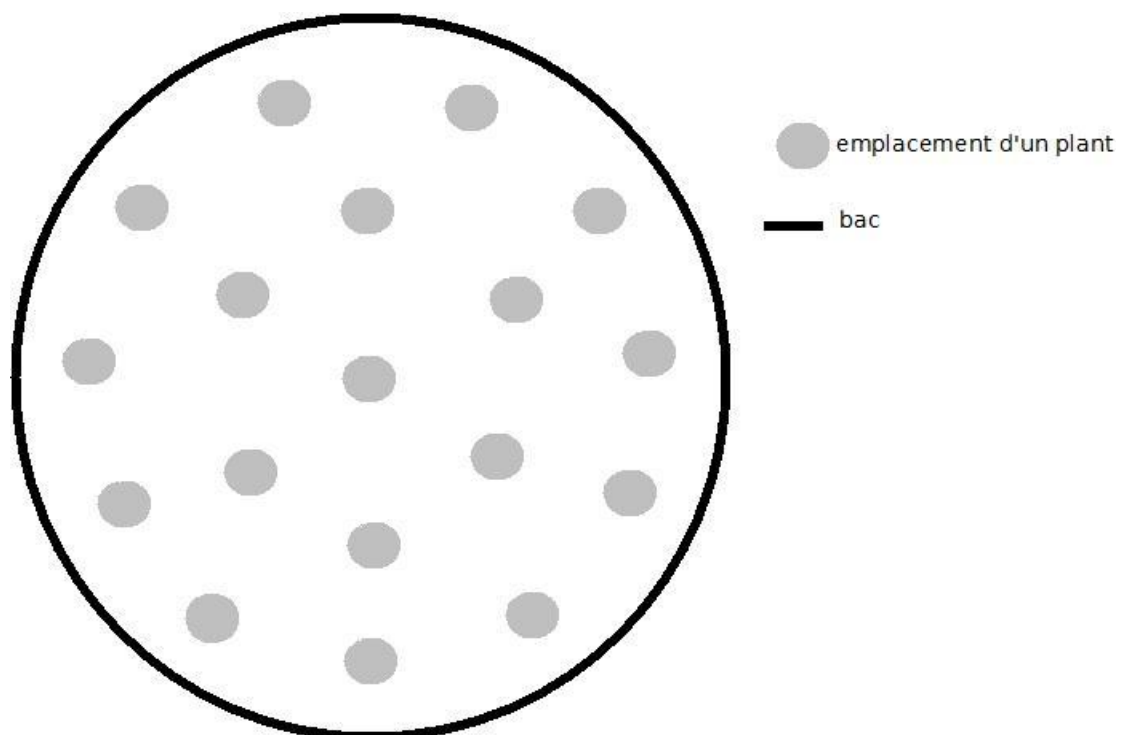


## Annexes

Annexe 1: Schéma représentant la répartition des 216 bacs entre les six blocs (numérotés de 1 à 6).e



Annexe 2 : Emplacement des 18 plants au sein d'un bac. Chaque bac contenant 1 ; 3 ou 6 espèces différentes dont la répartition se fait au hasard.



Annexe 3 : Contene des différents bacs du subset 1 selon les espèces présentes et leurs groupes fonctionnels.

	species		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		espèces présentes		
	groupe fonctionnel	nom de l'espèce	G	Fa	G	Tf	G	Pp	Dg	G	F	Cf	Pl	F	Ka	F	To	Lc	L	L	L	L	L	L	L	L		Tr	
bacs mono-spécifiques	G		1																								G1		
	G					2																					G2		
	G						3																				G3		
	G							4																			G4		
	F										5																F5		
	F												6															F6	
	F														7													F7	
	F																	8											F8
	L																		9									L9	
	L																			10								L10	
L																						11					L11		
L																								12			L12		
bacs avec mélange à trois espèces	G		1			2		3																			G1-G2-G3		
	F										5		6		7												F5-F6-F7		
	L																	9			10						L9-L10-L11		
	G-F		1						4																		G1-G4-F8		
	G-F							3			5																G3-F5-F7		
	G-L								4																		G2-G4-L9		
	G-L																										G3-L11-L12		
	F-L													6														F6-F8-L10	
	F-L																		9									F5-L9-L12	
	G-F-L		1																									G1-F7-L11	
G-F-L																											G4-F8-L12		
G-F-L																											G2-F6-L10		
bacs avec mélange à six espèces	G-F		1						4					6														G1-2-4/F6-7-8	
	G-F									4				6														G2-3-4/F5-6-8	
	G-F		1								5			6														G1-3-4/F5-7-8	
	G-F		1											6														G1-2-3/F5-6-7	
	G-L		1																9									G1-3-4/L9-10-11	
	F-L																											F5-6-7/L9-10-11	
	G-F-L																											G2-4/F6-8/L9-12	
	G-F-L		1																									G1-2/F5-8/L11-12	
	G-F-L		1																										G1-4/F6-7/L10-12
	G-F-L																												G2-3/F5-7/L9-11
G-F-L		1																										G2-4/F6-8/L10-12	
G-F-L																												G1-3/F5-8/L9-11	
TOTAL indiv		57				57		57		57		57		54		57		51		48							48		
control+drought		114				114		114		114		114		108		114		102		96							96		

- G: graminées
- F: forbs
- L: légumineuses
- Fa: Festuca arundinacea
- Tf: Trisetum flavescens
- Pp: Poa pratensis
- Dg: Dactylis glomerata
- Cf: Cerastium fontanum
- Pl: Plantago lanceolata
- Ka: Knautia arvensis
- To: Taraxacum officinale
- Lc: Lotus corniculatus
- Tp: Trifolium pratense
- Vh: Vicia hirsuta
- Tr: Trifolium repens

Annexe 4 : Contene des différents bacs du subset 3 selon les provenances présentes dans les bacs.

espèces provenances	P1 Autriche	P2 Belgique	P3 UK	P4 France	P5 Allemagne	P6 Hongrie	P7 Italie	P8 Espagne	P9 Suède	P10 Suisse	P11 Turquie	P12 Ukraine	espèces présentes	
bacs mono- spécifiques	1												P1	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	P2	
														P3
														P4
														P5
														P6
														P7
														P8
														P9
														P10
														P11
														P12
bacs avec mélange à trois espèces	1	2	3	4	5			8	9				P1-3-5	
				4			7	8	9			12	P2-8-9	
	1	2	3	4		6		8	9	10	11		P4-7-12	
													P6-10-11	
													P1-8-11	
				4	5		7			10			P2-3-9	
	1										11		P4-10-12	
													P5-7-11	
													P1-6-9	
		2						8						P3-8-12
					4	5				10				P2-6-10
														P4-5-7
bacs avec mélange à six espèces	1	2	3	4	5			8		10	11	12	P1-4-8-10-11-12	
	1			4	5		7	8		10			P2-3-5-7-8-10	
	1	2			5	6		8	9		11	12	P1-4-6-9-11-12	
				4	5								P1-2-5-6-8-9	
				4	5		7	8	9	10	11		P3-4-7-8-10-11	
	1	2	3	4	5	6							P2-3-5-6-9-12	
				4	5		7			10			P1-4-6-7-10-12	
	1	2	3	4	5	6		8	9		11		P3-4-5-6-9-11	
				4	5		7	8	9	10			P1-2-3-7-8-10	
	2	2	3	4	5	6		8	9				P2-4-5-8-9-12	
	2												P2-3-6-7-10-11	
	1				5		7				11	12	P1-5-7-9-11-12	
TOTAL indiv	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54		
control+drought	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108		

Annexe 5 : Schéma représentant le type de sonde d'humidité présent dans chacun des bacs des six blocs.

- Soil moisture sensor
- Soil moisture+temp sensor ECHOTM
- Soil moisture sensor ECHOS
- Profile Probe tubes

