



**HAL**  
open science

# Structuration fonctionnelle des communautés adventices et paramètres de croissance du blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum*): effet des pratiques agricoles

Benoit Moinard

## ► To cite this version:

Benoit Moinard. Structuration fonctionnelle des communautés adventices et paramètres de croissance du blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum*): effet des pratiques agricoles. [Stage] Université de Bourgogne (UB), FRA. 2013, 52 p. hal-02808650

**HAL Id: hal-02808650**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02808650>**

Submitted on 6 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.

Mémoire de fin d'études

Formation d'ingénieur Agrosup Dijon

Formation Initiale

**Structuration fonctionnelle des communautés adventices et  
paramètres de croissance du blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum*) :**  
**effet des pratiques agricoles**

(Stage réalisé du 02/04/2013 au 30/09/2013)

Par Benoit MOINARD

3<sup>ème</sup> année

Spécialité « Agronomie »

Spécialisation « Agronomie Environnement »

**Maitre de mémoire :**

Jacques CANEILL

**Maitres de stage :**

Valérie LE CORRE

Nicolas GROSS

Rémi PERRONNE



## **Information**

### **Organismes d'accueil :**

Centre d'Etudes Biologiques de Chizé  
79360 Villiers-en-Bois

UMR1347 AGROECOLOGIE  
INRA, centre de Dijon  
17 rue Sully  
21065 Dijon Cedex

### **Encadrants :**

Valérie Le Corre (INRA UMR 1347 Agro-écologie)

Nicolas Gross (CEBC)

Rémy Péronne (doctorant UMR 1347 Agro-écologie)

### **Maitre de mémoire :**

Jacques CANEILL



*« On peut affirmer qu'il n'y a pas d'agronomie sans ce souci de confrontation au réel, à ce qui se passe dans les conditions du milieu cultural, celui de l'agriculture ».*

Michel Sebillotte, 1974.

*Agronomie et agriculture, analyse des tâches de l'agronome.*

Cahier Orstom, série «Biologie»,24 : 3-25.



## *Remerciements*

Je tiens tout d'abord à remercier Nicolas GROSS et Valérie LE CORRE pour leur encadrement tout au long de mon stage mémoire, que ce soit au CEBC ou à l'INRA de Dijon. Je remercie Rémi PERRONNE pour tout son travail à mes côtés, que ce soit sur le terrain ou dans l'analyse des résultats. Je remercie également Vincent BRETAGNOLLE pour son accueil au sein du CEBC

Je remercie Jacques CANEILL, mon tuteur de stage et tous les membres d'AgroSup DIJON pour leurs interventions dans l'accomplissement de mon stage et de ce mémoire.

Je remercie monsieur Ludovic BONIN, responsable du pôle « Flores adventices-Lutte contre la verse » chez ARVALIS-Institut du végétal qui a accepté d'être expert extérieur lors de ma soutenance de mémoire et Jean-Philippe Guillemain, enseignant chercheur au sein du département Agronomie-Environnement d'Agrosup Dijon, pour avoir accepté d'être président de jury.

Je remercie toutes les personnes du CEBC ou de l'INRA qui, par leurs conseils, leurs connaissances et leurs aides, m'ont permis d'approfondir mes connaissances dans ce domaine. Je remercie plus particulièrement les personnes travaillant sur « farmland » pour le temps passé dans la bonne humeur. Merci Thierry, Alexis, Clémentine pour avoir tester les capacités des véhicules du CEBC. Merci Emilie, Sabrina ainsi que toutes les personnes dont l'aide fut la bienvenue au moment des mesures de traits et de la récolte. Merci à Aurélie pour son soutien tout au long de ce mémoire et surtout dans les moments de rédaction.

Je tiens à remercier particulièrement Coline GIGOUT qui a réalisé les enquêtes auprès des agriculteurs et m'a permis d'obtenir des informations essentielles sur leurs pratiques. Merci aussi pour m'avoir accompagné sur le terrain, quand elle le pouvait, avec la vaillante 205. Merci aussi à tous les agriculteurs pour avoir suivi le protocole au mieux malgré les contraintes. Merci également d'avoir pris du temps pour transmettre leurs expériences et donner leur point de vue sur l'expérimentation.



## *Glossaire*

F : feuilles

Ha: hectare

K: Potassium

MO : Matière Organique

N: Azote

P : Phosphore

PAR : Rayonnement Photosynthétiquement Actif

SAU : Surface Agricole Utile

SCOP : Surface en Céréales et Oléo-protéagineux

q : quintaux



## Sommaire

Introduction .....	1
--------------------	---

Contexte
----------

1) Le blé tendre d'hiver .....	4
a) Quelques chiffres sur la production .....	4
b) Cycle de développement et composantes du rendement .....	5
c) Les différentes étapes de l'itinéraires technique influençant l'interaction adventices/blé .....	6
2) Présentation des adventices de la zone d'étude .....	137
a) Définition .....	7
b) Diversité au sein des communautés .....	7
c) Traits fonctionnels et compétition .....	8
d) Stratégie de développement .....	9
Objectif et question de recherche .....	19

<u>Matériel et méthode</u>
----------------------------

1) La zone atelier Plaine et Val de Sèvre .....	123
2) Présentation du design expérimental .....	13
3) Présentation des parcelles suivies .....	14
4) Mesure et analyse : .....	15
a) Mesures effectuées sur le terrain .....	15
b) Calcul des degrés jours et éléments d'enquêtes .....	16
c) Analyse statistique .....	17
a. Dynamique de croissance du blé .....	17
b. Caractérisation des communautés adventices et réponses aux traitements .....	18
c. Mise en relation structuration fonctionnelle des adventices et de la croissance du blé. ....	19



Résultats : Analyse et discussion
-----------------------------------

I) Effet des traitements sur le blé .....	21
1) Dynamique du blé .....	21
2) Productivité du blé .....	23
3) LMF (Leaf mass fraction) .....	23
II) Caractérisation des communautés adventices et effet des traitements. ....	24
1) Analyse taxonomique .....	24
2) Analyse phénologique .....	26
3) Hauteur .....	27
III) Structuration fonctionnelle des communautés d'adventices et productivité du blé .....	28
1) Modèles globaux .....	28
2) Valeurs des traits et effet sur la biomasse à floraison et le rendement .....	29
a. Effet de la structuration fonctionnelle des adventices sur la biomasse à floraison .....	29
b. Effet de la structuration fonctionnelle des communautés sur le rendement en grain. ....	30
Discussion .....	33
Conclusion .....	37
Perspective .....	38
Table des annexes .....	40
Bibliographie .....	49



## *Liste des tableaux et figures*

- Figure n°1 : Composantes du rendement du blé
- Figure n°2 : Stade de développement du blé et intervention des agriculteurs
- Figure n°3 : Représentation schématique des effets des filtres biotiques et abiotiques sur la structuration de la communauté adventice.
- Figure n°4 : Stratégie de développement des adventices
- Figure n°5 : Situation géographique de la zone atelier
- Figure n°6 : Précipitation au niveau de la ville de Niort (79000)
- Figure n°7 : Excès d'eau dans une parcelle ayant entraîné la perte totale de plantes
- Figure n°8 : Les différents compartiments d'une parcelle (in Cordeau et al. 2012)
- Figure n°9 : schéma global de l'essai
- Figure n°10 : Vue sur le terrain d'un bloc du design.
- Figure n°11 : Répartition des différentes cultures sur la ZA
- Figure n° 12: Représentation schématique de la mesure du PAR différentiel
- Figure n°13 : Représentation des différents paramètres de la courbe logistique
- Figure n° 14 : Présentation des caractéristiques des variétés
- Figure n° 15: Effet des traitements sur Vmax et Hmax du blé
- Figure n°16 : Effet des traitements sur le rendement grain et la biomasse à floraison
- Figure n°17 : Effet des traitements sur la LMF
- Figure n°18 : Effet des traitements sur la richesse spécifique
- Figure n°19 : Effet des traitements sur la phénologie moyenne au stade 31
- Figure n° 20: Représentation pour chaque traitement de la hauteur moyenne en fonction du traitement
- Figure n°21 : Répartition des hauteurs des adventices en fonction du traitement.
- Figure n°22 : Contribution des différents paramètres du modèle au  $r^2$
- Figure n°23 : Evolution de la biomasse à floraison en fonction de divers traits des communautés d'adventices.
- Figure n° 24: Evolution du rendement en grain en fonction de la structuration fonctionnelle des communautés adventices
- Figure n°25 : Relation entre phénologie des adventices et ratio grain/biomasse végétative
- Figure n°26 : Evolution de la viabilité du stock semencier pour différentes adventices



Tableau n°1 : Stades des adventices

Tableau n° 2: modification de traitement sur les parcelles retenues

Tableau n°3 : Caractéristiques des parcelles

Tableau n°4 : Sommes de températures entre stades successifs du blé

Tableau n°5 : Caractéristique des variétés

Tableau n° 6: Caractérisation des parcelles

Tableau n°7 : Résultat des modèles pour le Hmax et la Vmax du blé

Tableau n° 8 : Résultat des différents modèles pour la biomasse à floraison et le rendement

Tableau n°9 : Résultat de la RDA sur la taxonomie des adventices

Tableau n°10 : Effet de l'azote, de l'herbicide et de l'interaction sur la richesse spécifique

Tableau n°11 : RDA sur la phénologie pour 3 dates

Tableau n°12 : Effet des traitements sur la phénologie moyenne

Tableau n° 13: Résultat du modèle sur la hauteur moyenne

Tableau n°14 : Présentation des modèles explicatifs.



## Introduction

Les pertes potentielles de rendements sans contrôle des bio-agresseurs (adventices, insectes, champignons) par rapport aux rendements optimaux sont estimées à un maximum de 60% (Gasquez, 2008). Avec contrôle de ces derniers les pertes sont réduites à 17%. Cet auteur a estimé qu'environ la moitié des pertes potentielles serait liée à la compétition exercée par les adventices vis-à-vis du blé. Le contrôle des adventices et plus généralement l'utilisation des pesticides a permis une augmentation considérable du rendement dans les années 80. Or actuellement, nous assistons plus à une stagnation voir une baisse des rendements qui peut être liée à de multiples causes dont l'apparition de résistance à certaines familles d'herbicide. La gestion des adventices est donc un élément important à prendre en compte dans le contexte actuel d'augmentation des besoins alimentaires d'une population en croissance. Depuis quelques années, nous assistons à une augmentation des demandes sociétales en terme de réduction des produits phytosanitaires mais également à la mise en place d'une politique environnementale de plus en plus prégnante avec par exemple la mise en place du plan Ecophyto. Ces pertes liées aux adventices seront donc le cœur de mon travail.

Celui-ci s'est déroulé au sein de la zone atelier « Plaine et Val de Sèvre » dans les Deux-Sèvres (79). Il est le fruit de la collaboration entre deux structures de recherche que sont le Centre d'études biologiques de Chizé (79) et l'UMR 1347 Agro-écologie de l'institut national de recherche agronomique (INRA, centre de Dijon (21)). Ces structures travaillent ensemble sur un programme d'étude des traits fonctionnels des adventices en grandes cultures et plus particulièrement sur le blé tendre d'hiver. J'ai ainsi pu développer ma propre problématique qui repose sur les effets des adventices et de leurs structurations fonctionnelles vis-à-vis du blé.

La **compétition**, dans la suite de ce mémoire, sera considérée comme un processus correspondant à tous les effets négatifs que peuvent induire la présence de plantes adventices sur les plantes cultivées. D'autres effets négatifs connus, liés à l'allélopathie ou au parasitisme ne seront pas considéré par la suite, considérés comme négligeables compte tenu des communautés en présence. L'un des attendus majeurs de l'effet de la compétition est la diminution des performances des individus en présence de voisins, comparativement à ceux qui se développent seuls. Suivant cette définition, la compétition apparait seulement si la disponibilité en ressources est inférieure à la demande des plantes (Davis et al., 1998, Tilman 1985).



Dans certains cas, la compétition peut également sélectionner des espèces capables de minimiser ces interactions négatives par une utilisation complémentaire des ressources du milieu dans le temps et/ou dans l'espace. On parle alors de différenciations de niches entre espèces et permettant la coexistence d'espèces fonctionnellement contrastés (Maire et al. 2012)

Trois éléments peuvent être sources de compétition : la lumière, les nutriments et l'eau. Dans cette étude nous nous intéresserons à deux de ces facteurs. En effet, compte tenu des conditions climatiques de cette année (Cf. Présentation zone d'étude figure n°7), la disponibilité en eau apparaît non limitante.<sup>1</sup>

La **disponibilité pour les nutriments (principalement l'azote)** sera étudiée car il s'agit d'un des principaux leviers du rendement. Un autre facteur à prendre en compte sera la compétition pour la lumière. Cette dernière dépend également de la structure du peuplement comme l'architecture de la plante et des conditions d'implantations.

Parmi les quatorze éléments minéraux indispensables à la croissance des plantes, les plus importants sont l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). La fertilisation a un rôle clé sur la production de la culture. L'élément reconnu comme le plus important pour le blé tendre est l'azote. Il a un impact majeur sur la croissance. Ce facteur a un rôle majeur dans notre travail

Pour caractériser l'effet des adventices sur la culture, la notion de nuisibilité primaire directe (Caussanel, 1989) sera utilisée (nombre de plantes d'adventices entraînant une perte de rendement d'au moins 5%). Il est possible d'émettre au moins 2 remarques : (i) la compétition d'une adventice avec la culture dépend de nombreux facteurs (hauteur, stade phénologique, architecture, présence d'autres adventices...), (ii) l'effet de compétition avec la culture dépendra pour beaucoup de la différence de période d'émergence entre celle-ci et les adventices.

C'est pour ces raisons que nous allons aborder la question d'un point de vue fonctionnel. Ainsi l'effet d'une plante sur la communauté végétale peut être prédit pour partie par ses traits, dits **traits fonctionnels**. Un trait est une caractéristique morphologique, éco-physiologique ou génétique d'une plante ou d'une espèce (Lavorel et al. 1997)

---

<sup>1</sup> Un agriculteur a produit plus de 75 qtx/ha dans des petites terres séchantes alors que les autres années il produisait moins de 65qtx/ha (Source personnelle)



Un trait est fonctionnel dès lors qu'il possède une fonction pour la plante et lui permet de subsister dans son environnement (Lavorel et Garnier, 2002) L'hypothèse centrale est que les espèces ayant des traits d'effets similaires vont avoir un même effet sur l'écosystème (Lavorel et Garnier, 2002) ou une même réponse à la compétition (Gross et al. 2009).

Dans la suite de ce mémoire, nous allons nous focaliser sur l'approche par traits fonctionnels qui est un outil d'écologie comparative permettant de caractériser la capacité de développement de diverses plantes et donc les relations de compétition entre la culture et les adventices. Le choix des traits sera développé dans la présentation des adventices et plus particulièrement dans la partie concernant la relation entre traits des adventices et compétition avec le blé.

Ce mémoire se place, non pas à l'échelle des individus ou des populations, échelles d'organisation largement étudiées (un exemple classique est la définition du seuil de nuisibilité d'une adventice vis-à-vis d'une culture) mais à une échelle plus large, celle de **la communauté**. La communauté est définie comme l'ensemble des espèces ou des populations occupant une même surface à un temps donné (Crawley, 1997).

Les communautés végétales sont généralement dominées par un petit nombre d'espèces qui jouent un rôle majeur dans leur fonctionnement (Smith et al., 2004). En conséquence, la structure fonctionnelle des communautés dépend majoritairement de la valeur de trait des espèces dominantes.

L'objectif du travail est de voir l'effet de la structuration fonctionnelle des communautés adventices sur les paramètres de croissance du blé tendre d'hiver. Pour cela, nous allons contrôler deux paramètres essentiels dans cette interaction blé/adventice, la nutrition azotée et la gestion par les herbicides.



# Présentation du matériel végétal

## ***1) Le blé tendre d'hiver***

### ***a) Quelques chiffres sur la production.***

Le blé est la troisième céréale la plus produite dans le monde après le maïs et le riz.

Le blé tendre d'hiver est la culture la plus importante en terme de surface en France avec près de 40 % de la SCOP (Surface en Céréales et Oléo-protéagineux) en 2012 (données Agreste 2012). Environ 31% de la récolte française non exportée (15.6 Milliards de tonnes) est destinée à la consommation humaine, 34% pour l'alimentation animale, 19 % sert pour les transformations industrielles (amidon et gluten) et 8% servent à la production de biocarburants (France Agrimer, 2010).

C'est également le cas pour la production récoltée avec près de 35 millions de tonnes toujours en 2012 grâce à des rendements proches de 73 quintaux par hectare. D'après les estimations, le rendement 2013 serait proche de 74 quintaux par hectare (Communiqué de presse du 12 aout 2013, La France agricole) Le Poitou-Charentes est la 5<sup>ème</sup> région productrice de blé tendre avec près de 2,4 millions de tonnes (La France Agricole, 2010).

Dans le département des Deux-Sèvres, le rendement en 2013 est proche de celui atteint au niveau national (Source personnel). C'est une année record en termes de production, du fait notamment de conditions climatiques favorables au moment de l'implantation, mais également tout au long du cycle de développement de la culture. En effet le rendement moyen entre 2007 et 2012 est de 62 quintaux par hectare.

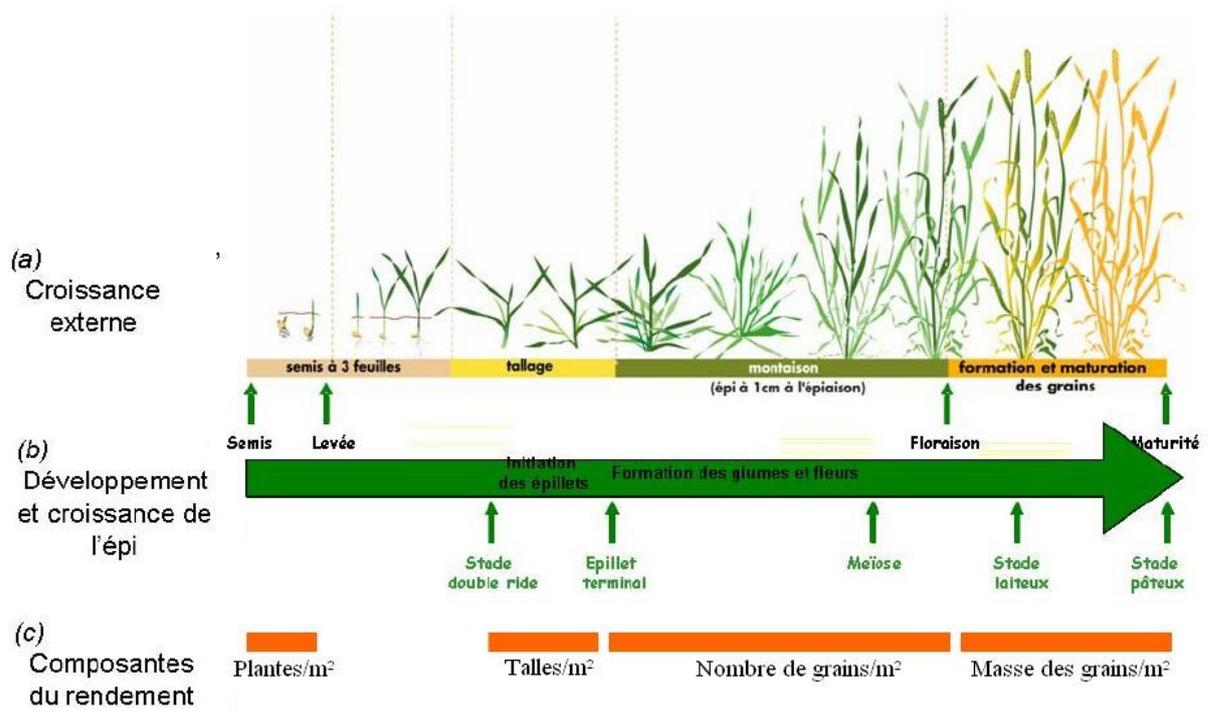


Figure n°1 : Composantes du rendement du blé

## ***b) Cycle de développement et composantes du rendement***

La phase préfloraison (Z65) constitue une phase très importante du cycle de développement du blé. C'est durant celle-ci que se détermine une des composantes principales du rendement : le **nombre de grains formés par m<sup>2</sup>** (Figure n°1) (Bertheloot, 2009). De plus la quantité de tissus assimilateurs de C est également fixée. Ces derniers vont, avec les produits de la photosynthèse des deux dernières feuilles, remplir les grains après la floraison. La quantité de tissus assimilateurs est très fortement **corrélée à la masse sèche à floraison** des structures végétatives, elle-même étroitement corrélée au nombre de grains. Cette corrélation peut s'expliquer par le fait que les différents paramètres sont soumis aux mêmes conditions climatiques durant leurs élaborations. Une autre raison de cette corrélation vient du fait que la quantité de tissus photosynthétiques détermine la quantité de C disponible pour la formation des grains.

La phase préfloraison a généralement été considérée comme déterminante dans l'élaboration du rendement en grains. En effet, le **rendement est souvent très bien corrélé au nombre de grains formés** qui se détermine avant la floraison alors qu'il est mal corrélé au poids individuel d'un grain qui se détermine après la floraison (Sinclair, 2006).

Le stade floraison (65 sur l'échelle Zadoks) peut donc être considéré comme un bon stade pour se rendre compte de l'effet de certains facteurs sur la productivité du blé.

Un autre stade important du blé est le stade épi 1 cm (Z30,Z31). En effet, c'est à ce stade que la vitesse de croissance est maximale et durant lequel toute carence en azote ou compétition entre le blé et les adventices aura un effet préjudiciable important sur les composantes du rendement du blé.

Ces deux stades (floraison et épi 1 cm) vont donc être des stades repères pour faire les analyses concernant la compétition entre le blé et les adventices. Ce sont également des stades importants pour l'agriculteur et sa gestion de la culture grâce à l'itinéraire technique qu'il va mettre en place.

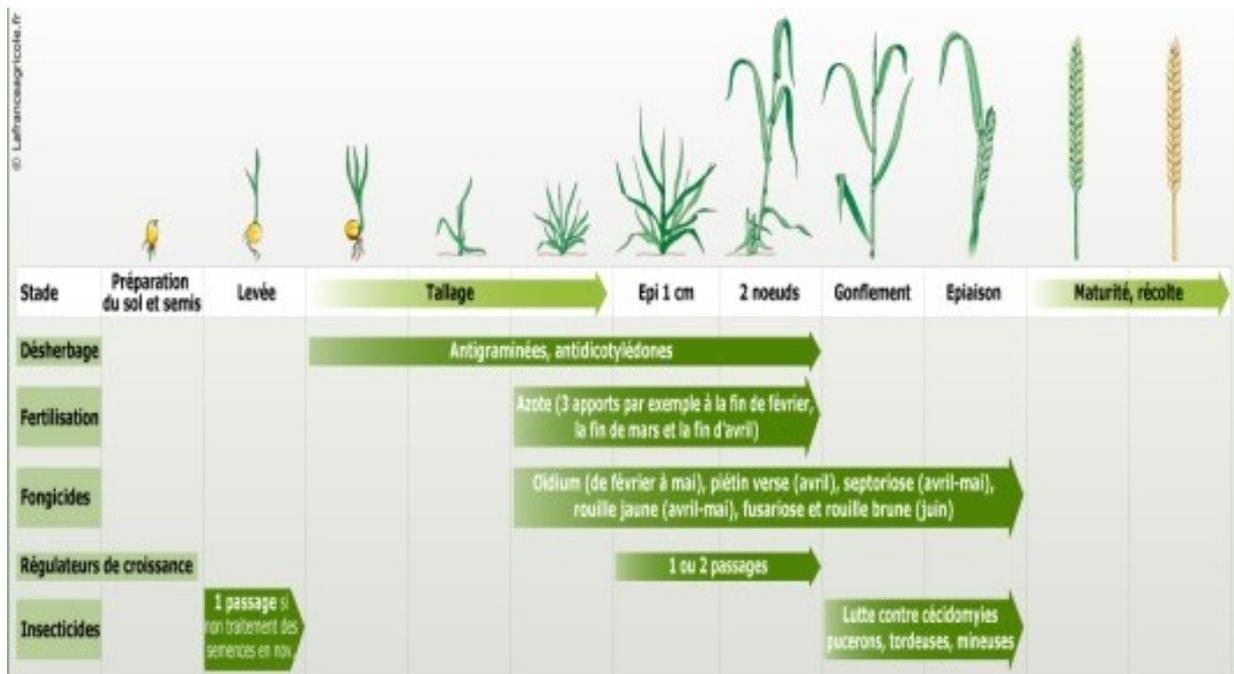


Figure n°2 : Stade de développement du blé et intervention des agriculteurs

(Selon la France Agricole, 2010)

### ***c) Les différentes étapes de l'itinéraires technique influençant l'interaction adventices/blé***

Après le semis du blé on distingue 4 actions importantes réalisées par l'agriculteur (figure n°2).

Il s'agit :

- Du désherbage qui peut être chimique, mécanique ou autre
- De la fertilisation
- De la lutte fongique
- De la lutte contre les insectes.

Il existe une 5<sup>ème</sup> pratique, l'utilisation de régulateurs de croissance (mais aucune des parcelles étudiées n'en a fait usage).

Deux pratiques majeures au cours du développement de la culture ont une influence sur l'interaction entre le blé et la communauté adventice : la fertilisation et le désherbage. Pour **la fertilisation, nous nous limiterons à l'effet de l'azote, dont l'apport est très souvent partitionné au cours du temps à des stades clés du blé (Annexe3)**. Pour le désherbage nous nous limiterons à l'effet des désherbages de printemps (pratique réalisée par les agriculteurs sur les parcelles étudiées). Le désherbage de printemps a pour objectif de limiter la flore automnale aux dépens de la flore printanière, elle-même limitée dans son développement par une intense compétition pour la lumière liée à la fermeture du couvert peu de temps après l'application herbicide. Nous avons observé ceci dans notre cas avec l'aide de la mesure répétée du PAR dans le temps. Certaines adventices pourront ne pas présenter de réponse à un passage d'herbicide du fait de certaines caractéristiques (spectre de l'herbicide appliqué, résistance,...).

Dans cette expérimentation, et pour coller au mieux aux pratiques de chaque agriculteur, chaque parcelle suivie est caractérisée par l'itinéraire technique de l'exploitant. Seuls les apports d'azotes et d'herbicides sont soumis à variations dans des zones intra-parcellaires.



## 2) Présentation des adventices de la zone d'étude

### a) Définition

On définira les adventices comme toutes les plantes se développant dans la parcelle à l'exception de l'espèce cultivée (Godinho 1984). Les repousses de la culture précédente (par exemple le tournesol) sont ainsi considérées comme des adventices.

### b) Diversité au sein des communautés

En France, Duhautois et Hoff (in Cordeau, 2010) ont estimé à 5 000 le nombre d'espèces adventice présentes en 2000. Le climat (température, photopériode, pluviométrie) ainsi que les grands types de sol sont les principaux facteurs intervenant dans la création d'un pool régional d'espèces. Puis viennent ensuite l'effet des filtres biotiques et abiotiques (figure n°3) qui permettent la structuration de la communauté adventices. Un filtre est un ensemble de caractéristiques entraînant une sélection des espèces et des individus permettant d'obtenir une communauté spécifique à partir d'un pool total (Keddy, 1992).

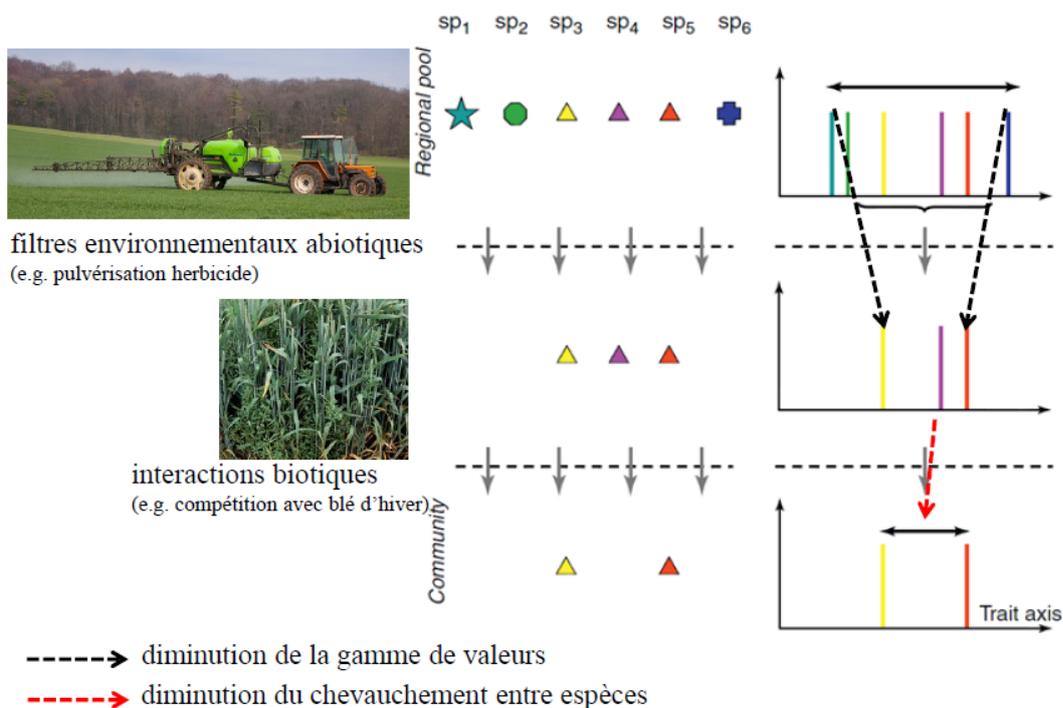


Figure n°3 : Représentation schématique des effets des filtres biotiques et abiotiques sur la structuration de la communauté adventice.

Stade	Monocotylédones	Dicotylédones
1	Levée – Stade cotylédon(s)	
2	Croissance initiale (jusqu'à 8 feuilles (ou paires de feuilles, ou verticilles))	
3	Tallage	Croissance végétative (Ramification)
4	Montaison	Elongation
5	Epiaison	Floraison
6	Grenaison	

Tableau n°1 : Stades des adventices

### ***c) Traits fonctionnels et compétition***

La hauteur des plantes permet de prédire la réponse des communautés à la compétition notamment pour la lumière (Holt, 1995). Elle est relié aussi à la tolérance à l'ombrage des espèces (Gross et al., 2007). La hauteur détermine donc la réponse des espèces à la compétition pour la lumière (Grimme, 1973) mais également l'effet compétiteur des espèces. Les grandes plantes sont capables de préempté la lumière et donc d'ombrager les espèces plus petites (Navas et al. 2005). De plus la stature des individus est corrélée à leurs besoins en nutriment ainsi qu'à la quantité de racine produite (Maire et al. 2009). Ainsi les grandes plantes peuvent avoir un effet sur les nutriments du sol en les immobilisant dans leurs tissus.

La phénologie des espèces est également un trait clé ayant d'importantes implications quant à leur réponse à la compétition (Fargione & Tilman, 2005 ; Maire et al. 2012 ; Bagavathiannan & Norsworthy 2012). Les espèces précoces peuvent par exemple éviter la compétition avec les espèces plus tardives. Enfin une croissance plus précoce permet un avantage compétitif au cours de la saison permettant une accumulation des ressources plus importantes au cours du temps. Ce mécanisme est d'autant plus important chez les espèces annuelles qui doivent boucler leur cycle de vie sur une saison de végétation. Ce dernier est déterminé à l'aide d'une échelle simplifiée présentant une notation de 1 à 6 (Tableau n°1).

Les traits racinaires constituent un bon moyen de caractériser la compétition des plantes pour les ressources disponibles. Par exemple le ratio entre la biomasse aérienne et la biomasse racinaire est un indicateur permettant de déterminer les plantes qui explorent le maximum de volume de sol, et donc qui ont la meilleure capacité d'absorber les nutriments du sol (Maire et al. 2009). Le problème est que cela nécessite d'arracher les plantes voire de détruire une partie du quadrat expérimental afin d'obtenir une estimation à un instant donné. Sachant que la compétition est un phénomène complexe s'échelonnant sur tout le cycle de développement du blé, nous nous limiterons aux traits non destructifs.

La surface spécifique foliaire (i.e. SLA) qui correspond à la surface foliaire produit par gramme de matière sèche est révélatrice de la gestion des nutriments par la plante. La SLA est donc un trait important dans la prédiction de réponse des plantes aux effets de traitements abiotiques (notamment l'azote). Cependant, à l'écriture de ce mémoire, nous ne disposons pas encore des résultats sur l'ensemble des individus, et ne pouvons donc les analyser.

En l'état actuel, nous ne disposons pas des biomasses individuelles des adventices et allons réaliser une moyenne arithmétique (non pondérée) par communauté.

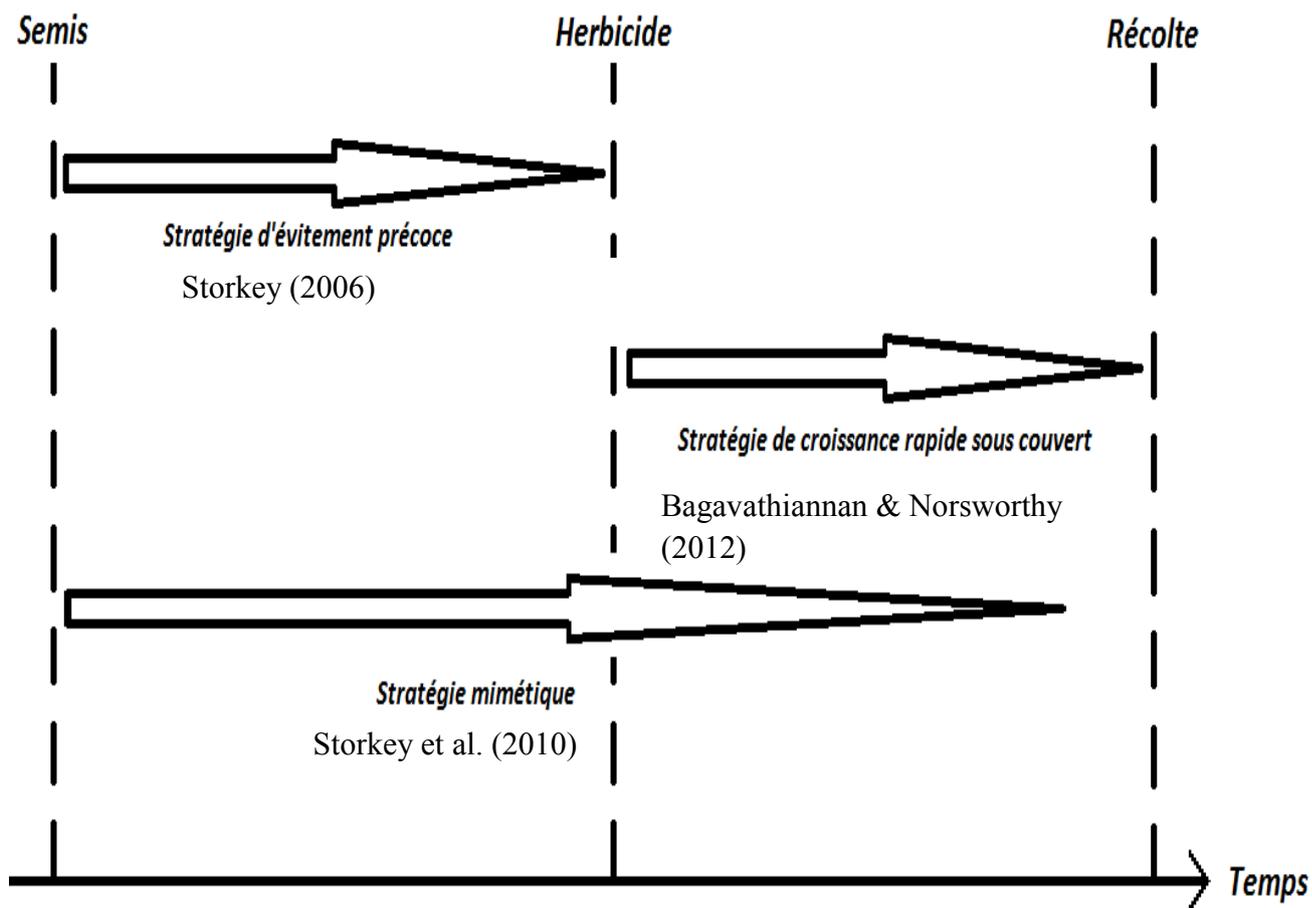


Figure n°4 : Stratégie de développement des adventices

#### ***d) Stratégie de développement***

Les espèces adventices peuvent être caractérisées par différentes stratégies de développement. Je vais me focaliser sur trois d'entre elles qui permettent à la plante d'atteindre la grenaison, prenant en compte le passage d'herbicide (figure n°4) et la récolte (la coupe de la moissonneuse batteuse réduisant (pour les espèces de petites tailles) voire inhibant la production des graines immatures.

On peut distinguer trois principales stratégies de développement:

- ⇒ La stratégie d'évitement précoce. Les adventices se développent et produisent des graines avant le passage d'herbicide, comme par exemple les véroniques (VERHE, VERPE, VERAR, VERPO) ou la stellaire (STEME).
- ⇒ La stratégie de mimétisme du cycle de développement de la culture. Les adventices ont un cycle proche de celui du blé et des caractéristiques leur conférant une relative résistance aux molécules actives employées. Ils présentent aussi des hauteurs élevées. Il est notamment possible de citer le Vulpin des champs (ALOMY, *Alopecurus myosuroides*), la Folle-avoine (AVEFA, *Avena fatua*) ou le Gaillet (GALAP, *Galium aparine*).
- ⇒ La stratégie de croissance rapide sous couvert. Les espèces considérées présentent alors une germination printanière et lèvent donc après le désherbage. Dans ce cas précis, nous considérerons plus précisément des espèces telles que la Renouée liseron (POLCO, *Fallopia convolvulus*) ou la Renouée des oiseaux (POLAV, *Polygonum aviculare*) ou encore le Liseron des champs (CONAR, *Convolvulus arvensis*).



## Objectif et question de recherche

L'objectif de cette étude est de mettre en relation les caractéristiques fonctionnelles des communautés adventices (hauteur et phénologie) avec les paramètres de croissance du blé tendre en faisant varier l'apport d'azote et l'application d'herbicide dans des parcelles de la zone atelier 'Plaine et Val de Sèvres' (Deux-Sèvres).

Plusieurs questions sont développées dans la suite du document :

(i) Quelle relation existe-t-il entre « pratiques agricoles » et « croissance du blé » ? On s'attend logiquement à ce que l'azote favorise le blé et que l'herbicide ait aussi, quoique indirectement, un effet sur la croissance du blé via la diminution des adventices sans la parcelle.

(ii) L'azote est un facteur influençant toute plante quelle soit cultivée ou non. L'herbicide est utilisé pour supprimer tout ou partie des adventices à un instant donné. Mais au sein de la communauté, quelle relation existe-t-il entre pratiques agricoles et structuration fonctionnelle et taxonomique de la communauté adventice ?

- a. Le niveau de fertilisation azoté modifie-t-il la structure fonctionnelle de la communauté adventice ? Comment varient les relations de compétition entre la communauté adventice et le blé (c'est à dire la part des ressources captée par chaque partenaire) selon le niveau de fertilisation azotée ?
- b. La compétition pour les ressources, et donc à terme la perte de rendement de la culture, est elle stable ou réduite en présence de désherbage ? Là aussi, il est évident que le désherbage limite la densité d'adventices et donc on peut le penser la compétition entre la plante cultivée et les adventices.



# Matériel et méthode

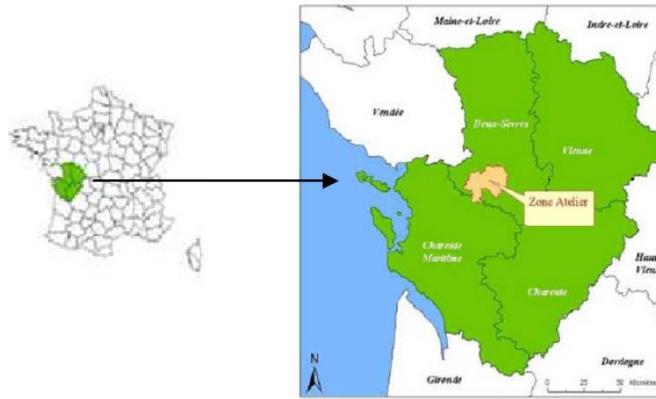


Figure n°5 : Situation géographique de la zone atelier

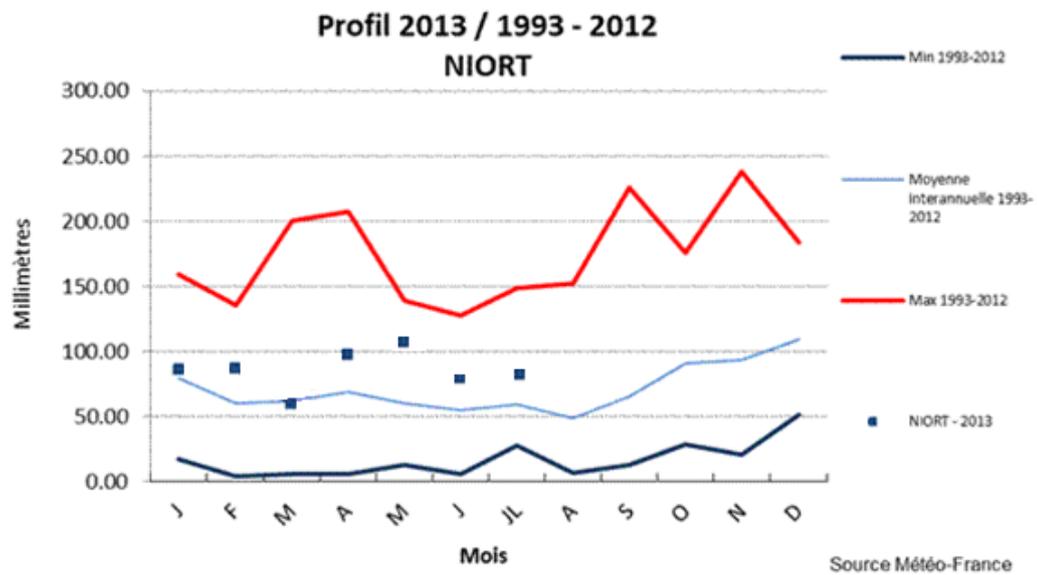


Figure n°6 : Précipitation au niveau de la ville de Niort (79000)

## **1) La zone atelier Plaine et Val de Sèvre**

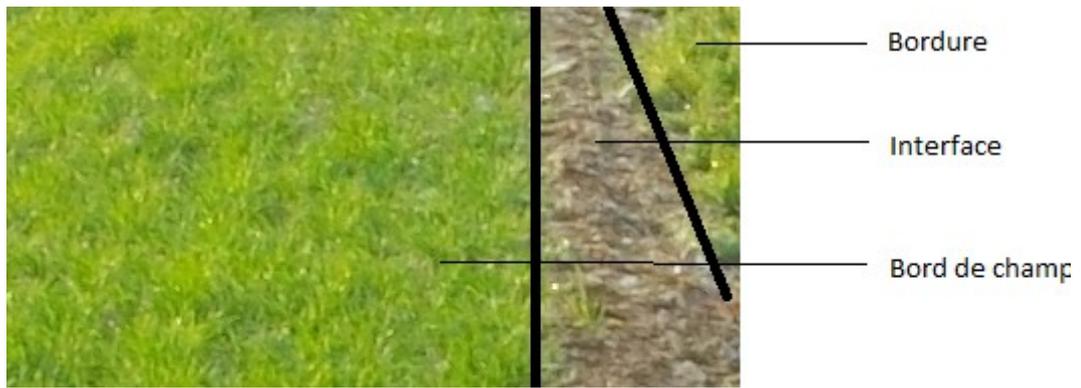
Lors de ce mémoire, nous utiliserons les données échantillonnées sur le terrain dans le cadre d'un programme d'étude des traits fonctionnels des adventices en grandes cultures s'intéressant plus particulièrement au blé tendre d'hiver. Au cours de ce programme, 16 parcelles faisant partie de la zone atelier 'Plaine et Val de Sèvre' ont été étudiées.

La zone d'environ 450 km<sup>2</sup>, se situe au Sud de Niort (figure n°5). Elle représente près de 10% de la surface du département des Deux-Sèvres dont la SAU (Surface Agricole Utile) est d'environ 450 000 ha. On dénombrait en 2004 environ 650 exploitations.

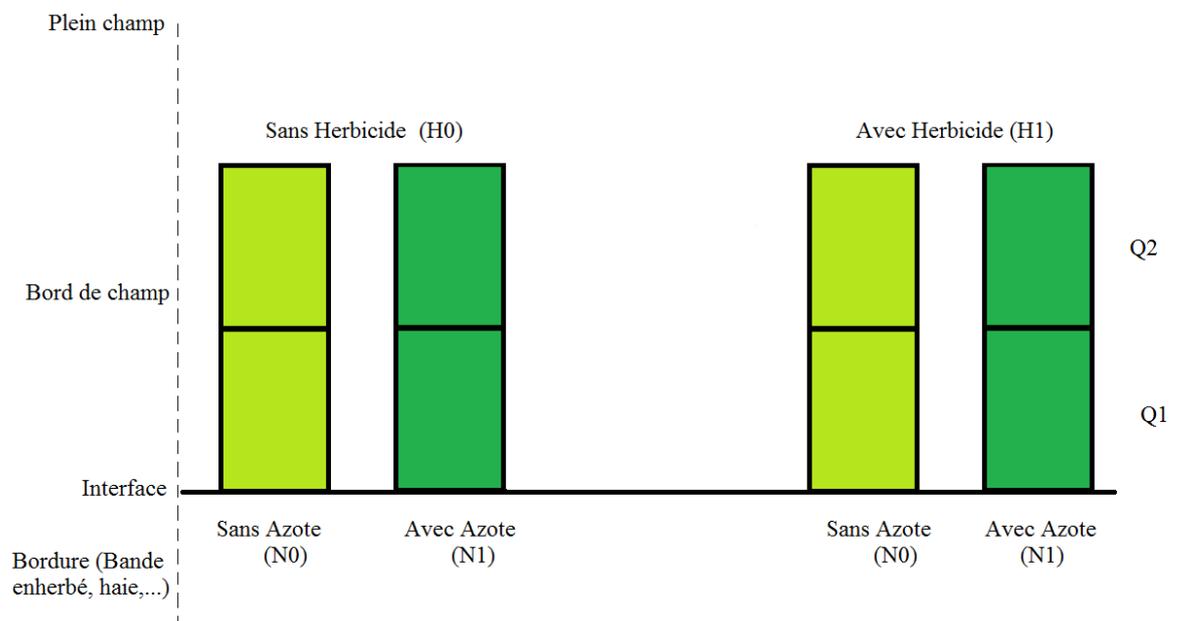
La station météorologique de Niort est la plus proche de la zone atelier et donc la plus adaptée pour nous indiquer les caractéristiques climatiques de la zone d'étude. Les précipitations mensuelles depuis le début de l'année civile (figure n°6) sont révélatrices des différences interannuelles. Nous constatons que depuis le début de l'année 2013, la pluviométrie est supérieure à la moyenne mensuelle des années 1993 à 2012. Nous avons donc eu cette année des conditions météorologiques permettant d'apporter aux cultures de bonnes quantités d'eau, et donc de limiter le stress hydrique. En revanche cet excès de pluies a pu entraîner, pour certaines parcelles vallonnées, un développement du blé limité voire inhibé (Figure n°7).



Figure n°7 : Excès d'eau dans une parcelle ayant entraîné la perte totale de plantes



**Figure n°8 : Les différents compartiments d'une parcelle (in Cordeau et al. 2012)**



**Figure n°9 : schéma global de l'essai**



**Figure n°10 : Vue sur le terrain d'un bloc du design. Les jalons jaunes délimitent la zone sans apport d'azote. Les jalons rouges délimitent la zone sans pulvérisation herbicide. Les quadrats suivis ont été positionnés de manière permanente (à l'aide de piquets).**

## **2) Présentation du design expérimental**

Deux zones majeures sont distinguées au sein de la parcelle agricole, le plein champ et le bord du champ (Cordeau et al. 2012) correspondant respectivement, dans notre cas, aux deux derniers mètres de culture avant l'interface et à l'intérieur du champ (figure n°8). Le bord de champ présente de nombreuses caractéristiques qui en font une zone d'intérêt dans l'étude des interactions entre la culture et la flore adventice. Il s'agit également d'une voie préférentielle de colonisation des parcelles par de nouvelles espèces, notamment les vivaces (Poggio et al. 2005). Cette zone a par ailleurs la particularité de présenter une diversité plus importante que le plein champ (Romero et al. 2008, Cordeau et al. 2012).

Au sein du bord de champ, le dispositif expérimental mis en place définit quatre zones avec des pratiques agricoles distinctes (Figure n°9). Au niveau de la parcelle, la disposition des traitements ainsi que les limites de traitements herbicides et azotes sont signalées par des jalons rouges et jaunes (Figure n°10).

De plus au vu des discussions avec les agriculteurs, nous avons décidé de ne pas prendre en compte le premier mètre à la limite de l'interface (zone labourée mais non semée d'environ une quinzaine de cm en bordure de parcelle, Cordeau et al. 2012). En effet celle-ci présente un gradient d'azote et une efficacité herbicide moindre car la majorité des agriculteurs évitent de traiter la parcelle voisine. Les 3 à 4 premiers rangs du bord présentent une gestion moins efficace (blé plus grêle et adventices plus productives) (Gabriel et al. 2005). Nous analyserons donc uniquement le quadrat 2 (Figure n°9).



Figure n°11 : Répartition des différentes cultures sur la ZA

Traitement	P1	P2	P9	P10	P11	P14	P16
H0N0	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	ok
H0N1	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	ok
H1N0	H1N1	Ok	ok	ok	H0N0	ok	ok
H1N1	ok	Ok	ok	ok	ok	ok	ok

Tableau n° 2: modification de traitement sur les parcelles retenues afin de correspondre aux pratiques réellement appliquées par les agriculteurs

Parcelle	Mode de gestion	Type de sol	Profondeur	n-3	n-2	Labour	n-1	Labour
1	Conventionnel	Groie	20	Tournesol	Blé tendre	N	Lin	N
2	Agriculture de conservation	Petite groie sur banche plate	NA	Tournesol	Blé tendre	N	Pois	N
9	MAE	Petite groie	15	Blé tendre	Blé tendre	15	Tournesol	N
10	MAE	Petite groie	15	Pois	Blé dur	15	Colza	15
11	MAE	Petite groie	NA	Ray-grass Tournesol	Blé tendre	15	Tournesol	15
14	Conventionnel	Argilo Calcaire	20	Blé tendre	Mais semence	N	Blé tendre	20
16	Conventionnel	Argilo Calcaire	60	Tournesol	Blé dur	N	Colza	N

Tableau n°3 : Caractéristiques des parcelles en termes de mode de gestion, de type de sol et de succession culturale. (Les N indiquent le non-labour et les chiffres la profondeur du labour et les NA indiquent l'absence d'informations)

### **3) Présentation des parcelles suivies**

Dans la zone atelier, une large part de la surface est cultivée en céréales (figure n°11) avec principalement du blé tendre d'hiver. Nous disposons de 16 parcelles dont les agriculteurs s'étaient portés volontaires pour mettre en place le design expérimental. Pour la suite de ce mémoire, nous n'avons retenu que sept parcelles (P1, P2, P9, P10, P11, P14 et P16).

Les parcelles en agriculture biologique non pas été retenues, compte tenu de l'impossibilité de mettre en place le protocole d'apports d'azote minéral et de limitation de l'herbicide. Ensuite, certaines parcelles en gestion conventionnelle n'ont pas suivies l'ensemble du protocole. Les parcelles retenues présentent au moins trois traitements correctement appliqués sur les quatre. Seules deux parcelles retenues ont du voir un des traitements a priori modifié pour correspondre à la pratique de l'agriculteur (tableau n°2).

Les terres de groies sont des sols argilo-limoneux avec des taux de MO compris entre 3 et 5%. Elles possèdent une réserve utile faible. Pour la parcelle caractérisée par de la petite groie sur banche plate, elle possède les mêmes caractéristiques avec un taux de cailloux calcaires important. De plus, elle est en agriculture de conservation. Ce mode de gestion repose sur trois piliers fondamentaux que sont la diversification des rotations, la réduction du travail du sol et la restitution intégrale des résidus de récolte.

Pour les successions culturales (tableau n°3), on constate que seule la parcelle 14 était en blé l'année précédente. Il est possible de différencier les autres parcelles par la culture de l'année n-1 qui est soit une culture d'hiver, le colza, pour les parcelles 10 et 16, soit une culture de printemps pour les autres. Ces parcelles, sauf la P14, sont cultivées en blé l'année n-2.

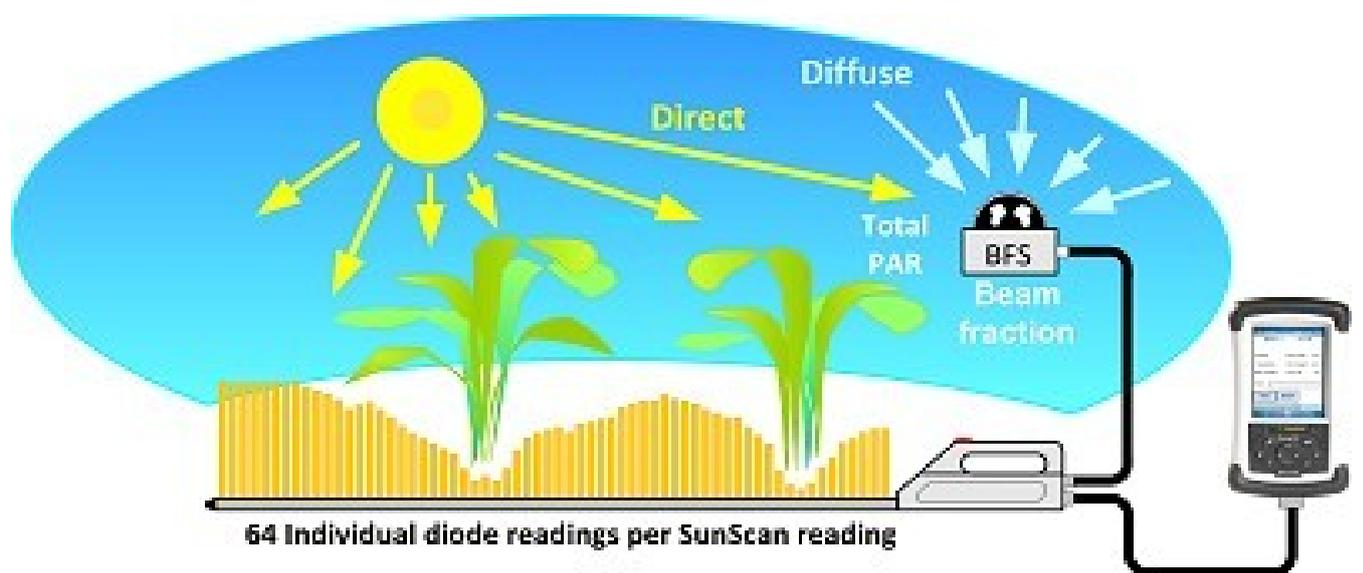


Figure n° 12: Représentation schématique de la mesure du PAR différentiel

#### **4) Mesure et analyse :**

##### ***a) Mesures effectuées sur le terrain.***

Des passages sur chaque parcelle ont été effectués à partir de début mars et suivant un pas de temps de deux à trois semaines. Pendant ces visites, nous avons identifié, mesuré la hauteur et déterminé le stade phénologique de 30 plantes adventices prises sur un transect du quadrat permanent (le transect étant placé perpendiculairement aux lignes de semis pour limiter la détection d'un effet du à la préparation du sol). Certains quadrats présentent parfois plus ou moins que ce nombre d'individus (la limite maximale a cependant été restreinte aux 30 premiers individus observés). Ces relevés permettent de connaître les espèces présentes et leurs caractéristiques (phénologie et hauteur). Il est par ailleurs possible de faire le lien entre hauteur des adventices et hauteur de la culture afin d'estimer la compétition pour la lumière. Cette compétition est dite asymétrique car c'est une ressource unidirectionnelle pour laquelle les plantes les plus hautes auront un accès privilégié à la lumière (Schwinning & Weiner 1998). Nous avons également déterminé un indice de diversité spécifique : la richesse spécifique qui correspond au nombre d'espèces présentes

Lors de ce passage était également mesurée la hauteur et noté le stade phénologique du blé (échelle Zadoks (Zadoks, 1974)) pour suivre la dynamique du blé au cours du temps. Un autre paramètre important à prendre en compte est la fermeture du couvert. Elle est déterminée par le différentiel de PAR (Rayonnement Photo-synthétiquement Actif) qui correspond au ratio entre le PAR mesuré au dessus de la canopée et le PAR mesuré au niveau du sol (Cf. figure n° 12). Nous estimons ainsi la date de fermeture de la canopée de la culture. Les adventices, présentes sous ce couvert, devront alors présenter une certaine tolérance à l'ombrage pour survivre et produire des graines. En revanche la tolérance d'une plante à un faible niveau de ressource (lumière) ne l'empêchera pas d'être compétitive pour une autre ressource, ici l'azote (Liancourt, thèse, 2005). Dans ce cas, nous pouvons nous attendre à un effet de l'azote sur la fermeture du couvert et donc sur la valeur différentielle du PAR. Pour compléter cette donnée de PAR différentiel, nous avons également déterminé le recouvrement de la canopée de chaque communauté (adventices et blé).

Stade	Somme de température
Semis	30
Germination	120
Levée	300
Début tallage	350 à 1000
Epi 1 cm	250
2 nœuds	150 à 300
Epiaison	750
Grain laiteux (43.5% eau dans grain)	

Tableau n°4 : Sommes de températures entre stades successifs du blé (Selon JAMIESON et al., 1998)

Une mesure de biomasse aérienne du blé a été réalisée à un stade clé du blé, la floraison. Cette donnée est un bon critère pour comparer les performances des individus soumis aux différents traitements. Il est alors possible de mettre en évidence le niveau de compétition au sein des combinaisons. Nous avons également déterminé le LMF (i.e. Leaf mass fraction) qui correspond au ratio biomasse feuille / biomasse totale du blé, ce paramètre permettant d'étudier la réponse du blé aux conditions trophiques.

### ***b) Calcul des degrés jours et éléments d'enquêtes***

Afin de mieux comprendre les résultats obtenus, nous avons besoin de différentes informations (pratiques agricoles, méthode d'homogénéisation des résultats), développées ci-dessous.

Le blé atteint ces stades phénologiques à des sommes de températures particulières (tableau n°4). On détermine pour chaque parcelle la somme de température pour chaque intervention avec les données météorologiques de Poitiers. On calcule les degrés-jours ou GDD (Growing Degree-days) pour chaque jour en suivant l'équation 1 de MacMaster & Wilhelm (1997).

$$GDD = \left[ \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} \right] - T_{base}$$

La température de base du blé est de 0°C. En revanche les GDD seront toujours compris entre 0 et 25°C car en dessous de 0°C, le blé ne se développe pas et si les GDD sont supérieurs à 25°C, il présente des risques d'échaudages (MacMaster & Wilhelm, 1997). La somme de température a été calculée à partir de la date de levée qui correspond à la date pour laquelle la somme des GDD depuis le semis dépasse 150°J (Tableau n°4, Jamieson et al. 1998)

Une enquête a été menée auprès des exploitants portant sur des facteurs d'importance dans l'expérimentation actuelle, connus pour influencer le rendement du blé et la compétition entre celui-ci et les adventices tels que la densité, la date de semis, la dose d'azote apportée, les molécules actives utilisées ainsi que la dose d'herbicide, le précédent cultural. On connaît également les types de sol. Ces facteurs seront très importants dans la suite du mémoire pour expliquer les particularité des résultats obtenus.

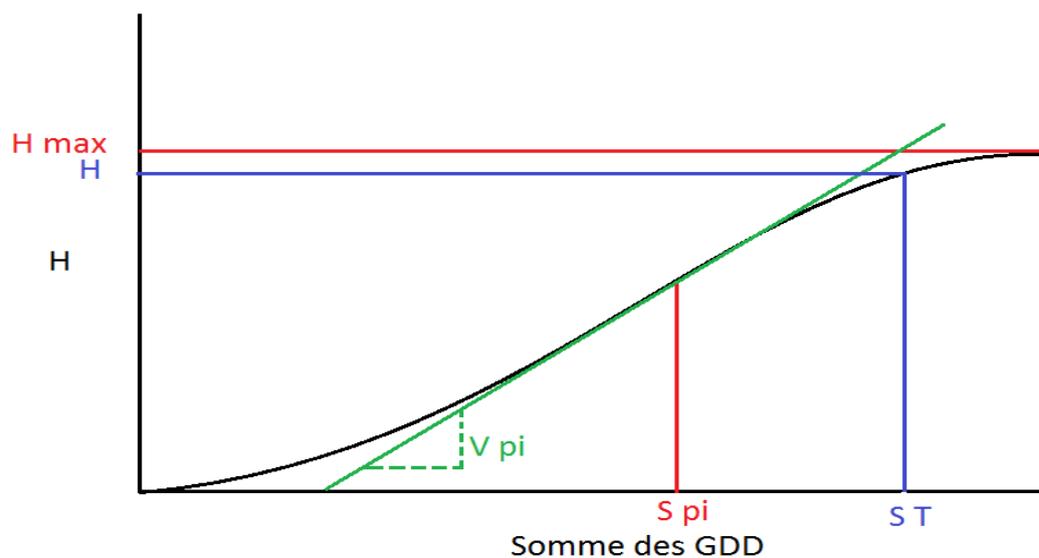


Figure n°13 : Représentation des différents paramètres de la courbe logistique  
*( $S_{pi}$  est la somme des températures au point d'inflexion,*  
 *$V_{pi}$  est la vitesse au point d'inflexion et donc la vitesse maximale,*  
 *$H_{max}$  est la hauteur maximale et  $H$  est la hauteur pour chaque somme de température  $ST$ )*

### ***c) Analyse statistique***

Les traitements statistiques portent sur la dynamique du blé, puis sur la caractérisation des communautés adventices et leurs réponses aux traitements. Enfin, nous mettons en relation structuration fonctionnelle des adventices et paramètres de croissances du blé (hauteur max, biomasse à floraison et rendement en grains) en fonction des pratiques agricoles.

#### **a. Dynamique de croissance du blé.**

A partir des données de hauteurs et des GDD, des courbes de croissance du blé sont calculées à l'aide du modèle décrit ci-dessous. Il s'agit d'un modèle logistique adapté de Debouche (1979) :

$$H = \frac{H \max}{(1 + \exp(-V_{pi} \times (ST - S_{pi})))}$$

Ce modèle va nous permettre d'estimer différents paramètres d'importance (Figure n°13). Grâce à ce modèle, il sera notamment possible d'étudier l'effet de l'azote et de l'herbicide sur la vitesse de croissance ( $V_{pi}$ ) et la hauteur max ( $H \max$ ).

Concernant la somme de température pour atteindre la vitesse de croissance maximale, on sait qu'elle dépend majoritairement de la variété utilisée. Nous caractériserons donc les variétés semées par les agriculteurs afin de les mettre en relation avec la somme des températures au point d'inflexion de la courbe ( $S_{pi}$ ).

Considérant que le facteur important pour l'agriculteur est son rendement en grain et sa production de paille (pour les exploitants en polyculture-élevage) et que l'on sait l'importance de la biomasse à floraison dans les composantes de rendement du blé, nous allons caractériser l'effet des traitements azote et herbicide sur ces paramètres. Nous testons un modèle linéaire avec les facteurs herbicide et azote et leur interaction. Nous avons pris en compte l'effet parcelle en tant qu'effet aléatoire.

De plus nous allons analyser l'effet des traitements sur le ratio biomasse feuille / biomasse totale (LMF). Nous ne possédons cette information que sur 4 parcelles (5 individus par traitement par parcelle), il est difficile de prouver la normalité sur si peu de répétition. Pour déterminer s'il y a un effet du traitement sur la LMF, un test non paramétrique de rang de Kruskal-Wallis a été effectué et une correction de Bonferroni appliquée



## **b. Caractérisation des communautés adventices et réponses aux traitements**

Les communautés d'adventices sont caractérisées par leur taxonomie et leur phénologie. Pour analyser l'effet des traitements sur ces traits, nous avons retenu une analyse en composante principale qui permet d'assigner moins de poids aux espèces rares qu'aux espèces fréquentes (ACP avec distance d'Hellinger (Legendre & Gallagher 2001)) pour chacune des 3 dates qui correspondront à des périodes importantes pour la culture de blé :

- Fin mars, soit peu avant le passage herbicide
- Avril-mai, proche du Spi
- Début juillet, proche de la hauteur maximale

Pour déterminer le pourcentage de variation des communautés expliqué par chaque critère (parcelle, azote, herbicide) sur la taxonomie et la phénologie, nous avons utilisé des analyses de redondances sous contraintes (RDA). La RDA est équivalente à une ACP mais elle permet de définir des axes principaux qui maximisent la variation expliquée par une variable ou un facteur.

Ensuite concernant les autres paramètres des adventices ayant un rôle dans la compétition pour la lumière, nous retenons deux critères importants que sont le taux de recouvrement et la hauteur des adventices. Le taux de recouvrement est une estimation visuelle de la surface qu'occupe une communauté dans le quadrat. La méthode de Braun-Blanquet est très utilisée, mais nous avons choisi de ne pas fonctionner par classe afin d'être plus précis dans nos analyses. Nous avons attribué un pourcentage à chaque espèce puis nous avons sommé ces résultats pour obtenir le taux de recouvrement de la communauté adventices, du blé et total selon Londo (1976). Il est possible que celui-ci n'atteigne pas 100% si du sol nu est visible. On met en relation les différents taux de recouvrements (Adventices, cultures et totaux) avec le PAR (Rayonnement Photosynthétiquement Actif) avec un test de Spearman.

Nous calculons la différence de hauteur entre la feuille la plus haute des adventices et la canopée du blé le plus proche possible du stade 1 nœud (Z31 sur l'échelle de Zadoks). C'est à ce stade que la vitesse est maximale. Il faut donc que la compétition pour la lumière soit faible pour que la photosynthèse soit au minimum perturbée par les adventices. Pour la hauteur de la canopée du blé, nous avons mesuré sur 10 blés la hauteur maximal de la dernière feuille. Sachant que le phénomène de photosynthèse des deux dernières feuilles du blé à un impact fort sur la productivité du blé, nous avons choisi de prendre la plus faible des hauteurs.



### **c. Mise en relation de la structuration fonctionnelle des adventices et de la croissance du blé.**

Pour résumer ce travail et estimer quel(s) facteur(s) explique(nt) le mieux la dynamique du blé et la biomasse à floraison, nous avons opté pour des modèles linéaires mixtes. Les facteurs explicatifs seront l'apport d'azote, l'utilisation d'herbicide, la hauteur des adventices ainsi que la phénologie et les différentes interactions.

Il y a un modèle par variable expliquée et nous choisirons le meilleur modèle avec l'AIC, critère d'information d'Akaike (Akaike, 1974) le plus faible. A partir de chaque modèle, nous avons conservé l'interaction la plus importante et qui a un effet significatif sur le facteur expliqué (Biomasse à floraison ou rendement). Ensuite nous avons représenté les valeurs de masse sèche prédites par traitement en fonction de la phéno et de la hauteur car nous avons à chaque fois une interaction entre stade phénologique et hauteur. Puis nous avons placé nos points expérimentaux afin de juger du domaine de validité des modèles et donc éviter d'expliquer un effet qui pourrait être un simple artefact.

Nous allons mettre en relation un couple hauteur\*phéno caractérisant la structure fonctionnelle des adventices avec la production du blé à différents stades : floraison (Z65) et récolte (Z99). Nous allons également pouvoir en fonction des caractéristiques de nos communautés les plus proches, mettre en relation stratégies de développements et pertes de rendement du blé aux deux stades.



***Résultats :***  
***Analyse et discussion***

Variété	Alternativité	Précocité Montaison	Précocité Epiaison	Tolérance à la verse	Tolérance au froid	Hauteur paille
Arrezzo	3	4	7	5.5	7	3.5
Euclide	2	3	7	4	7	3.5
Solveig	2	4	7	7	7	3.5
Apache	4	3	7	7	7	3.5
Caphorn	3	3	6.5	6	7	3
Rustic	2	3	6.5	5.5	5.5	3
Galibier	5	5	8	3	3	4.5

Tableau n°5 : Caractéristique des variétés : plus l'alternativité est importante, moins les besoins de vernalisations sont importants (données fiches variétés ARVALIS)

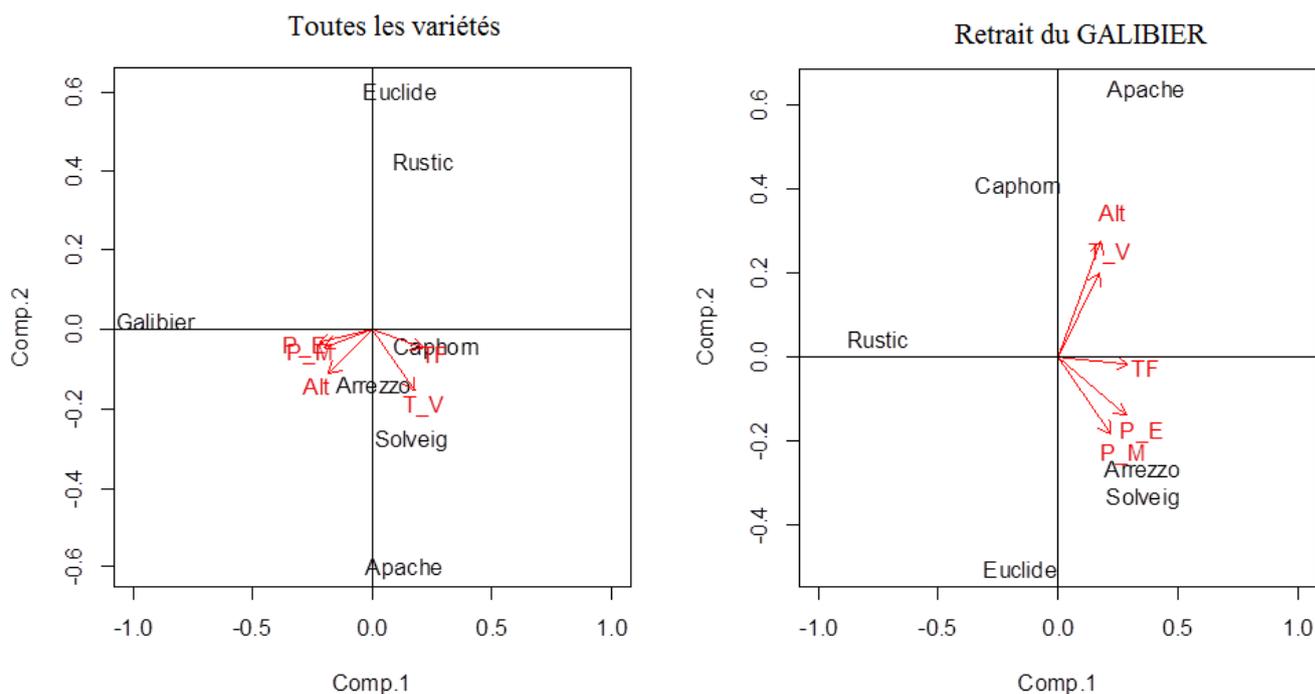


Figure n° 14 : Présentation des caractéristiques des variétés

## I) Effet des traitements sur le blé

### *1) Dynamique du blé*

Nous nous intéressons ici à la croissance en hauteur du blé. La hauteur maximale atteinte par le blé est importante pour l'agriculteur, car elle donne une idée de la paille disponible

Pour chaque traitement et par parcelle, nous avons obtenu le H max, le Vmax et le Spi par traitement et par parcelle à l'aide d'un modèle logistique de croissance en hauteur des plantes. Tout d'abord, nous analyserons les variations de résultats de la somme de température nécessaire pour atteindre la vitesse maximale (Vmax) de croissance entre les parcelles. Pour vérifier ce paramètre, nous allons déterminer des groupes de variétés en fonction de leurs caractéristiques (tableau n°5) afin d'analyser les différences de Spi entre les parcelles.

Pour cela, nous avons réalisé deux ACP simultanée sur ces données (figure n°14). Une avec toutes les variétés et la seconde en enlevant la variété Galibier. Cette dernière influence l'axe des abscisses et donc ne permet pas une bonne représentation des autres variétés. Nous avons ainsi pu faire plusieurs groupes de variétés :

- Groupe 1 : Galibier
- Groupe 2 : Arezzo et Solveig
- Groupe 3 : Apache et Caphorn
- Groupe 4 : Euclide
- Groupe 5 : Rustic

Puis nous avons, pour chaque parcelle, déterminé le groupe variétal et mis en corrélation groupe et moyenne des Spi.

Parcelle	2	11	16	5	9	1	10	14
Groupe	1	2	2	2	3	2/4	4	5
Moyenne des S	800.1	936.13	959.64	1006.78	962.75	1014.53	1045.36	1171.05

Tableau n° 6: Caractérisation des parcelles

On peut constater que les parcelles avec des variétés plus précoces à montaison, et dans un second temps plus alternatives, atteignent leur vitesse maximale pour des sommes de GDD plus faibles. Cette donnée va ensuite permettre d'analyser l'effet des adventices. On s'intéressera à la date à laquelle est atteinte cette somme de GDD par parcelle.

<i>Modèle</i>	<i>Hauteur maximale</i>			<i>Vmax</i>		
	<i>r<sup>2</sup> = 0,18</i>			<i>r<sup>2</sup> =</i>		
	<i>Df</i>	<i>F ratio</i>	<i>P value</i>	<i>df</i>	<i>F ratio</i>	<i>P value</i>
H	1	0,295	0,592	1	0.0490	0.82
N	1	6,152	<b><u>0,021</u></b>	1	12.33	<b><u>0.002</u></b>
H*N	1	0,744	0,398	1	0.0596	0.81
Erreur	22			22		

Tableau n°7 : Résultat des modèles pour le Hmax et la Vmax du blé

En comparant la date moyenne avec la date du relevé le plus proche on constate que l'on se trouve au stade Z31 (1<sup>er</sup> nœud visible) juste après ou pendant la moyenne des S.

Le stade Z31 est donc un stade clé pour la croissance du blé et semble être le stade le plus pertinent pour analyser l'effet de la compétition avec les adventices. Par la suite lorsque nous analyserons les traits fonctionnels des adventices (i.e. phénologie et hauteur), nous considérerons les valeurs de traits mesurées dans chaque parcelle à la date la plus proche du stade Z31 du blé.

Nous avons ensuite voulu tester l'effet des traitements sur les paramètres V max et Hmax. Nous avons obtenu les résultats suivants :

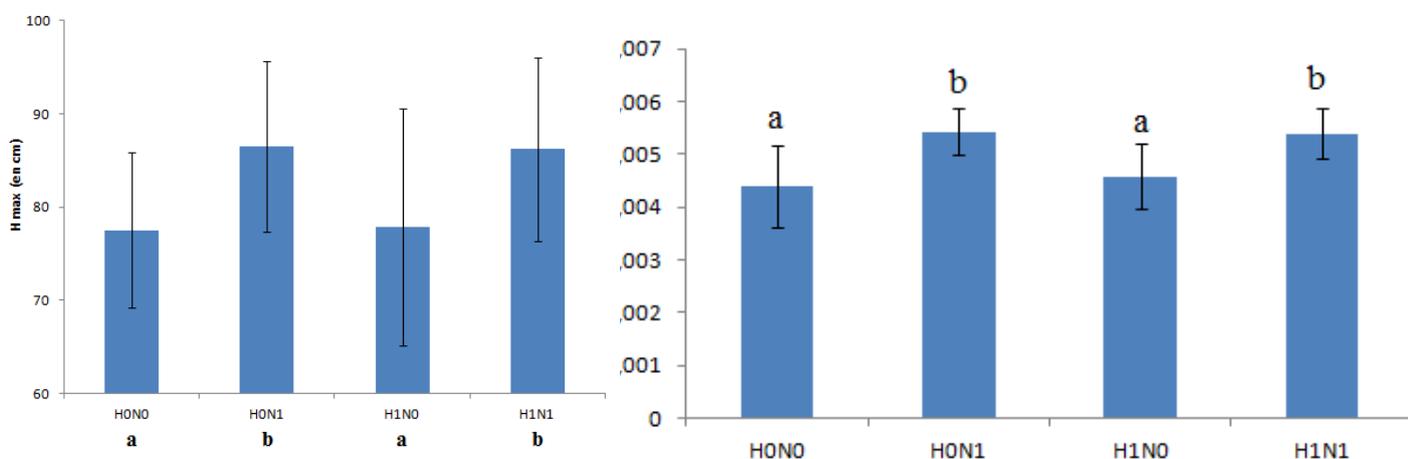


Figure n° 15: Effet des traitements sur la vitesse maximale de croissance (V<sub>max</sub>) et la hauteur maximale du blé

On constate que, pour V<sub>max</sub>, les traitements H0N1 et H1N1 sont significativement différents de H0N0. H1N0 n'est pas significativement différent de H0N0. Il est possible d'en conclure qu'il existe un effet significatif de l'azote sur la vitesse maximale de croissance et qu'il ne semble pas y avoir d'effet de l'herbicide. L'analyse du modèle linéaire (tableau n°7) confirme ce résultat ainsi que l'absence d'interaction entre les effets de l'azote et de l'herbicide sur les paramètres du cycle de développement du blé.

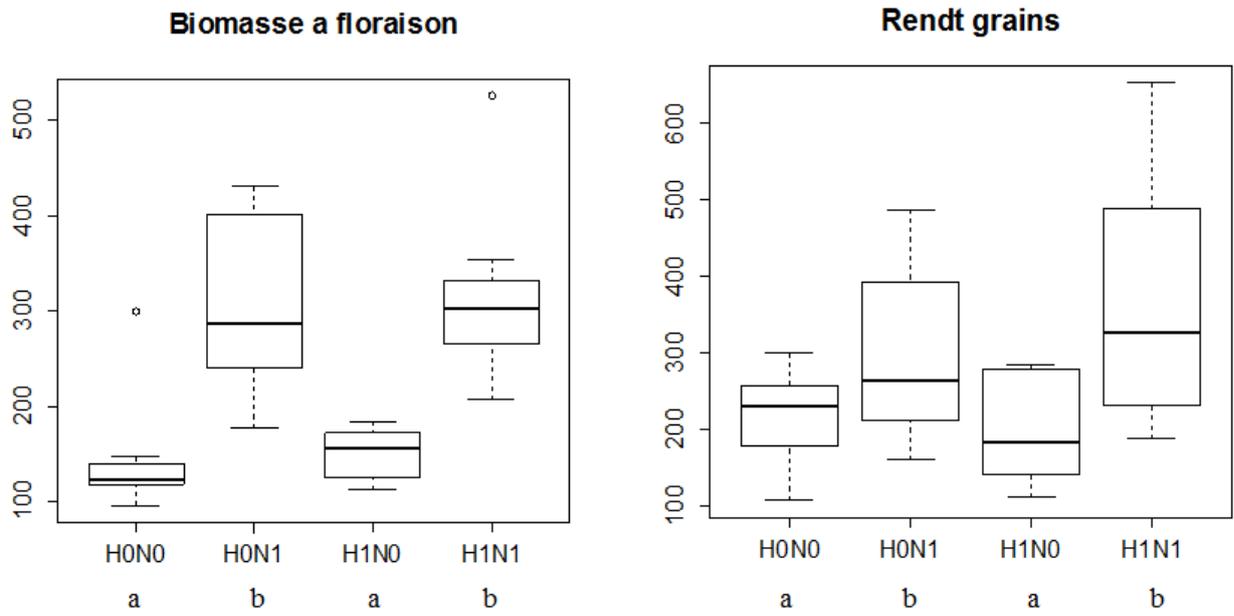


Figure n°16 : Effet des traitements sur le rendement grain et la biomasse à floraison

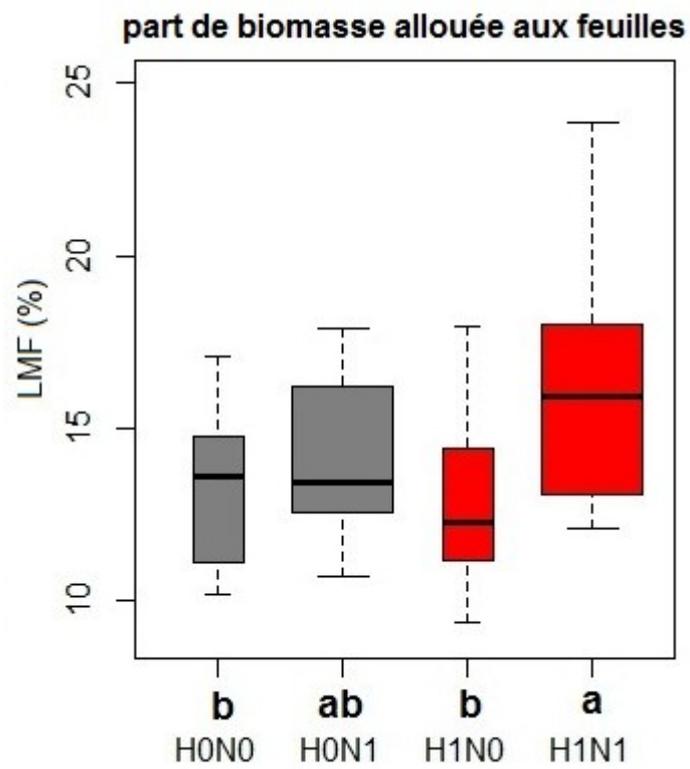


Figure n°17 : Effet des traitements sur la LMF

## 2) Productivité du blé.

Nous considérons ici le rendement en grains, mais nous avons également pris en compte la biomasse à floraison. Pour chacun de ces deux paramètres nous avons fait un modèle avec comme variables explicatives, l'azote, l'herbicide et l'interaction azote\*herbicide.

Nous avons obtenu le tableau suivant :

Modèle	Biomasse à floraison			Rendement		
	$r^2 = 0,63$			$r^2 = 0,26$		
	Df	F ratio	P value	df	F ratio	P value
<b>H</b>	1	0,48	0,496	1	0	0,999
<b>N</b>	1	33,4	<b>&lt; 0,0001</b>	1	4,86	<b>0,038</b>
<b>H*N</b>	1	0,07	0,8	1	0,007	0,933
<b>Erreur</b>	21			22		

Tableau n° 8 : Résultat des différents modèles concernant la biomasse à floraison et le rendement

Les modèles expliquent 63% de la variation de la biomasse à floraison alors qu'il n'explique que 26 de la variation du rendement du blé. On constate qu'il n'existe pas d'effet d'interaction entre l'azote et l'herbicide quel que soit le facteur considéré. On peut donc analyser séparément chaque facteur : azote et herbicide. On constate que l'azote a un effet significatif sur les 2 facteurs alors que l'herbicide n'a aucun effet. La biomasse sèche à floraison et le rendement sont plus importantes lorsque l'on fertilise la culture (Figure n°16). En revanche il ne semble pas y avoir d'effet de l'herbicide.

## 3) LMF (Leaf mass fraction)

Nous avons, pour finir, analysé le ratio biomasse feuille / biomasse totale en fonction traitement à l'aide d'un test de Kruskal-Wallis ( $X^2 = 15.65$ , p-value <0.005) afin de voir s'il y avait un effet du traitement. Ceci permet de conclure qu'au moins un traitement diffère des autres. Nous avons ensuite effectué un test de Kruskal-Wallis à multiples comparaisons et nous avons ainsi pu définir que seul H1N1 est significativement différent de H0N0 et de H1N0 (figure n°17). Dans une étude synthétique sur de nombreuses espèces végétales, Poorter et al. (2012) ont montré que la biomasse allouée aux feuilles augmentait avec la disponibilité en nutriment mais qu'elle diminuait en présence de compétition. On peut penser que le blé répond principalement à l'azote fourni, mais qu'en condition de compétition plus importante avec la communauté adventice (i.e. H0N1), il est également soumis à de la compétition avec ces dernières, l'obligeant à produire également plus de tiges (et indirectement moins de feuilles). Cette compétition n'a pas eu d'effet significatif sur le rendement.

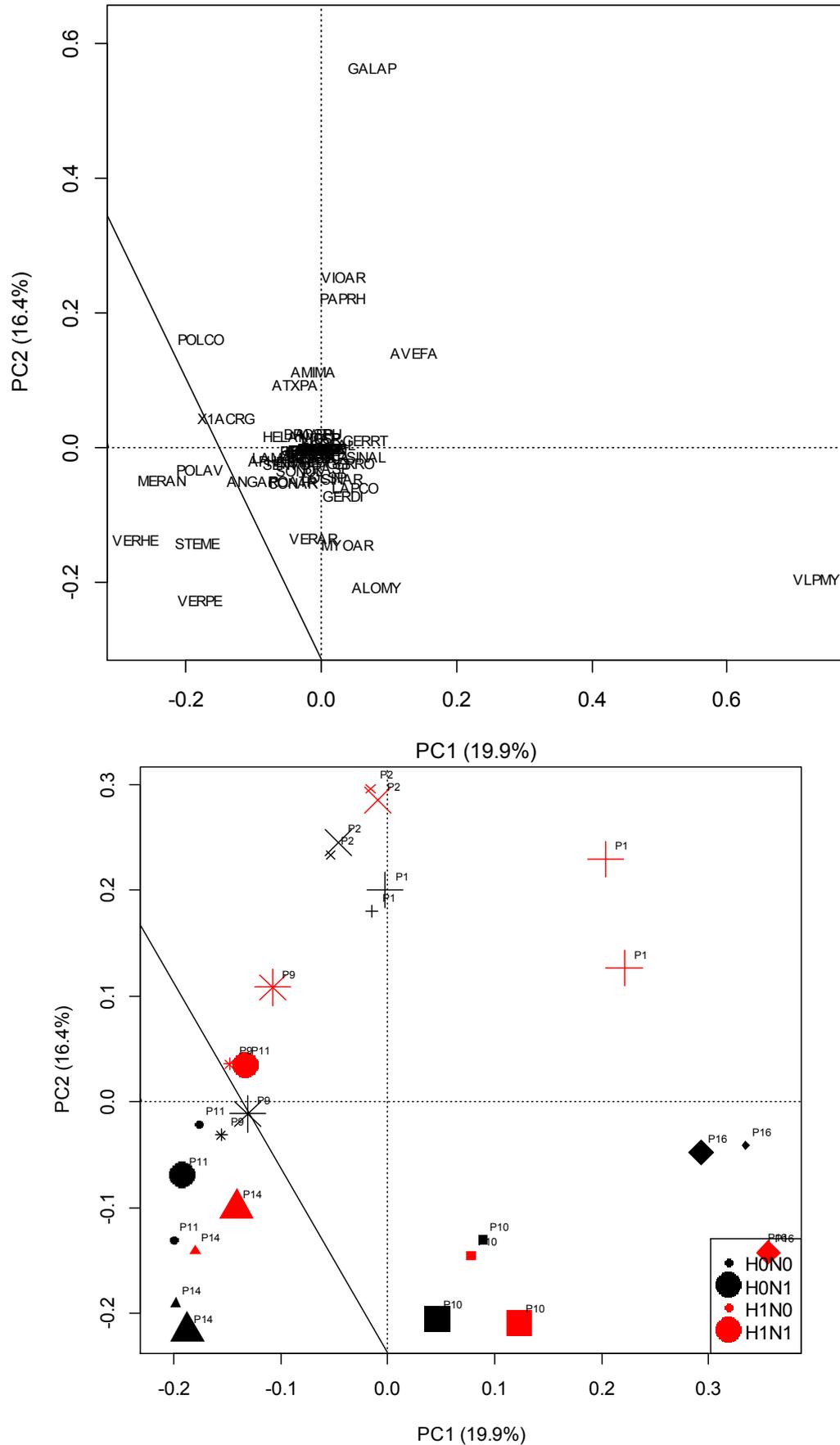


Figure n°18 : Analyse en composante principale sur la taxonomie au stade Z31 du blé

## II) Caractérisation des communautés adventices et effet des traitements.

### *1) Analyse taxonomique*

Nous avons ensuite voulu voir s'il y avait un effet des traitements sur la taxonomie des adventices. Nous avons réalisé des ACP basées sur la distance d'Hellinger pour les trois dates. (Figure n°18, Annexe 3). Les différents symboles représentent les différentes parcelles retenues.

On constate que la parcelle semble être un facteur déterminant dans la composition taxonomique des communautés adventices. Les autres facteurs (herbicide et azote) semblent ne pas avoir d'effet visible sur la composition de la communauté adventice quel que soit la date.

Si on réalise l'analyse RDA, on obtient les résultats présentés dans le tableau suivant, pour les proportions de variation de composition taxonomique expliquées respectivement par la parcelle, le facteur herbicide et le facteur azote.

TAXO			tt parcelles	
Facteur	Condition	Période	Proportion	R <sup>2</sup> ajusté <sup>2</sup>
Parcelle		Mi mars	0,677	<b>0,577</b>
Herbicide	Parcelle		0,024	0,015
Azote	Parcelle		0,008	0,000
Parcelle		Fin avril/Début juin	0,674	<b>0,581</b>
Herbicide	Parcelle		0,042	0,036
Azote	Parcelle		0,011	0,000
Parcelle		Début juillet	0,52	<b>0.393</b>
Herbicide	Parcelle		0,035	0.017
Azote	Parcelle		0,018	0.000

Tableau n°9 : Résultat de la RDA sur la taxonomie des adventices

On peut en conclure que quel que soit la période, l'effet de la parcelle explique au minimum 39% de la variabilité taxonomique au sein de cette expérimentation.

<sup>2</sup> On calcul le r<sup>2</sup> ajusté car on sait que le r<sup>2</sup> augment avec le nombre de variables explicatives donc on va limiter ce biais en utilisant la formule suivante :  $r^2 \text{ ajusté} = r^2 - \frac{k(1-r^2)}{n-k-1}$

Modele	Richesse spécifique		
	$r^2 = 0,33$		
	Df	F ratio	Proba > F
H	1	10.53	0.004
N	1	2.75	0.11
H*N	1	0.012	0.91
Erreur	22		

Tableau n°10 : Effet de l'azote, de l'herbicide et de l'interaction sur la richesse spécifique

Ceci nous montre l'importance des pratiques culturales (variété, précédent cultural, travail du sol, date de semis ; Fried et al., 2008) et est en accord avec Poggio et al. (2004) indiquant que dans un premier temps la composition de la communauté adventice était le fruit des pratiques agricoles et de la succession culturale. Dans un second temps seulement il y a un effet des filtres biotiques et abiotiques. On constate en effet que l'herbicide explique au maximum 3,6% de la variabilité taxonomique alors que l'azote n'explique aucune variabilité. C'est donc très faible et ceci est un premier élément de réponse au fait que l'herbicide n'a pas d'effet sur le rendement. En effet il semble que la taxonomie des communautés est principalement liée à un effet parcelle et non un effet traitement.

Si on réalise un modèle en plaçant la richesse spécifique en facteur expliqué et l'azote, l'herbicide et l'interaction entre ces deux facteurs en variables explicatives, nous obtenons les résultats suivants (Tableau n°10 et figure 18)

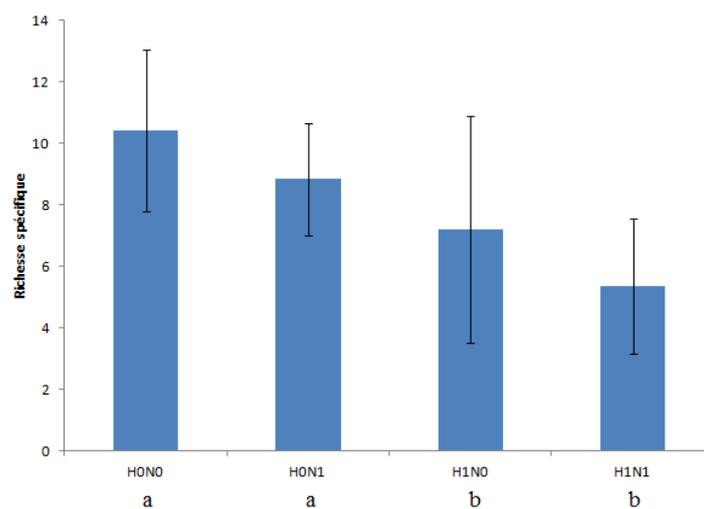


Figure n°18 : Effet des traitements sur la richesse spécifique

Si l'herbicide ne semble pas avoir un effet important sur composition de la communauté adventice, il entraîne tout de même la réduction de la richesse spécifique. Par contre, avec herbicide, il y a une augmentation de la variabilité entre parcelles. Ceci peut s'expliquer par le fait que le traitement va entraîner dans certains cas le maintien d'une seule espèce tandis que dans d'autre cas, après passage d'herbicide, sur le quadrat nous avons trouvé entre 4 et 8 espèces. Cela dépend de la composition de la communauté à la base et surtout du traitement effectué par l'agriculteur qui a pu cibler certaines espèces qu'il a jugé problématique pour sa culture.

PHENO			tt parcelles	
Facteur	Condition	Date	Proportion	R <sup>2</sup> ajusté
Parcelle		Fin mars	0,68	0,58
Herbicide	Parcelle		0,026	0,019
Azote	Parcelle		0,013	0,001
Parcelle		Stade_31	0,65	0,55
Herbicide	Parcelle		0,051	0,052
Azote	Parcelle		0,014	0,001
Parcelle		Debut juillet	0,53	0,39
Herbicide	Parcelle		0,049	0,043
Azote	Parcelle		0,016	0

Tableau n°11 : RDA sur la phénologie pour 3 dates

Modèle	Phéno_stade31		
	r <sup>2</sup> = 0,28		
	Df	F ratio	P value
H	1	6.82	0,016
N	1	0.57	0.460
H*N	1	0,04	0,848
Erreur	22		

Tableau n°12 : Effet des traitements sur la phénologie moyenne

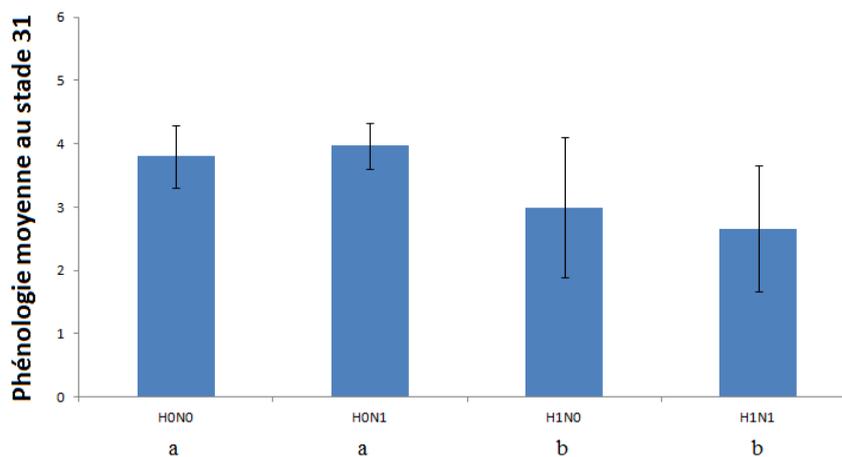


Figure n°19 : Effet des traitements sur la phénologie moyenne au stade 31

## ***2) Analyse phénologique***

Grâce à l'analyse de la structure taxonomique, nous avons observé qu'il y avait un fort effet de la parcelle sur la composition de la communauté adventice. Nous allons dans cette partie comparer l'effet des différents traitements sur la répartition des différents stades phénologiques au sein de la communauté adventices. Tout d'abord, nous avons effectué une RDA par période considérée sur la phénologie observée. Les résultats sont présentés ci-contre (Tableau n°11).

Nous constatons que la parcelle explique au minimum 39% de la phénologie de nos adventices. Ceci peut s'expliquer par des pratiques agricoles variées (date de semis allant du 21/10/2012 au 15/11/2012) et donc des périodes d'émergence et de maintien des adventices décalées en fonction des parcelles. L'herbicide explique entre 2 et 5% de la phénologie alors que l'azote n'explique au maximum que 0.1%.<sup>3</sup> Nous allons nous focaliser sur les relevés au stade 1<sup>er</sup> nœud car c'est à ce moment que la phénologie semble le plus influencé par la fertilisation azoté et la pulvérisation herbicide. D'autre part, nous avons montré précédemment que le stade 1<sup>er</sup> nœud du blé est un stade clé correspondant à sa croissance maximale.

Pour vérifier l'effet des traitements herbicide et azote sur la phénologie des adventices, nous avons réalisé un modèle linéaire avec comme facteur explicatif l'azote et l'herbicide et comme facteur expliqué la phénologie moyenne (les données étant considérées ci-après comme quantitatives).

L'interaction azote\*herbicide ne semble pas avoir d'effet significatif sur la phénologie moyenne des communautés d'adventices (tableau n°12). L'azote ne présente pas non plus d'effet significatif. En revanche, comme attendu, l'herbicide a un effet significatif sur la phénologie moyenne des communautés d'adventices L'herbicide diminue la phénologie moyenne au stade 31 (figure n°19).

---

<sup>3</sup> La faible proportion de variance expliquée est probablement le fait du type de données. Les RDA ne sont pas fondamentalement adaptées à l'analyse de données semi-quantitatives partiellement ordonnées telles que les données de l'échelle phénologique des adventices

Modèle	H moy_stade31		
	$r^2 = 0,29$		
	Df	F ratio	P value
H	1	7.38	0,01
N	1	0.42	0,52
H*N	1	1.16	0,29
Erreur	22		

Tableau n° 13: Résultat du modèle sur la hauteur moyenne

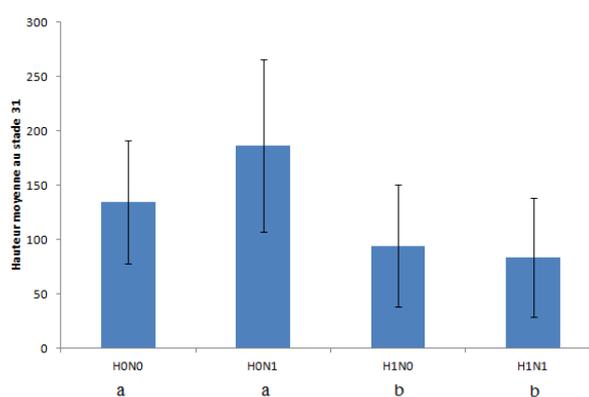


Figure n° 20: Représentation pour chaque traitement de la hauteur moyenne en fonction du traitement

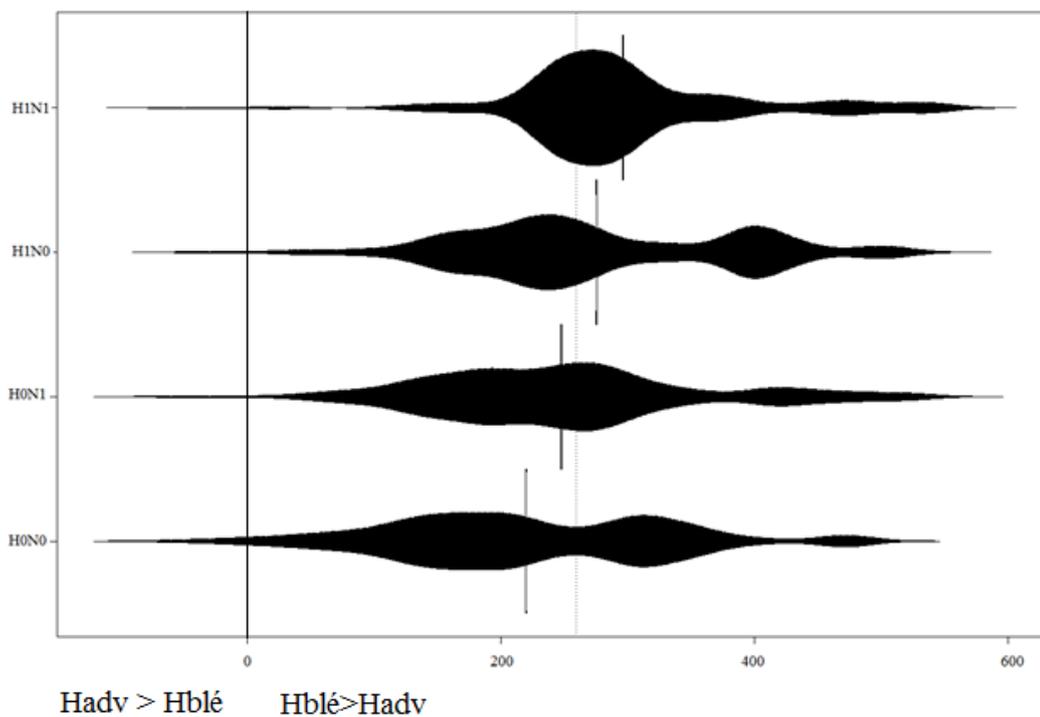


Figure n°21 : Répartition des hauteurs des adventices en fonction du traitement.

### **3) Hauteur**

Comme dans le cas de la phénologie et de l'analyse taxonomique, nous avons effectué un modèle présentant comme facteur explicatif, l'azote, l'herbicide et l'interaction entre les deux sur la hauteur moyenne brute au stade 31 (Tableau n°13)

On constate que la hauteur moyenne des adventices au stade 31 diminue de manière significative avec l'application herbicide (ceci étant probablement dû à un effet indirect d'une différence de phénologie des individus observés). En revanche l'azote n'a pas d'effet significatif sur la hauteur moyenne des communautés d'adventices quel que soit le traitement herbicide (figure n°20).

Au stade floraison, nous avons également étudié l'effet des traitements sur la différence de hauteur calculée avec la formule suivante  $H_{\text{calculé}} = H_{\text{blé}} - H_{\text{adventice}}$ . Nous avons ainsi obtenu la figure ci-contre (figure n°21) qui présente la distribution des hauteurs en fonction des traitements. Il est possible de tirer plusieurs résultats intéressants qui vont appuyer nos précédentes affirmations.

La très grande majorité de nos individus ont des hauteurs inférieures au blé du même traitement et de la même parcelle. Cela peut être une première explication au fait que les herbicides ont peu d'effet sur les masses sèches car on voit que la différence moyenne de hauteur entre le blé et les adventices n'est que peu impacté par l'herbicide. Certaines espèces jugées problématiques comme la folle avoine (AVEFA) ne surplombe le blé qu'à partir de la floraison (Cudney et al. 1991)

Modèle	Biomasse à floraison			Rendement grain		
	r <sup>2</sup> adj= 0.75			r <sup>2</sup> adj= 0.36		
	df	F ratio	Proba > F	df	F ratio	Proba > F
Herbicide	1	0.0006	0.98	1	1.04	0.32
Azote	1	42.62	< 0.0001	1	8.51	0.01
Phéno_moy_31	1	7.41	0.02	1	2.77	0.11
N*phéno_moy	1	4.12	0.06			
H_moy_31	1	3.08	0.10	1	8.15	0.01
Herbicide*H_moy	1	6.91	0.02	1	8.93	0.01
Azote*H_moy	1	3.65	0.07			
Phéno*H_moy				1	4.69	0.04
Azote*Phéno*H_moy	1	5.68	0.03			
Erreur	16			18		

Tableau n°14 : Présentation des modèles explicatifs.

### III) Structuration fonctionnelle des communautés d'adventices et productivité du blé.

Dans cette partie, nous avons mis en relation la structuration fonctionnelle des communautés adventices : phénologie moyenne et hauteur moyenne avec différents paramètres caractérisant le blé : la biomasse à floraison et le rendement en grains.

#### *1) Modèles globaux*

Nous avons obtenu, pour chaque paramètre du blé, le modèle avec l'AIC le plus faible. Les résultats du modèle sont présentés dans le tableau ci-contre (tableau n°14). Ces modèles expliquent 36% de la variabilité pour le rendement en grain et 75% pour la biomasse à floraison.

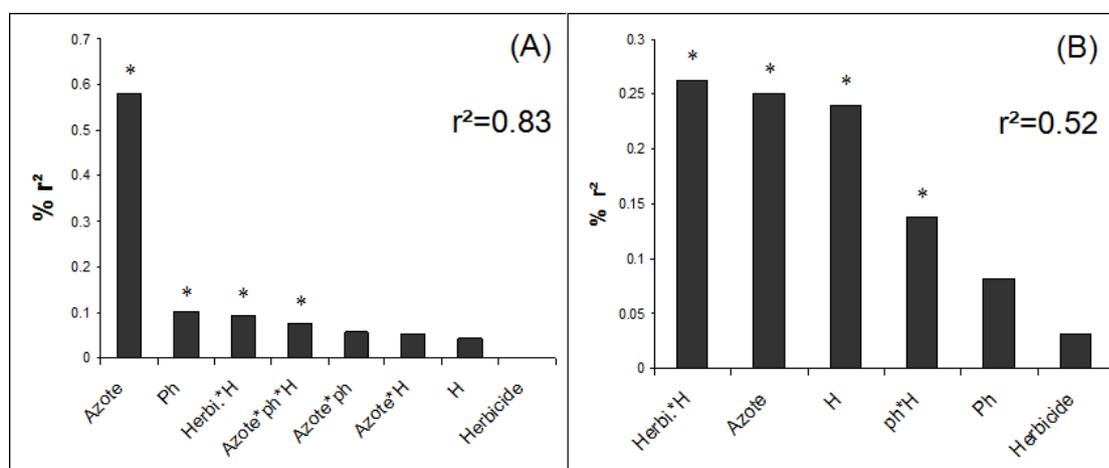


Figure n°22 : Contribution des différents paramètres du modèle au r² de la biomasse à floraison (A) et du rendement en grains (B). H correspond à la hauteur moyenne au stade Z31 et ph correspond à la phénologie à ce même stade. Les \* indiquent les facteurs explicatifs qui ont un effet significatif sur la masse sèche.

On peut constater que l'azote est fortement corrélé à la biomasse à floraison en expliquant près de 60% du modèle. En revanche l'effet de l'azote sur le rendement en grain est nettement plus faible. Il explique à peine 25% du modèle alors que l'herbicide, les traits fonctionnels et leurs interactions expliquent plus de 75% du modèle rendement grain.

L'apport d'azote a donc un fort effet sur la biomasse à floraison. Pour l'élaboration du rendement final l'effet des adventices et leurs interactions avec l'herbicide est plus important que l'effet de l'azote seul.

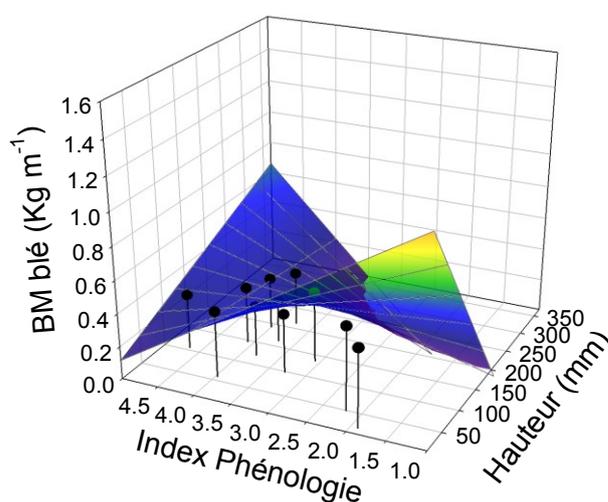


## 2) Valeurs des traits et effet sur la biomasse à floraison et le rendement

### a. Effet de la structuration fonctionnelle des adventices sur la biomasse à floraison

On constate que l'interaction significative la plus complète regroupe l'azote, la hauteur et la phénologie moyenne des communautés d'adventices, on va donc analyser la biomasse à floraison en fonction de ces trois paramètres. Pour cela, nous avons représenté les valeurs prédites par le modèle mis en place ainsi que les points représentatifs pour chaque communauté. Ces derniers vont nous permettre de définir le domaine de validité des modèles (i.e. les zones où l'absence de données empiriques ne permet pas l'interprétation des résultats du modèle). On obtient ainsi les graphiques suivants.

Traitement N0



Traitement N1

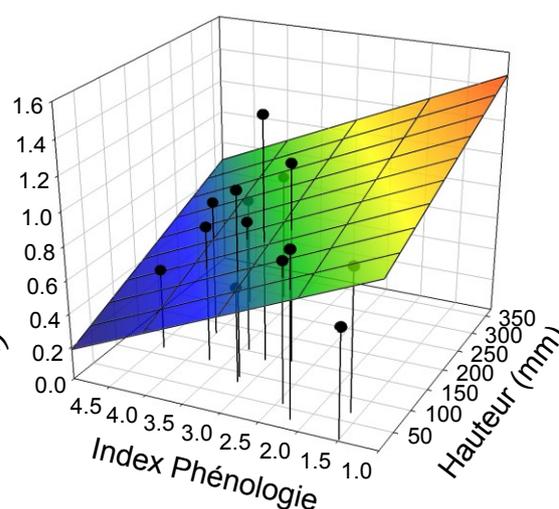


Figure n°23 : Evolution de la biomasse à floraison en fonction de divers traits des communautés d'adventices.

Nous constatons deux stratégies des adventices ayant un impact négatif sur la biomasse du blé à floraison à faible azote. D'une part on peut distinguer les adventices à développement précoce et rapide, mais à faible hauteur tel que les adventices du genre Veronica (VERSP) ou la stellaire (STEME) qui atteignent le stade grenaison très tôt avant la fermeture du couvert et donc peuvent capter l'azote très tôt, entraînant potentiellement un déficit pour le blé. D'autre part, on peut retrouver des espèces présentant des stades phénologiques plus faibles mais des hauteurs nettement plus importantes.



Il s'agit notamment d'espèces mimétiques comme le Vulpin (ALOMY), le gaillet gratteron (GALAP) ou encore l'avoine folle (AVEFA). Ceci peut être dû à deux éléments importants : la lumière et l'azote. Il est en effet possible de supposer que plus ces adventices sont hautes, plus elles possèdent une biomasse élevée et donc plus elles ont absorbé d'azote. Ces dernières peuvent également concurrencer le blé pour la lumière en étant plus haute ou tout du moins aussi haute que la canopée du blé. Sachant que les feuilles réalisant principalement la photosynthèse sont les deux voire trois dernières feuilles, il est possible de supposer que les adventices ont capté une partie de la lumière, réduisant ainsi la production d'assimilats issus de la photosynthèse et donc l'accumulation de biomasse du blé.

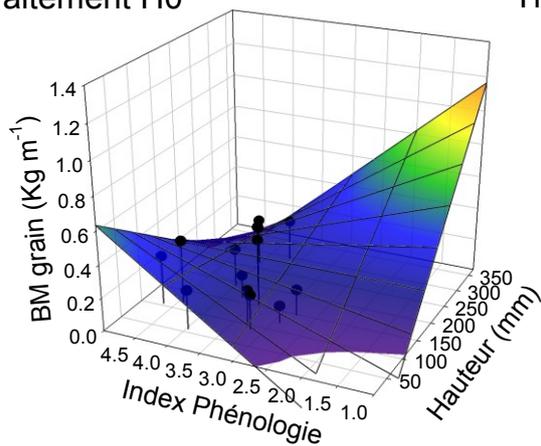
En revanche en conditions d'azote non limitant, seules les espèces à stratégie de développement précoce et rapide ont une influence sur la biomasse à floraison. Il n'y a pas d'effet des adventices mimétique car, à fortes teneur en azote, la hauteur du blé est, de manière significative, plus importante que celles des adventices au stade Z31 (figure n°), et donc la compétition pour la lumière (des adventices vis-à-vis du blé) est presque inexistante.

#### **b. Effet de la structuration fonctionnelle des communautés adventices sur le rendement en grain du blé.**

Nous avons constaté à l'aide de nos modèles que les seules interactions ayant un effet significatif sur le rendement en grains du blé sont : l'application herbicide avec la hauteur et l'interaction phénologie avec la hauteur. L'azote n'a pas d'effet sur les traits fonctionnels mais un effet uniquement sur le rendement en grain du blé comme nous avons pu le voir dans la partie 1 sur l'effet des traitements sur le blé. Nous allons donc dans cette partie étudier l'effet des traits fonctionnels des adventices sur le blé en ne tenant compte que du facteur H.

Grâce à notre modèle nous avons obtenu la figure 24 présente sur la page suivante représentant pour H0 et H1 l'effet des traits fonctionnels sur le rendement en grain du blé.

Traitement H0



Traitement H1

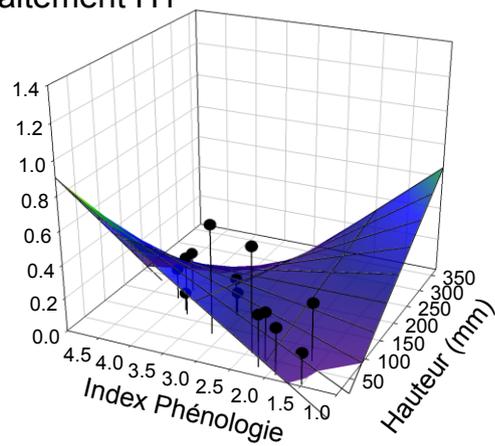


Figure n° 24: Evolution du rendement en grain en fonction de la structuration fonctionnelle des communautés adventices

Nous allons commencer par analyser l'effet des traits fonctionnels des communautés d'adventices dans l'ensemble. En effet pour les deux traitements nous avons des prévisions similaires mais avec des variations plus ou moins importantes. Nous ne prendrons pas en compte l'effet sur le rendement d'espèces avec des phénologies faibles et des hauteurs fortes car nous ne disposons pas de données sur cette zone et donc nous sommes en dehors du domaine de validité de notre modèle.

On peut observer que les espèces précoces n'ont plus d'effet négatif important, voire même un effet positif sur le rendement contrairement aux espèces mimétiques. C'est en corrélation avec les résultats de Wilson, qui a montré que les espèces qui entraient en sénescence au milieu du cycle de développement du blé étaient moins compétitives que les espèces avec un cycle de développement suivant celui du blé. En revanche cette distinction semble plus importante en présence d'herbicide que sans herbicide. Ceci pourrait peut-être s'expliquer par le fait qu'après utilisation d'herbicide, on réduit la densité d'adventices au sein de nos communautés, mais il est possible que l'on augmente la proportion d'espèces mimétiques et donc la nuisibilité de nos communautés.

On peut constater un autre phénomène dans le cas des communautés précoces et rapide. Elles ont un effet négatif sur la biomasse à floraison alors que sur le rendement cet effet n'est plus visible. On ne peut conclure que dans les cas sans azote. En effet à ce niveau nous sommes encore dans le domaine de validité de notre modèle alors qu'avec herbicide il n'y a pas de données disponibles. La présence de compétition précoce avec les adventices semble modifier l'allocation des ressources chez le blé, avec une tendance vers davantage d'investissements vers la production de grains. Ce phénomène s'observe en absence d'herbicide car on a alors une densité adventice élevée et qui se maintient des plantes à émergence automnale qui exercent une compétition aux stades les plus précoces du blé.



Nous avons donc testé la relation en absence d'herbicide entre le ratio grain/biomasse à floraison et le stade phénologique. Nous avons obtenu la figure suivante avec un  $r^2 = 0.52$  et une probabilité de 0,005.

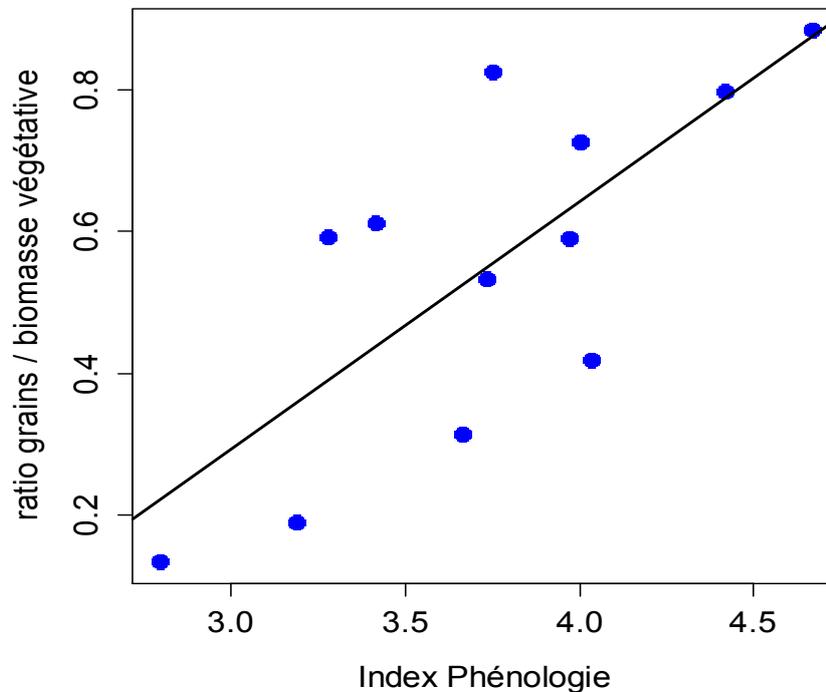


Figure n°25 : Relation entre phénologie des adventices et ratio grain/biomasse végétative

On a donc un effet significatif d'une augmentation de la phénologie sur le ratio grains/biomasse à floraison. Cela signifie que le remplissage des grains est accentué en présence d'adventices précoce. Il existe peut être un mécanisme entraînant chez la plante une stimulation du remplissage des grains lors d'apparition de compétitions précoces.



## **IV) Discussion**

Au cours de ce mémoire, nous nous sommes intéressés à comment deux pratiques agricoles importantes que sont la fertilisation azotée et la pulvérisation herbicide impacte la compétition entre les adventices et le blé. Si l'apport d'azote a un effet très net sur le rendement du blé dans cette expérimentation, c'est principalement car il est insuffisamment disponible comparativement à la demande des plantes en conditions d'absence d'apport. Cette carence azotée est notamment connue comme étant le principal facteur permettant d'expliquer les différences de rendement observées pour une même culture, entre les systèmes en agriculture biologique et ceux en conventionnel, notamment en céréales (Seufert et al. 2012). Cependant, le rendement n'est pas linéairement lié à la seule augmentation d'apports azotés. Tilman (1999) notamment, a montré que pour doubler de la production alimentaire mondiale au siècle dernier, il avait été nécessaire de multiplier la nutrition azotée par sept.

Sachant l'augmentation de la population attendue par les Nations Unis (9 milliards en 2050 comparativement aux 6 milliards en 2000), il est impératif de s'attendre à une augmentation de la demande alimentaire. De plus, d'autres préoccupations, notamment environnementales, s'avèrent actuellement importantes à prendre en compte. Ainsi, l'utilisation massive de fertilisants azotés a un impact environnemental négatif non négligeable sur la diversité (bactérienne, animale et végétale) et le fonctionnement des écosystèmes non-agricoles voisins (Wallsgrove et al., 1983; Cassman et al., 2003; Hirel et al., 2007). Par exemple, le lessivage de l'azote suite à l'apport de taux fortement surestimés de fertilisants azotés appliqués en champs (Tilman, 1999) a parfois été la cause d'une eutrophisation de l'eau douce (Giles, 2005) et des modifications des écosystèmes marins (Beman et al., 2005). La sur-fertilisation entraîne également des émissions gazeuses d'ammoniac et d'oxydes d'azote, responsables d'une pollution de l'air (Stulen et al., 1998). De plus, l'azote est une ressource partagée par les pathogènes et leur plante hôte. Des teneurs en azote foliaires élevées favorisent le développement de certaines maladies, comme la rouille brune (*Puccinia triticina*) ou la septoriose (*Septoria tritici* ; Leitch and Jenkins, 1995) chez le blé d'hiver. La sur-fertilisation entraîne donc une augmentation de l'usage des pesticides (Bertheloot, thèse, 2009). Il est donc important de trouver des alternatives à l'augmentation des apports azotés. Il semble intéressant d'insérer des légumineuses dans la rotation pour bénéficier d'un effet positif en termes d'azote sur les cultures suivantes (Cohan et al. 2010).



Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés plus précisément aux adventices et à leurs effets sur deux périodes clés du cycle cultural du blé (à floraison et à récolte). L'herbicide post-levée ayant pour principal objectif la gestion des adventices de la cohorte automnale - parmi lesquelles un certain nombre d'espèces considérées comme des compétiteurs importants du blé – les principaux attendus sur l'effet des herbicides (phénologie plus tardive et hauteur plus faible) ont été observés dans cette expérimentation.

Compte tenu de ces analyses, il serait possible de s'attendre à ce que le passage d'herbicide améliore, quoique dans une moindre mesure, le rendement du blé, du fait d'une compétition moindre. Ceci serait en relation avec les attendus développés par Violle et al. (2009) pouvant se résumer ainsi « La performance de croissance d'une plante est inversement corrélée à la hauteur des communautés voisines ». Cette vision basée sur la mesure de traits fonctionnels permettrait notamment une bonne estimation de la compétition pour la ressource lumineuse. Cependant, dans notre cas, le rendement ne semble que très marginalement dépendant de la pulvérisation herbicide voir indépendant.

Cette conclusion masque cependant de nombreux points à ne pas négliger pour l'interpréter : Tout d'abord, la spécificité des herbicides appliqués par chaque exploitant n'est pas immédiatement comparable, aussi la compétition n'est pas limitée dans chaque parcelle par la pulvérisation malgré un effet significatif global sur la taille et la phénologie des adventices. De plus, certaines espèces non gérées par l'herbicide appliqué (notamment des Poacées) ont pu proliférer et entraîner une perte nette de rendement, même dans les zones où la pulvérisation a bien eu lieu. Ensuite, la banque de graines de chaque parcelle, mémoire des gestions des années précédentes de la flore adventice, n'est probablement pas comparable, ceci pourra être estimé à la suite de mon stage du fait de collecte d'échantillon de sol et de mesures de la flore levée en absence de culture. Enfin, la densité d'adventices pouvant entrer en compétition avec la culture dépend, et ce de manière non négligeable, des caractéristiques de cette culture, notamment la variété (Korres & Froud-Williams 2002), la densité de semis, la différence entre la date de semis de la culture et la période d'émergence majoritaire des adventices (Martin & Field 1988) ou encore la taille de l'inter-rang (Stahlman & Miller 1990).

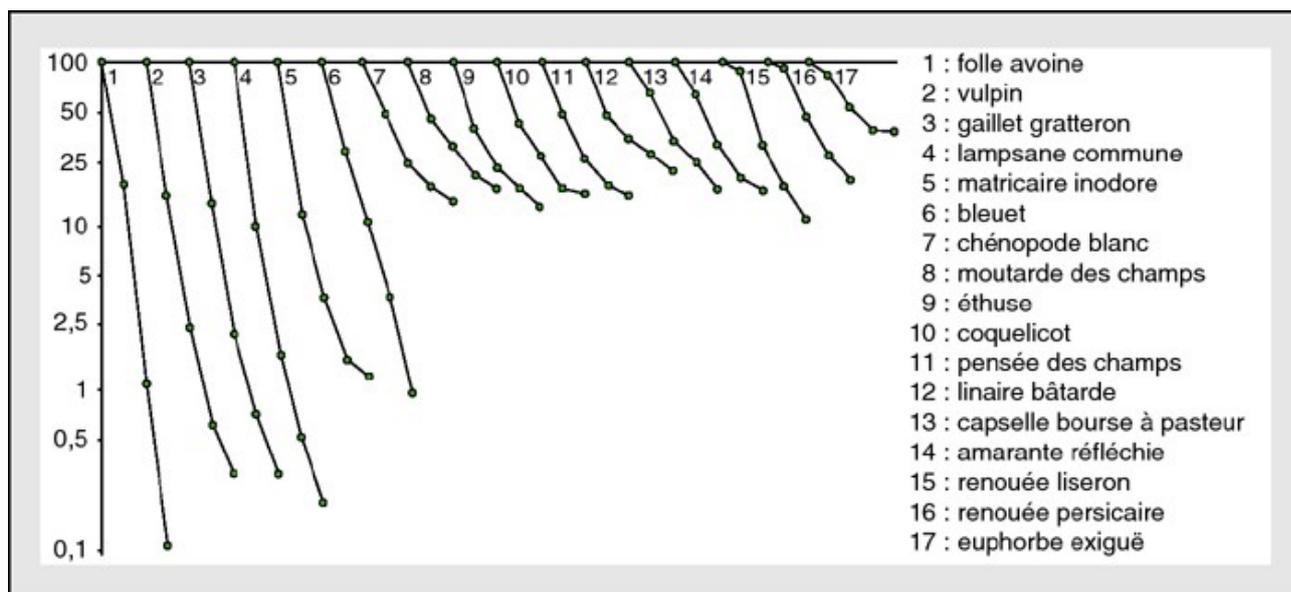


Figure n°26 : Evolution de la viabilité du stock semencier pour différentes adventives (Chadoeuf et al., 1984)

Cependant, l'effet herbicide n'étant pas significatif sur le rendement dans un certain nombre de parcelles, il est possible de tirer plusieurs éléments importants pour envisager la réduction de l'utilisation d'herbicide, objectif du plan Ecophyto: Tout d'abord, le blé serait une culture suffisamment compétitrice vis-à-vis des adventices pour supporter une impasse herbicide une année (Blackshaw, 2006) Il existe des variétés plus ou moins compétitives en fonctions de leurs vitesses de croissances et de leurs hauteurs, paramètres entraînant une plus forte compétition pour les ressources vis-à-vis des adventices. Ceci constituerait une première piste pouvant permettre de réduire l'utilisation des herbicides. Ensuite, dans un certain nombre de parcelles, la banque de graines adventices serait suffisamment limitée en espèce problématique du fait d'une gestion efficace des adventices les années précédentes pour que la densité d'adventice levée soit assez faible une année donnée pour ne pas causer de nuisibilité directe. Enfin, il est également possible de réduire l'utilisation d'herbicide par des leviers agronomiques. On peut penser à un allongement des rotations avec une alternance culture de printemps, culture d'hiver afin de briser le cycle des adventices, ceci empêchant le maintien et l'expansion d'espèces à périodes d'émergence ciblées sur le cycle cultural de cultures particulières. De plus certaines adventices, comme le gaillet, la folle avoine, le vulpin présentent des viabilités dans le sol plus ou moins longues (Figure 26 ci-contre ), il pourrait donc être intéressant de revenir à des pratiques moins simplifiées une année sur deux ou trois pour enfouir les graines et ainsi réduire les levées potentielles de ces adventices . Toutes les déclinaisons du travail du sol (notamment labour ou l'utilisation de faux semis), n'ont pas été pris en compte dans ce mémoire mais ils représentent de précieux leviers de gestion d'espèces adventices problématiques.

En revanche en mettant en lien structuration fonctionnelle des communautés adventices et production du blé, il est possible de suggérer que les communautés ayant des effets au moment de la floraison de la culture n'étaient pas nécessairement les mêmes que celles influençant le rendement. Les espèces adventices à émergence précoce semblent influencer les paramètres du blé à floraison. Elles constituent la principale cible des herbicides de post-levées. Cependant, on remarque qu'elles pourraient présenter un rôle positif sur le rendement si on ne les détruit pas.



On observe en effet une diminution de la biomasse végétative du blé en présence d'adventices précoces mais dans le même temps une stimulation de la production de grain (figure n°24). Plusieurs pistes peuvent être envisagées pour expliquer cet effet inattendu : Tout d'abord, ces espèces sont principalement des plantes rampantes, aussi ne peuvent-elles pas être considérées comme de réels compétiteurs pour la lumière vis-à-vis du blé dès le début d'élongation de la plante. Ensuite, ces espèces se développent dès le semis du blé (tandis que les espèces à stratégies mimétiques présentent en général un pic d'émergence légèrement décalé par rapport à la culture) et leur phénologie est plus courte que celle de la culture. Enfin, il est possible de suggérer que ces espèces n'entrent pas en compétition avec le blé lors de la fin de l'élongation puis la floraison du blé, période clé de constitution du rendement, est-ce du fait d'un décalage à la fois temporelle (le cycle de développement de ces espèces étant plus rapide) et spatial (ces espèces étant majoritairement rampantes et connues pour leur tolérance à l'ombrage).

Cette hypothèse nécessite cependant d'être affinée à l'aide d'autres mesures, prenant en compte les paramètres d'interceptions lumineuses (données de PAR) et certains traits mesurés au cours de l'expérimentation connus pour être liés aux processus d'acquisition des ressources (tel que  $[N]$ /biomasse de la plante, le SLA ou encore la surface foliaire totale), ainsi que le caractère nécessairement dynamique des processus de compétition entre plantes (Craine et al. 2013 ; Trinder et al. 2013).

Un suivi plus fin des processus de compétition pourrait s'appuyer sur le suivi de l'interception lumineuse. Or, nous avons vu que le PAR différentiel est corrélé au recouvrement total et non au recouvrement du blé ou au recouvrement de la communauté adventice. Aussi, cette méthode de mesure nécessite d'être affinée. Cudney et al. (1991) ont mis en évidence, en prenant l'exemple de la folle avoine et du blé tendre d'hiver, que les adventices pouvaient réduire l'interception lumineuse de la canopée et donc la croissance du blé tendre. Pour cela il était nécessaire qu'une partie de la canopée de l'adventice soit plus haute que le blé, et donc intercepte la lumière. Pour avoir une bonne idée de la compétition pour la lumière captée, une méthode plus efficace serait de mesurer le PAR à différentes hauteurs, afin d'obtenir une courbe graduelle d'interception. Cela nous aurait permis de mieux cerner la compétition pour la lumière. Il aurait également été préférable de faire une seconde mesure de PAR différentiel entre le haut et le bas de la canopée de la culture afin de connaître le pourcentage de lumière captée par la canopée du blé et par les adventices présentes dans cette même strate.



Nos résultats ne montrent pas d'impact de l'absence de gestion chimique des adventices sur le rendement d'une année, mais ceci ne permet néanmoins pas de conclure à l'inutilité des traitements herbicides. En effet il est nécessaire de distinguer deux aspects dans la nuisibilité des adventices, la nuisibilité directe et la nuisibilité indirecte. Si on arrête le désherbage, on risque de favoriser la production de semences des individus et la croissance démographique des populations et donc pour les cultures suivantes d'affecter le rendement. De plus traiter sur blé peut permettre de réduire certaines populations dont il sera difficile de se débarrasser dans d'autres cultures comme le colza ou le maïs par exemple. Il est nécessaire de poursuivre cette étude sur plusieurs années mais également de suivre aussi les parcelles traitées cette année afin de voir l'effet de nuisibilité indirecte.



## Conclusion

La compréhension des relations entre la communauté adventices et le blé est un élément important pour l'agriculture de demain. En effet celle-ci doit prendre en compte les attentes sociétales en termes de protection de l'environnement. De nombreuses études se basent sur la nuisibilité directe des différentes espèces en mono spécifiques. Dans notre cas, pour mieux se confronter aux effets des pratiques agricoles des agriculteurs: fertilisation et herbicide, nous avons mené une expérience en plein champs. Nous avons ainsi suivi 7 parcelles tout au long du cycle de développement du blé. Pour limiter l'effet taxonomique des adventices, nous avons choisit d'analyser la structuration fonctionnelle de nos communautés en nous basant sur deux traits facilement quantifiables : la phénologie et la hauteur.

Pour commencer nous avons analysé l'effet des pratiques sur le blé et pu en conclure que l'azote avait un effet significatif sur le blé en augmentant sa biomasse, sa hauteur ainsi que sa vitesse de croissance. En revanche l'herbicide n'a pas d'effet direct significatif sur ces paramètres. On peut donc penser que pour augmenter la production de blé il suffit de fertiliser plus. Le problème est que l'on s'expose à des effets sur d'autres parasites non étudiés ici et donc à une augmentation de la quantité de pesticides employée.

Au niveau des traits fonctionnels des adventices, l'herbicide a un effet significatif sur la structuration fonctionnelle des communautés en diminuant la hauteur et la phénologie des adventices. Nous avons cependant pu constater que certaines espèces passaient au travers de ce filtre abiotique.

En modélisant l'effet de la structuration fonctionnelle des adventices sur le rendement et la biomasse à floraison, nous avons constaté des effets opposés sur ces deux paramètres du blé. Les communautés qui sont à des stades élevés et de petites tailles au moment du pic de croissance du blé ont un effet négatif fort sur la biomasse à floraison mais semblent avoir un effet positif sur le rendement. Les communautés avec des tailles moyennes et des phénologies moyennes présentent peu d'effet sur la biomasse à floraison et un effet négatif sur le rendement. Ce dernier est encore plus visible en présence d'herbicide. On a vu que ceci pouvait s'expliquer par une augmentation du ratio grain/biomasse à floraison donc que l'on augmente le transfert des ressources vers les grains de blé du fait du stress précoce.

Nous pouvons donc en conclure que la structuration fonctionnelle des adventices à un effet sur le blé et que les adventices préoccupantes au moment de la floraison ne sont pas celles qui influencent négativement le rendement. Il faut donc raisonner l'utilisation d'herbicide en ciblant les espèces mimétiques et en utilisant des leviers agronomiques pour limiter leurs développements.



### Perspectives :

Un des problèmes majeurs est le faible nombre de parcelles présentant un design réalisé de manière optimale (5/16). Une des remarques principales des agriculteurs à ce sujet vient du fait que les indications sur le terrain n'étaient pas suffisamment claires et les limites de traitements difficiles à respecter précisément, notamment en fin de saison du cycle cultural. C'est un point qu'il faudra améliorer les années futures pour augmenter le nombre de parcelles retenues.

De plus nous nous sommes limités cette année à l'effet des herbicides et de l'azote sur les communautés adventices présentes en bord de champ. Or cette zone ne représente qu'une faible surface de la parcelle et donc de la production de grain. Il serait donc intéressant de voir l'effet dans le centre de la parcelle pour pouvoir juger de l'arrêt des herbicides sur la structuration fonctionnelle des adventices en conditions standards.

De plus, nous avons eu des conditions particulières cette année en termes de températures et surtout de précipitations qui ont eu une influence sur le rendement du blé avec une augmentation par rapport à la moyenne des 5 années précédentes. Il serait intéressant de refaire cette expérimentation sur plusieurs années afin d'augmenter le nombre de cas et donc de pouvoir tirer des résultats plus conséquents et généralisables voir de manipuler expérimentalement la ressource hydrique.

Nous nous sommes intéressées à l'effet des adventices sur le blé mais il faut savoir qu'il y a interaction entre l'ensemble des plantes. Aussi, une analyse intéressante serait de quantifier l'effet de la culture en la retirant et en analysant à nouveau la structuration adventice.

De même, l'effet des variétés sur la structuration fonctionnelle des communautés adventices pourrait également être une question de recherche intéressante.



## **Table des annexes**

Annexe n°1 : Stade de développement du blé

Annexe 2 : Fertilisation azotée

Annexe 3: Désherbage de post-levée de printemps

Annexe n°4 : Résultats des ACP sur la taxonomie des adventices au stade 31

Annexe n°5 : Valeurs des différents paramètres du modèle logistique



## **Annexe n°1 : Stade de développement du blé**

### **La germination et la levée**

Au début de la germination, la semence de blé est sèche. Après humidification, il sort une radicule (première petite racine), puis un coléoptile. Une première feuille paraît au sommet du coléoptile. La levée commence quand la plantule sort de terre et que la première feuille pointe au grand jour son limbe.

### **Le stade 3 feuilles**

Le stade 3 feuilles est une phase repère pour le développement du blé. Des bourgeons se forment à l'aisselle des feuilles et donnent des pousses appelées talles. Apparaissent alors, à partir de la base du plateau de tallage, des racines secondaires ou adventives, qui seront à l'origine de l'augmentation du nombre d'épis.

### **Le tallage**

Le tallage commence à la fin de l'hiver et se poursuit jusqu'à la reprise du printemps. Il est marqué par l'apparition d'une tige secondaire, une talle, à la base de la première feuille.

### **La montaison**

Au sommet du bourgeon terminal se produit le début du développement de l'épi. Parallèlement, on assiste à l'allongement des entrenœuds. Le stade « épi à 1 cm » du plateau de tallage est caractérisé par une croissance active des talles.

### **L'épiaison**

L'épiaison se produit quand la gaine éclatée laisse entrevoir l'épi qui va s'en dégager peu à peu (on parle de gonflement). Pour les variétés barbues, c'est le moment où apparaissent les extrémités des barbes à la base de la ligule de la dernière feuille. Avant l'apparition de l'épi, on note un gonflement de la gaine.

À ce stade, le nombre total d'épis est défini, de même que le nombre total de fleurs par épi. Chaque fleur peut potentiellement donner un grain. Il est possible que certaines fleurs n'en donnent jamais en raison de déficit de fécondation par exemple.



### **La floraison**

La floraison s'observe à partir du moment où quelques étamines sont visibles dans le tiers moyen de l'épi, en dehors des glumelles. Quand les anthères apparaissent, elles sont jaunes ; après exposition au soleil, elles deviennent blanches.

### **La formation du grain**

Le cycle s'achève par la maturation qui dure en moyenne 45 jours. Les grains vont progressivement se remplir et passer par différents stades tels que les stades laiteux, puis pâteux, au cours desquels la teneur en amidon augmente et le taux d'humidité diminue. Durant cette phase, les réserves migrent depuis les parties vertes jusqu'aux grains. Quand le blé est mûr, le végétal est sec et les graines des épis sont chargées de réserves.



## **Annexe 2 : Fertilisation azotée**

Si pour la potasse et la chaux c'est durant la période végétative que les besoins sont élevés, pour le phosphore et surtout l'azote, les besoins sont régulièrement répartis et intenses. Et puisque l'azote est le moteur du rendement, la fumure azotée sera calculée en fonction de l'objectif de rendement et fractionnée en plusieurs apports.

### **DÉTERMINATION DE LA DOSE TOTALE**

- Faire le choix d'un objectif de rendement. En déduire le besoin total d'azote qui dépend des variétés (proches de 3 unités par quintal).
- Déterminer l'azote fourni par le sol.
- Soustraire les fournitures du sol des besoins du blé. Faire ce calcul juste avant le 2ème apport.

### **LE PREMIER APPORT AU TALLAGE**

Il est destiné à conduire la végétation du blé pour obtenir le nombre optimum de pousses à la fin du tallage. L'azote agit sur le nombre de talles formées ainsi que sur la hauteur de paille en favorisant l'allongement des entre-nœuds.

La date d'apport dépend souvent de la portance du sol. Il faut intervenir dès l'apparition de la première talle pour les semis tardifs ou dès que possible pour les semis précoces.

Durant le tallage, les besoins en azote du blé sont faibles : de l'ordre de **50 kg/ha**. Il ne faut pas hésiter à apporter 10 à 20 U supplémentaire en cas d'apport avec des solutions azotées

### **LE DEUXIÈME APPORT AU DÉBUT MONTAISON**

Il doit assurer l'alimentation en azote du blé, sachant que les besoins deviennent très importants dès le stade "**épi à 1 cm**", et que toute carence en azote à partir de ce stade entraîne une chute de rendement. Il faut donc faire un apport à ce stade avec des engrais à actions (donc nitriques ou ammoniacaux-nitriques).

### **APPORTS TARDIFS : MONTAISON OU FIN MONTAISON**

#### **A - POUR ÉVITER UN SECOND APPORT MASSIF**

L'apport tardif est une partie du 2ème apport. Le fractionnement permet d'améliorer la résistance à la verse et l'état sanitaire. Mais il faut savoir qu'au-delà du stade gonflement la perte de rendement va de 2 à 5 q/ha.



STADE : lorsque la dernière feuille est visible sur 50% des tiges et encore enroulée c'est-à-dire 3 à 4 semaines après le stade épi à 1 cm. Ce dernier se trouve à environ 15 cm dans la gaine.

DOSE : dernier tiers du second apport, les deux premiers tiers étant apportés au stade épi à 1 cm. Préférer les engrais solides pour éviter les brûlures.

### **B - POUR ENRICHIR LE GRAIN EN PROTÉINE**

Pour produire un blé panifiable riche en protéines, le fractionnement de l'azote en 3 apports devient incontournable. L'apport tardif avant gonflement (de 2 noeuds à sortie de la dernière feuille), permet d'augmenter la teneur en protéines de 0,25% en moyenne.

STADE : lorsque ligule et oreillettes de la dernière feuille sont visibles sur 50% des tiges c'est-à-dire 6 semaines après le stade épi 1 cm. Ce dernier est à environ 30-40 cm dans la gaine.

DOSE : 40 u/ha prises sur le 2ème apport. Employer uniquement des engrais solides.



### **Annexe 3: DESHERBAGE DE POST-LEVÉE DE PRINTEMPS**

Le désherbage chimique est une technique culturale complémentaire à d'autres techniques de l'itinéraire afin de réaliser un système de culture optimisé par rapport aux objectifs de l'agriculteur. La décision de traiter, principalement sa rentabilité, doit être guidée par la prise en compte de deux facteurs:

- des levées sont-elles observées ?
- celles-ci entraîneront-elles une nuisibilité à court ou long terme (Caussanel 1989 pour plus de détails)?

#### **NATURE ET STADE DE LA CEREALE**

Le blé d'hiver est assez tolérant à l'ensemble des produits.

En ce qui concerne le stade, la majorité des herbicides sont utilisables du stade 3 feuilles à 1-2 nœuds (Z13 à Z32), et ils possèdent une sélectivité satisfaisante. En outre, lorsque l'application se trouve différée par rapport à la période préconisée, les produits peuvent être agressifs vis-à-vis de la culture et ainsi occasionner des pertes de rendement, la céréale disposant d'un délai trop court pour récupérer.

#### **NATURE ET STADE DES ADVENTICES**

Dans le cas des graminées la notion de densité est importante du fait de leur faculté de tallage.

Stade	Plantule	Plante jeune	Plante développée
	2 cotylédons + 1 feuille	Tige avec 4-5 F ou rosette complète	Rosette finie ou tige avec feuilles et fleurs
Herbicide	Très sensible	Difficile	Très difficile

#### **AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DU DESHERBAGE DE POST-LEVÉE**

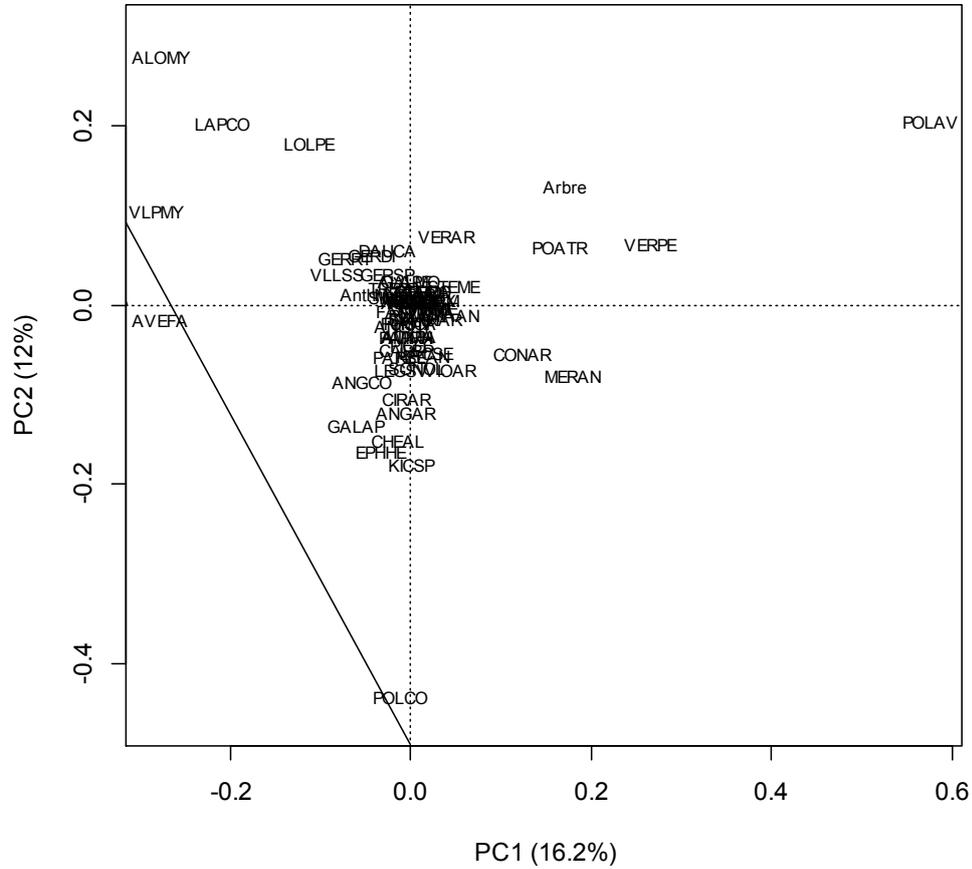
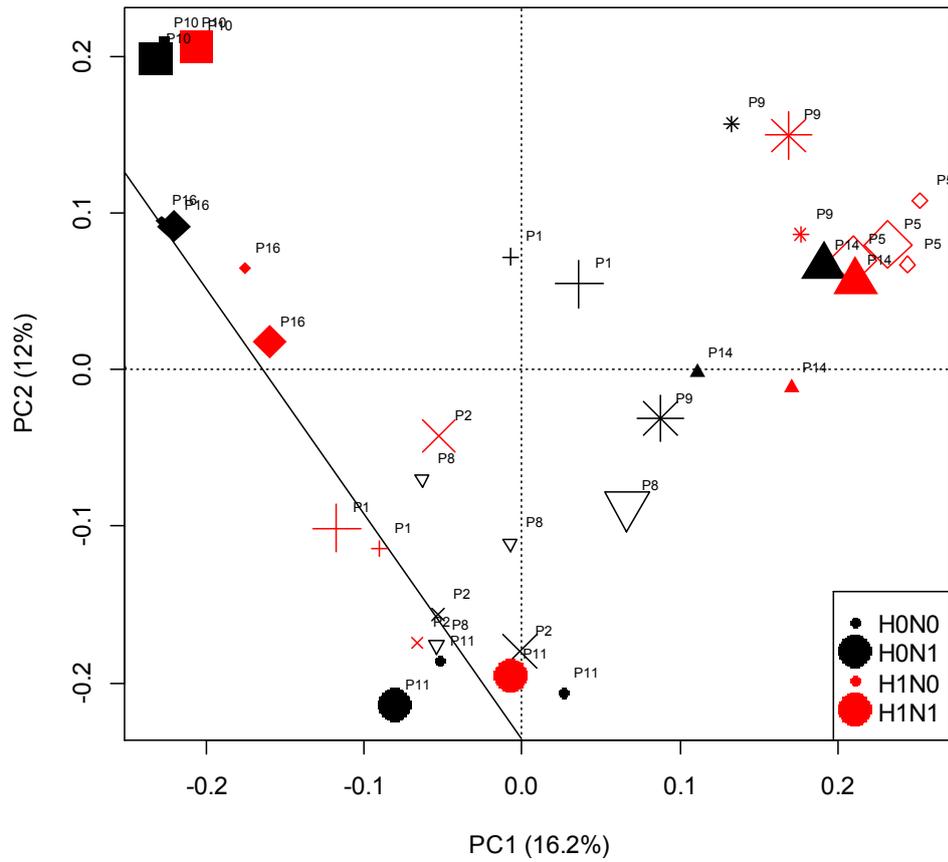
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>• adapté aux mauvaises herbes présentes et à l'intensité de l'infestation.</li><li>• traitement anti-G et anti-D en un seul passage.</li><li>• période de traitement plus longue qu'en pré-levée.</li><li>• permet un rattrapage de pré-levée.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• les conditions climatiques ne permettent pas toujours l'accès à la parcelle.</li><li>• pas de rattrapage possible en cas d'échec.</li><li>• sur semis très précoce la culture est restée sale l'hiver.</li><li>• si phytotoxicité, le temps de récupération est très court.</li><li>• problème de disponibilité en temps à cause d'autres travaux.</li></ul>







## 2) ACP taxonomie début juillet





*Annexe n°5 : Valeurs des différents paramètres du modèle logistique*

<i>Traitement</i>	<i>Hmax</i>	<i>V</i>	<i>S</i>	<i>Traitement</i>	<i>Hmax</i>	<i>V</i>	<i>S</i>
<i>H1N0C1 P1</i>	89,48	0,004922	1014,51	<i>H0N0C1 P1</i>	76,78	0,004358	1042,99
<i>H1N0C1 P10</i>	80,14	0,004191	1043,73	<i>H0N0C1 P10</i>	81,67	0,004611	1056,92
<i>H1N0C1 P14</i>	73,93	0,004891	1194,75	<i>H0N0C1 P11</i>	73,32	0,003910	980,68
<i>H1N0C1 P16</i>	58,23	0,003835	910,85	<i>H0N0C1 P14</i>	79,50	0,005561	1161,73
<i>H1N0C1 P2</i>	86,24	0,005442	783,48	<i>H0N0C1 P16</i>	61,04	0,003110	1037,78
<i>H1N0C1 P9</i>	90,76	0,004537	965,94	<i>H0N0C1 P2</i>	85,68	0,005302	768,40
<i>H1N1C1 P1</i>	91,67	0,005906	1011,59	<i>H0N0C1 P9</i>	84,15	0,004360	962,61
<i>H1N1C1 P10</i>	91,26	0,004855	1049,00	<i>H0N1C1 P1</i>	93,43	0,005803	989,02
<i>H1N1C1 P11</i>	81,29	0,005806	892,87	<i>H0N1C1 P10</i>	90,27	0,005688	1031,79
<i>H1N1C1 P14</i>	72,70	0,005788	1173,59	<i>H0N1C1 P11</i>	80,06	0,005652	890,28
<i>H1N1C1 P16</i>	71,79	0,005736	940,71	<i>H0N1C1 P14</i>	78,50	0,005316	1154,13
<i>H1N1C1 P2</i>	98,14	0,004740	840,17	<i>H0N1C1 P16</i>	76,48	0,005849	949,18
<i>H1N1C1 P9</i>	93,37	0,005372	963,72	<i>H0N1C1 P2</i>	93,46	0,005080	808,21
				<i>H0N1C1 P9</i>	97,34	0,004644	958,74



## Bibliographie

Alkämper, J. (1976). Influence of weed infestation on effect of fertilizer dressings. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 29, 191-235

Arvalis Institut du végétal, (2013), « les fiches variétés blé tendre » [en ligne] (page consultée le 20 août 2013). [www.fiches.arvalis-infos.fr](http://www.fiches.arvalis-infos.fr),

Austin, M.P., Smith, T.M.(1989). A new model for the continuum concept. *Vegetatio*,83,35-47.

Bagavathiannan, M.V., Norsworthy, J.K., (2012). Late-Season Seed Production in Arable Weed Communities: Management Implications, *Weed Science*

Berkowitz, A.R. (1988). Competition for resources in weed-crop mixtures. In *Weed Management In Agroecosystems:Ecological Approaches*, ed. M.A. Altieri & M. Liebman, pp. 89-120. Boca Raton, FL:CRC Press.

Blackshaw, R. E., R. N. Brandt, H. H. Janzen, T. Entz, C. A. Grant, and D. A. Derksen. 2003. Differential response of weed species to added nitrogen. *Weed Sci.* 51:532–539.

Carlson, H.L., & Hill, J.E. (1985). Wild oat (*Avena fatua*) competition with spring wheat effect of nitrogen fertilization, *Weed Science*, 34, 153-165.

Caussanel, J.P. (1989). Nuisibilité et seuils de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle: situation de concurrence bispécifique. *Agronomie*, 9, 219-240.

Chadoeuf, R., Barralis, G., Lonchamp, J.P. (1984). Evolution du potentiel semencier de mauvaises herbes annuelles dans un sol cultivé. VIIIème colloque international sur la biologie, l'écologie et la systématique des mauvaises herbes, PARIS

Cohan, J.P., Pierson, P., Messmer, Y. (2010). Blé tendre d'hiver : des couverts de légumineuses pour limiter la dépendance aux engrais minéraux azotés ? *Perspectives Agricole* 370, 55-58.

Cordeau, S., Petit, S., Reboud, X., Chauvel, B., 2011. Sown grass strips harbour high weed diversity but decrease weed richness in adjacent crops. *Weed Research* 52, 88-97.

Craine, J.M., & Dybzinski, R. (2013). Mechanisms of plant competition for nutrients, water and light. *Functional Ecology*, 27, 833-840.

Crawley,M.J.(1997). *Plant Ecology*. 2<sup>nd</sup> EditionBlackwell Science, Oxford.



Cudney, D.W., Jordan, L.S. & Hall, A.E. (1991) Effect of wild oat (*Avena fatua*) infestations on light interception and growth rate of wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Science*, 39, 175-179.

Davis, M.A., Wrage, K.J., Reich, P.B. (1998). Competition between tree seedlings and herbaceous vegetation: support for a theory of resource supply and demand. *Journal of Ecology*, 86, 652-661.

Debouche, C. (1979) Présentation coordonnée de différents modèles de croissance. *Revue de statistique appliquée*. 27, 5-22.

DiTomaso, J.M. (1995). Approaches for improving crop competitiveness through the manipulation of fertilization strategies. *Weed Science*, 43, 491-497.

Fargione, J., Tilman D. (2005). Niche differences in phenology and rooting depth promote coexistence with a dominant bunchgrass

France Agrimer, édition juin 2010, statistique avril 2010 de la champagne 2009/2010

Gabriel, D., Thies, C., Tschardtke, T. (2005). Local diversity of arable weeds increases with landscape complexity, *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 7, 85-93.

Gasquez, J., Fried, G., Délos, M. et al. (2008). Vers un usage raisonné des herbicides : analyse des pratiques en blé d'hiver de 2004 à 2006. *Innovations Agronomiques* 3, 145-156.

Gleason, H.A. (1926). The individualistic concept of the plant association. *Bulletin of the Torrey Botanic Club*, 53, 7-26.

Godinho, I. (1984). Les définitions d'adventice et de mauvaise herbe. *Weed Research*, 121-125

Grime, J.P. (1973). Competitive exclusion in herbaceous vegetation. *Nature* 242, 344-347.

Grime, J.P. (1998). Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects. *Journal of Ecology*, 86, 902-910

Gross, N. (2007). Mécanismes de structuration des prairies subalpines : apport des traits fonctionnels. Thèse de doctorat Biodiversité, Ecologie, Environnement. Université J.Fournier-Grenoble 1, 318 p.

Gross, N., Kunstler, G., Liancourt, P. et al. (2009). Linking individual response to biotic interactions with community structure : a trait-based framework. *Functional Ecology* 23, 1167-1178.

Holt, J. S. (1995). Plant responses to light: A potential tool for weed management. *Weed Science*, 43, 474-482.



Jamieson et al. , 1998 , Sirius : a mechanistic model of wheat response to environmental variation, *European journal of Agronomy* (8), 161-179.4

Keddy, P.A. (1992). Assembly and response rules: Two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science* 3, 157-164.

KIM DS, MARSHALL EJP, CASELEY JC & BRAIN P (2006) Modelling interactions between herbicide and nitrogen fertilizer in terms of weed response. *Weed Research* 46, 480–491.

Korres, N.E. & Froud-Williams, R.J. (2002) Effects of winter wheat cultivars and seed rate on the biological characteristics of naturally occurring weed flora. *Weed research* 42, 417-428.

Lavorel,S., Garnier, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy grail. *Functional Ecology*, 16, 403-412.

Le Corre,V., Délye, C., Darmency, H., (2013). Stratégies fonctionnelles des plantes adventices des cultures, *Colloque EPVG*

Legendre, P. and Gallagher, E.D. (2001). Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*, 129, 271-280.

Liancourt, P. (2005). Stratégies fonctionnelles et interactions entre espèces dominantes le long de gradients de ressources hydrique et trophique au niveau des pelouses calcaires. Thèse, Université Joseph Fourier, Grenoble 1.

Liebmann, M. (1989). Effect of nitrogen fertilizer, irrigation, and crop genotype on canopy relations and yields of an intercrop/weed mixture. *Field Crops Research*, 22, 83-100

Londo, G. (1976). The decimal scale for relevés of permanent quadrats. *Vegetatio*, 33: 61-64.

McMaster, G.S., Wilhelm, W.(1997). "Growing degree-days: one equation, two interpretations" *.Publications from USDA-ARS / UNL Faculty*. Paper 83.

Martin, M.P.L.D & Field, R.J.(1988). Influence of time of emergence of wild oat on competition with winter wheat. *Weed Research*. 28: 111-116.

Maire, V., Gross, N., Börger, L. et al. (2012). Habitat filtering and niche differentiation jointly explain species relative abundance within grassland communities along fertility and disturbance gradients. *New Phytologist* 196, 497-509.



Maire, V., Gross, N., Pontes, L.D.S. et al. (2009). Trade-off between root nitrogen acquisition and shoot nitrogen utilization across 13 co-occurring pasture grass species. *Functional Ecology* 23, 668-679.

Navas, M.L., Moreau-Richar, J. (2005). Can trait predict the competitive response of herbaceous Mediterranean species? *Acta Oecologia* 27, 107-114.

Pysek, P., & Leps, J. (1991). Response of a weed community to nitrogen fertilization: a multivariate analysis. *Journal of Vegetation Science*, 2, 237-244.

Romero, A., Chamorro L. and Sans, F.X. (2008). Weed diversity in crop edges and inner fields of organic and conventional dryland winter cereal crops in NE Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 124, 97-104

Sinclair, T.R., Jamieson, P.D. (2006) Grain number, wheat yield and bottling beer :an analysis. *Field Crops Research*, 98, 60-67.

Schwinning, S. and J. Weiner. 1998. Mechanisms determining the degree of size asymmetry in competition among plants. *Oecologia* 113:447–455.

Seufert, V., Ramankutty, N., Foley, J.A. (2012) Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485, 229-233.

Stahlman & Miller (1990). Downy Brome (*Bromus tectorum*) Interference and Economic Thresholds in Winter Wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Science*, 38, 224-228.

Storkey, J., 2006. A functional group approach to the management of U.K. arable weeds to support biological diversity. *Weed Research* 46, 513-522.

Storkey, J., Moss, S.R., Cussans, J.W., 2010. Using Assembly theory to explain Changes in a weed Flora in Response to Agricultural Intensification. *Weed Science* 58, 39-46.

Tilman, D. (1982). Resource competition and community structure. Princeton university press, Princeton (New Jersey, USA).

Trinder, C.J., Brooker, R.W. & Robinson, D. (2013). Plant ecology's guilty little secret: understanding competition. *Functional Ecology the dynamics of plant*, 27, 918-929.

Vengris, J., Colby, W.G., Drake, M. (1955). Plant nutrient competition between weeds and corns. *Agronomy Journal*, 47, 213-216.

Violle, C., Garnier, E., Lecoœur, J. et al. (2009). Competition, traits and resource depletion in plant communities. *Oecologia* 160, 747-755

Zadoks, J.C., (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421

## **Résumé**

Dans un contexte de demande alimentaire croissante et de prise de conscience environnementale, il est nécessaire d'évaluer l'impact des adventices sur le rendement des cultures. Dans ce mémoire nous nous sommes intéressés plus précisément à l'effet des communautés adventices et de deux pratiques agricoles, la fertilisation et l'application herbicide. Au cours de notre expérimentation, nous avons mesuré différents traits (hauteur, stade phénologique,...) à la fois sur le blé et les adventices. Nous avons testé l'effet des traitements sur la productivité du blé puis sur les traits des adventices. Ensuite nous avons testé l'effet de la structuration fonctionnelle des communautés d'adventices sur deux paramètres importants du blé, le rendement et la biomasse à floraison. Nous avons pu constater deux effets significatifs : l'azote influence les paramètres du blé et l'herbicide influence les traits fonctionnels des adventices. Nous avons également pu montrer des effets distincts des différentes communautés adventices en fonction de leurs stratégies fonctionnelles. Nous avons pu mettre en avant que les espèces les plus problématiques pour la production de biomasse à floraison sont précoces et à développement rapide. En revanche pour ce qui concerne le rendement, ces espèces ne semblent pas présenter d'effets négatifs. On peut donc penser que la compétition à des stades précoces du blé entraîne un stress pour la culture et donc une augmentation de l'allocation des ressources vers les graines. Ces résultats devront être validés par des études terrains sur plusieurs années.

Compétition - Structuration fonctionnelle – Azote - Herbicide

## **Abstract**

In a context of increasing food demand and environmental awareness, it is necessary to evaluate the impact of weeds on crop performance. In this paper we focus specifically on the effects of weed communities and on the effects of two agricultural practices on crop performance: fertilization and herbicide application. In our experiments, we measured a number of traits (height, phenological stage,...) on both wheat and weeds. We tested the effect of treatments on the traits of both wheat and weeds. Then we tested the effect of the functional structure of weeds on yield and biomass at flowering. We found that nitrogen influences parameters of wheat and herbicide influences the functional traits of weeds. Moreover different weed species according to their functional strategies have different effects on the wheat. We were able to demonstrate that for the production of wheat biomass the most problematic weed species are blooming early in the season and grow fast but they do not appear to have negative effects on yield. This suggests that competition in the early stages of wheat leads to a stress and therefore there is an increase in the allocation of seed resources. These results should be validated by field studies conducted over several years.

Competition – Functional structure – Nitrogen - Herbicide