



HAL
open science

Étude de la relation entre diversité phénotypique et santé des plantes

Pierre Patureau

► **To cite this version:**

Pierre Patureau. Étude de la relation entre diversité phénotypique et santé des plantes. 2015, 83 p.
hal-01458649

HAL Id: hal-01458649

<https://hal.science/hal-01458649v1>

Submitted on 5 Jun 2020

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

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

2014-2015

Licence Pro. - Agriculture Biologique



**ETUDE DE LA RELATION ENTRE
DIVERSITE PHENOTYPIQUE ET SANTE
DES PLANTES**

PATUREAU Pierre

INRA / Unité SAD Paysage

Maître de stage : M. Rousselot Simon

Tuteur pédagogique : M. Perrissin Dominique

ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné(e) Pierre Patureau
déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une
partie d'un document publiée sur toutes formes de support, y compris l'internet,
constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.
En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées
pour écrire ce rapport ou mémoire.

signé par l'étudiant(e) le **19 / 08 / 2015**

REMERCIEMENTS

Je souhaite tout d'abord remercier l'ensemble de l'équipe Biodiversité Cultivé et Recherche Participative pour l'ambiance sympathique qui règne au sein de "La Quarantaine " et qui m'a permis de découvrir le vaste monde de la recherche participative et des semences paysannes.

Je tiens à remercier tout particulièrement Simon Rousselot pour sa bonne humeur, sa patience et sa rigueur qui nous ont permis de travailler de façon efficace et ce, même quand le climat breton n'était pas de la partie.

Un grand merci aussi à Véronique Chable et Estelle Serpolay pour les échanges que nous avons pu avoir par rapport aux différents projets qu'elles mènent de front. Merci aussi pour les discussions fortes enrichissantes lors des repas partagés. Un grand merci à Véronique pour tous les bons plats sucrés ou salés qu'elle nous a cuisinés. Je remercie également Franck-Emanuel Leprêtre pour le partage de ses connaissances sur le sarrasin mais également pour les délicieux plats qu'il confectionne avec les farines issues de ses travaux.

Je remercie également l'ensemble des agriculteurs du projet : Gilles Simonneaux, Michel Kervarec, André Despinasse, Laurent Marteau, Florent Mercier et Pierre Tranchant. Merci à eux pour l'accueil qu'ils nous ont réservé sur leur ferme. Merci aussi pour les bons produits issus de vos exploitations et avec lesquels je me suis régalé.

Je tiens aussi à remercier les autres membres de l'équipe : Domitille, Camille, Virginie, Youna, Valentin, Mathéou et Martin pour les coups de mains qu'ils sont su me donner sur le terrain comme au laboratoire.

Merci aussi à l'ensemble de l'équipe éducative de l'IUT d'Angers, qui après plusieurs années d'interruption m'a fait replonger avec plaisir dans le grand bain de l'enseignement. Un grand merci à Catherine Bernard pour sa bienveillance et son suivi attentif tout au long de la formation.

Merci également à Dominique Perrissin pour son suivi durant toute la durée du stage.

Sommaire

Glossaire	
INTRODUCTION	
1)Contexte institutionnel	1
A) L'INRA	1
B) SAD Paysage, BCRP	1
C) Aperçu du projet SAFARI	3
2)Contexte de l'étude.....	5
A) Le blé tendre	5
1) Une production majeure.	5
2)Généalogie	5
3) Taxonomie et génétique du blé	7
4)Les maladies du blé.....	7
5) Culture du blé en mélanges et en association.....	9
B) Les évolutions dans la sélection des blés.	11
1) Les origines	11
2) La professionnalisation de la sélection.....	11
3) La renaissance des semences paysannes.	13
C) Recherche participative.....	15
D) Contexte du stage	17
3) Matériel et méthodes	19
A) Le projet SAFARI	19
1)Objectif	19
2) Le choix des variétés	21
3) Situation et plan des essais.....	23
B) Biodiversité et maladies du blé	25
1) Les indicateurs pour suivre la biodiversité	25
2) Les indicateurs pour suivre les maladies	27
C) Objectifs et hypothèses.....	27
D) Méthodologie mise en place.....	29
1) Mesures terrain	29
a) Mesures liés au caractères phénotypiques.....	29

b) Mesures liés aux maladies	31
4) Analyses.....	33
a) Analyse des données maladies.....	33
1)Les variétés modernes	35
2)Les variétés populations	37
b) Analyses de la diversité phénotypique	39
1)Variétés modernes.....	41
2)Variétés populations	41
c) Relation entre diversité phénotypique et santé des plantes	41
1) Variétés modernes.....	41
2) Variétés populations.....	43
5)Discussion.....	45
CONCLUSION	47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	49
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	53
TABLE DES TABLEAUX.....	53
TABLE DES GRAPHIQUES	53
ANNEXES.....	55

Glossaire

AB : Agriculture **B**io**l**ogique

BCRP : Biodiversité **C**ultivé et **R**echerche **P**articipative.

INRA : Institut **N**ational de la **R**echerche **A**gronomique

ITAB : Institut **T**echnique de l'**A**griculture **B**io**l**ogique

LLSD : Last **L**eaf **S**pike **D**istance

PAO : Pole **A**gronomique de l'**O**uest

PMG : Poids de **M**ille **G**ra**l**ns

RSP : Réseau **S**emences **P**aysannes

SAD : Science pour l'**A**ction et le **D**éveloppement

SAFARI : **S**anté, **F**ertilité, **A**daptation, **R**ésilience

INTRODUCTION

En fin d'année 2015 se tiendra à Paris la COP21. Cette grande conférence a pour objectif ambitieux d'arriver : " à un accord universel et contraignant permettant de lutter efficacement contre le dérèglement climatique et d'impulser/d'accélérer la transition vers des sociétés et des économies résilientes et sobres en carbone" (<http://www.cop21.gouv.fr>). Les pouvoirs publics semblent enfin prendre la mesure des enjeux auxquels ils doivent faire face. L'agriculture, elle aussi va devoir faire face à de nombreux changements dont celui du réchauffement climatique. Une des voies possible et souhaitable est l'augmentation du pouvoir d'adaptation et de résilience des agro systèmes.

En effet, le modèle agricole productiviste dominant dans les pays industrialisés depuis 60 ans commence à montrer ses limites et ce dans de nombreux domaines. Ce type d'agriculture est gourmand en intrant et ne laisse que peu de marge de manœuvre aux paysans qui se retrouve dans un étau où ils doivent négocier avec des multinationales dont les intérêts ne sont que financiers. Il semble que l'agriculture ne doit pas se limiter uniquement à cette vision de marché mais qu'elle doit aussi jouer un rôle social et écologique au niveau local.

C'est dans cette optique qu'aujourd'hui certains paysans veulent reprendre le contrôle de leurs productions et ne plus se laisser dicter les règles par les grandes coopératives agricoles.

Des chercheurs, notamment au sein de l'INRA partagent cette vision novatrice et durable des systèmes agricoles. C'est dans ces objectifs de durabilité, de stabilité et de résilience que s'inscrivent les recherches menées au sein de l'équipe biodiversité cultivé et recherche participative (BCRP) où j'ai effectué mon stage.

L'étude qui suit porte sur le projet SAFARI. Ce projet s'intéresse à la diversité des blés cultivés et aux intérêts que peuvent représenter les mélanges de variétés et les associations d'espèces ainsi qu'à un éventuel gain adaptatif des variétés lorsqu'elles sont ressemées durant plusieurs générations.

1) Contexte institutionnel

A) L'INRA

Créé en 1946 au lendemain de la seconde guerre mondiale, l'INRA avait comme premier objectif de "mettre la science et la technologie au service de l'agriculture"(Source :INRA) afin de "nourrir la France", une France qui doit alors faire face à une véritable pénurie alimentaire ainsi qu'à un retard agricole important par rapport aux grands pays développés. 25 ans plus tard, au début des 70, les objectifs sont très largement atteints. La France, alors exportatrice se retrouve même excédentaire dans certains secteurs. Les recherches à l'INRA s'ouvrent à cette époque au secteur de l'agroalimentaire avec la microbiologie afin de valoriser au mieux les excédents. La crise pétrolière de 1973 amène l'INRA à se pencher sur les thèmes de l'environnement et au développement local. Les années 80, quant à elles, font prendre à l'INRA le virage des biotechnologies. Les crises sanitaires liées à l'alimentation s'enchaînent. L'INRA choisit alors de s'intéresser à l'alimentation en général et pas seulement à la production d'aliment. Les années 2000 seront pour l'INRA les années du développement durable et donc la prise en compte des impacts de l'agriculture sur la société et l'environnement. Les dernières orientations de l'INRA (2010-2020) visent à travailler sur des problématiques et enjeux mondiaux.

Les thèmes de recherches abordés par cet institut sont très variés et s'articulent autour de trois grands axes : l'alimentation humaine et animale, l'agriculture et enfin l'environnement.

Les missions actuelles de l'INRA sont définies comme suit :

- Produire et diffuser des connaissances scientifiques ;
- Concevoir des innovations et des savoir-faire pour la société ;
- Eclairer, par son expertise, les décisions des acteurs publics et privés ;
- Développer la culture scientifique et technique et participer au débat science/société ;
- Former à la recherche et par la recherche.

L'INRA est représenté par 8 500 agents titulaires qui travaillent dans les 17 centres de recherche régionaux (Source : INRA).

B) SAD Paysage, BCRP

L'unité au sein de laquelle s'est déroulé mon stage appartient au département de recherche SAD (Science pour l'Action et le Développement) et se nomme "SAD - Paysage". Les recherches menées par cette unité visent à : "produire des connaissances sur les relations entre activités agricoles, dynamiques du paysage et de la biodiversité" (Source : <http://www6.rennes.inra.fr/sad>). L'équipe à laquelle je suis rattaché travaille sur la biodiversité cultivée et la recherche participative (BCRP). L'équipe est composée de deux ingénieures (Véronique Chable et Estelle Serpolay) ainsi que d'un assistant-ingénieur: Simon

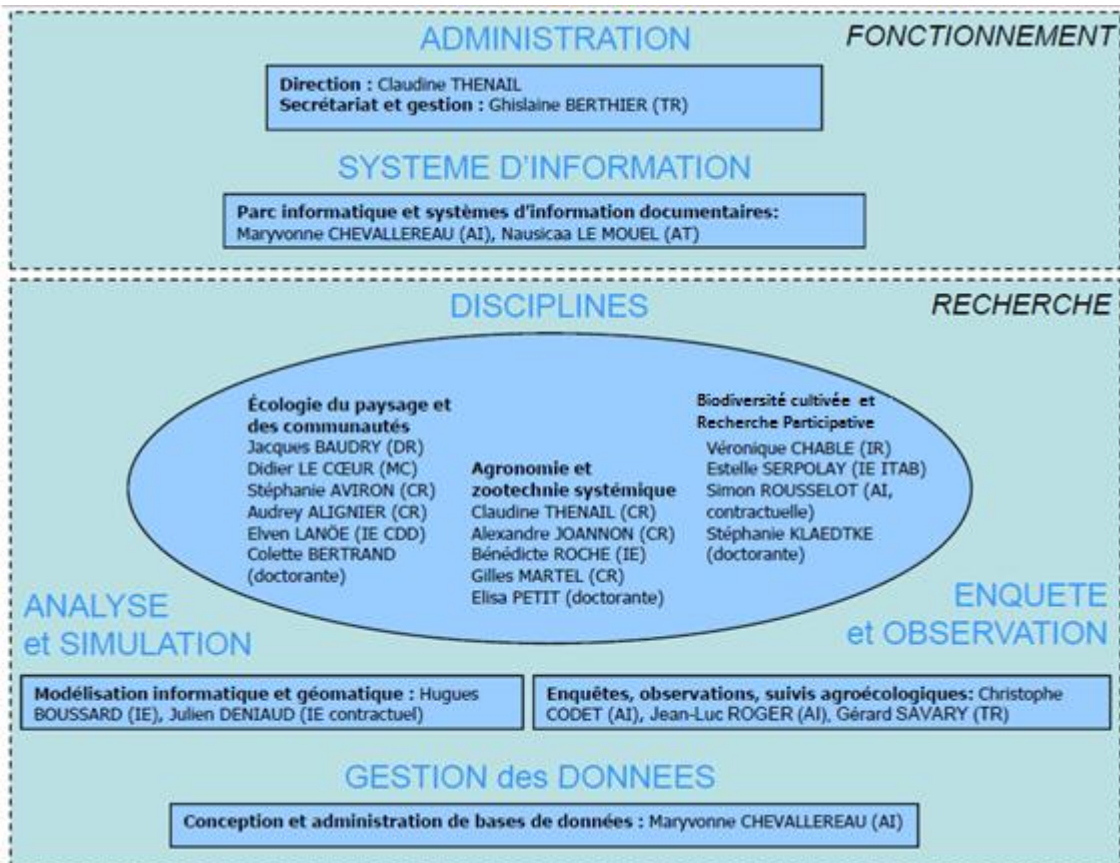


Figure 1 : Organigramme du SAD-Paysage (www6.rennes.inra.fr/sad)

Rousselot qui a été mon maître de stage. S. Rousselot travaille essentiellement sur le projet SAFARI présenté dans la partie suivante.

L'organigramme de la **figure 1** permet de situer l'équipe BCRP au sein du SAD paysage.

L'équipe BCRP a coordonné différents projets comme Pays Blé (2009-2012), un programme régional qui avait pour objectif de développer un réseau autour des blés de terroirs Breton. Ensuite, SOLIBAM (*Strategies for Organic and Low-input Integrated Breeding and Management*, 2010-2014), un programme européen qui cherchait à : " répondre à la diversité des besoins des acteurs en favorisant la diversité génétique des cultures, elle-même associée et soutenue par une diversité de pratiques culturelles "(Source : ITAB). Actuellement l'équipe BCRP travaille donc sur la diversité cultivée dans le cadre de différents programmes nationaux et internationaux. Les espèces étudiées ici sont également diverses : blé, sarrasin, maïs, haricot, tomate. Le projet SAFARI présenté ci-dessous s'inscrit dans la continuité de ces deux programmes.

C) Aperçu du projet SAFARI

Ce projet s'intéresse à " l' Agro-diversité génétique et spécifique pour la santé des plantes, la fertilité des sols, l'adaptation et la résilience des systèmes de culture". Le projet SAFARI (Santé, Fertilité, Adaptation, Résilience) est financé par le PAO (Pôle Agronomique de l'Ouest) et s'inscrit dans un programme sur le développement de l'autonomie protéique des élevages de l'ouest. Cinq partenaires sont regroupés autour de SAFARI :

- **SAD-Paysage Equipe BCRP, Le Rheu (35)** (*Mise en place et suivi des essais réalisés sur le réseau de fermes.*)
- **UR LEVA, Angers (49)** (*Analyses sur le sol et sur la plante.*)
- **LUBEM, proche de Brest (29)** (*Analyse de sol avec détermination des micro-organismes.*)
- **Ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou (49)** (*Mise en place des mêmes essais que dans le réseau de ferme mais avec davantage de répétitions sur un seul site*)
- **Chambre Régionale d'Agriculture des Pays de la Loire, Angers (49)** (*Observations des maladies foliaires sur le blé sur les essais de la ferme expérimentale.*)

Ce projet se déroule dans un contexte de recherche participative pour l'équipe BCRP (Cf. 2)C)) et donc en lien direct avec un réseau de fermes qui sera détaillé dans la partie (3)A)1)).

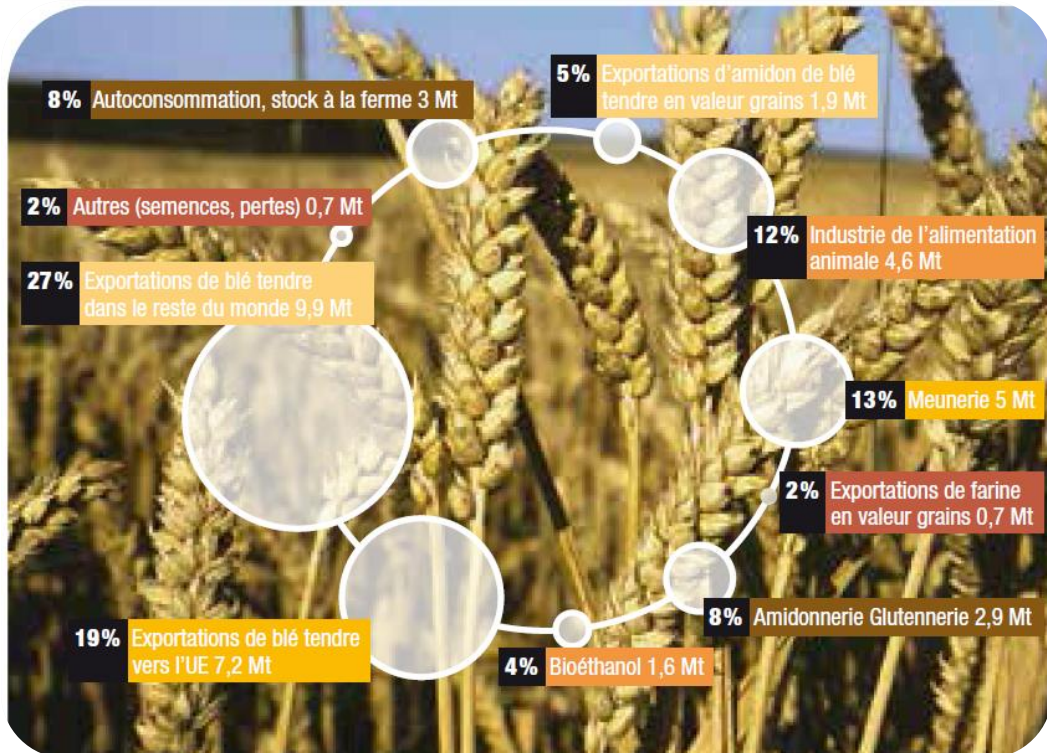


Figure 2 : Débouchés des blés français. (www.passioncereales.fr)

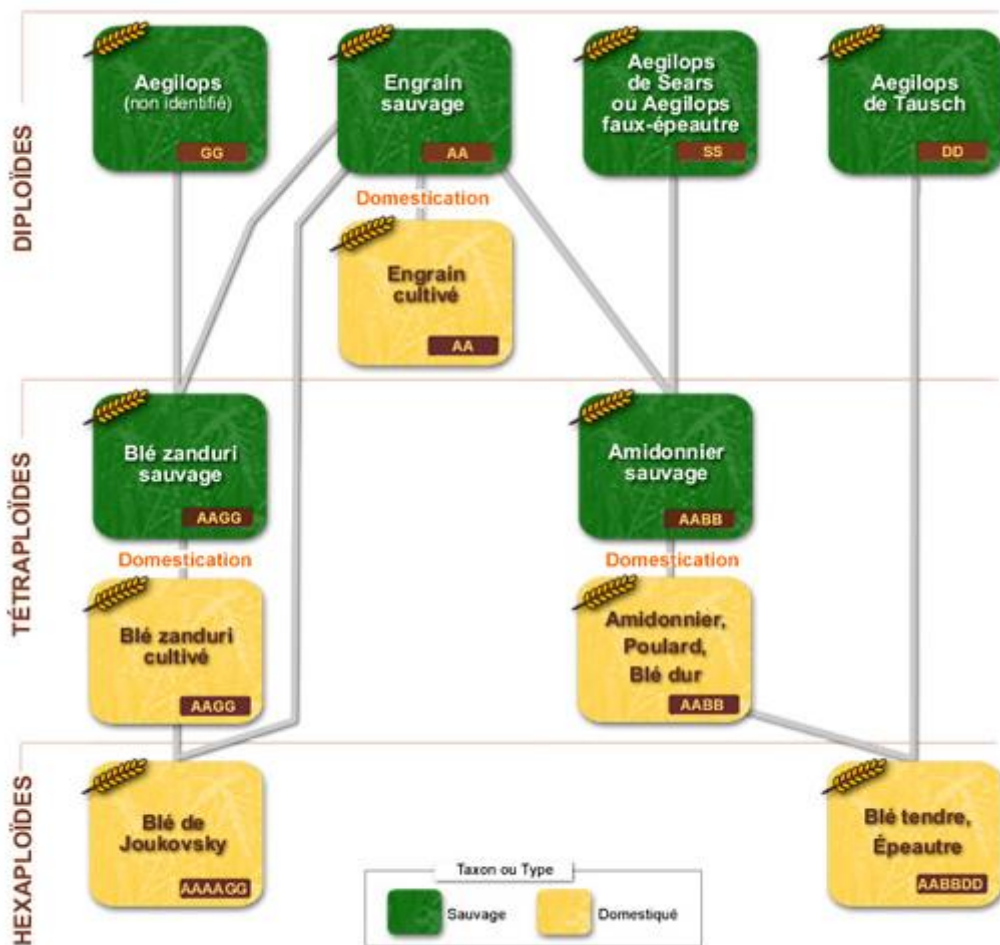


Figure 3 : Généalogie des blés (www.museum.agropolis.fr)

Le projet SAFARI se découpe en 4 sous projets :

SP1. Apports méthodologiques et choix des espèces/variétés

SP2. Performances agronomiques et santé des cultures en lien avec différents niveaux de biodiversité

SP3. Evolution des interactions couvert végétal –sol en lien avec la diversité végétale : Conséquences sur la fertilité du sol

SP4. Dissémination et communication

L'étude présentée ici fait partie du SP2 qui a pour objectif de "quantifier les apports de la diversité pour une agriculture réduisant ses intrants tout en visant le maintien de productivité et des plantes en bonne santé." (Source : PAO-SAFARI)

Les détails de la mise en œuvre de ce projet seront précisés dans la partie (3A)) de ce rapport.

2)Contexte de l'étude

A) Le blé tendre

1) Une production majeure

Le blé est la seconde céréale la plus cultivée au monde derrière le maïs. La France est le 5^{ème} plus gros producteur mondial et le premier producteur européen. En France, c' est la céréale la plus cultivée que ce soit en surface ou en volume : 4,8 MHa cultivés et 36,8 Mt produites en 2013. En agriculture biologique même constat, le blé reste la céréale la plus cultivée avec 90 200 T collectées en 2014. (source : FranceAgriMer). Comme le montre la **figure 2** ci-contre, la majeure partie du blé cultivé en France est destinée à l'export (51%), le second débouché est la meunerie et donc le pain si important dans la culture française.

2)Généalogie

Le blé est un terme générique pour désigné l'ensemble des céréales qui appartiennent au genre *Triticum*. Nous nous focaliserons ici sur le blé tendre également appelé froment (*Triticum aestivum* susp. *aestivum*). Ce blé tendre est le descendant d'une grande famille dont les premiers ancêtres connus sont des graminées sauvages qui étaient déjà cultivées il y a 15 000 ans. Une représentation simplifiée de la généalogie du blé est proposée dans la figure 3.

3) Taxonomie et génétique du blé

Comme le représente l'encadré ci dessus *Triticum aestivum* est issu du croisement entre : *T.turgidum* et *Aeglipos tauschii* (aussi appelé *Aeglipos squarrosa*), une espèce sauvage présente au moyen orient. Cette hybridation aurait eu lieu il y a 10 000 environ dans le croissant fertile.



Carte d'identité du blé

Nom commun : Blé tendre, froment

Nom latin : *Triticum aestivum* subsp *aestivum*

Famille : Poacées

Reproduction : Autogame à 90% environ

Aire de répartition : Domestiquée partout dans le monde mais surtout cultivée dans l'hémisphère nord.

Origine : Déjà cultivé il y a 10 000 ans dans le croissant fertile

4) Les maladies du blé

Les principales maladies qui touchent le blé sont d'origine cryptogamique. Ces maladies atteignent la plupart du temps le feuillage et par conséquent diminuent l'activité photosynthétique de la plante. Cette diminution se répercutera par une baisse du rendement. En agriculture conventionnelle, le nombre moyen de passages pour les fongicides est de 2,6 (Source : Agreste - Enquête Pratiques culturales 2011). L'usage répété de ces molécules chimiques assure le contrôle des dégâts causés par ces maladies mais posent de multiples problèmes dont celui de l'apparition de nouvelles souches résistantes. En agriculture biologique, l'utilisation de molécules de synthèse étant proscrite, le choix variétal reste une stratégie privilégiée de maintien de santé des plantes. La mise en place de rotations longues et diversifiées permet également de minimiser les risques liés aux maladies cryptogamiques. La sélection variétale a intensifié la recherche de sources de résistance génétique pour limiter l'usage de fongicides en agriculture conventionnelle. Cependant, les champignons arrivent à contourner les résistances variétales après que les variétés qui en sont porteuses aient été cultivées quelques années.

En effet, les souches de champignons évoluent rapidement et contournent les résistances variétales en rendant alors caduques les variétés et anéantissant le travail de plusieurs années de sélections nécessaires à leur création. Certaines variétés commercialisées sont cataloguées comme étant tolérantes voire résistantes à telle ou telle maladie. On peut par exemple citer le cas de la rouille jaune qui contourne régulièrement

les résistances de variétés de blé. "On [peut se souvenir] des pertes de résistance de Toison dor et Alixan en 2007-2008, mais aussi il y a quelques années de Tilburi, Cockpit, Brigadier... et en 1988-1989 de Récital ou Thésée" (Source : Camille Gauthier, Terre-net.fr).

Les maladies du blé sont également stimulées par certaines pratiques agricoles. Dans des contextes où la même variété est cultivée sur de grandes surfaces voir des régions entières, la pression de sélection exercée sur les parasites est extrêmement forte. Ce type de situation favorise donc le développement des épidémies et le contournement des résistances. (Marie-Hélène Jeuffroy et al.,2010)

Ce problème conduit à s'intéresser à la diversité génétique des blés cultivés. Ainsi, on constate que les dix variétés les plus semées couvrent plus de 40% des surfaces emblavées en blé ; on peut noter également qu'une ferme sur deux ne cultive qu'une seule ou deux variétés maximum. Ce type de pratiques réduisant la diversité des blés présents sur le territoire, entraînent une dispersion plus rapide des maladies et exercent une pression de sélection forte qui conduit à l'apparition de souche de champignons contournant les résistances de certaines variétés.

L'utilisation de blé avec des génétiques diversifiées (populations, mélange de variétés, association d'espèces...) pourraient retarder la dispersion des maladies. (Source : J-L Pham, 1997) Les différentes maladies du blé ainsi que leurs cycles de développement sont détaillés en annexe 1 en fin de rapport.

5) Culture du blé en mélanges et en association

Dans le cadre du projet SAFARI, différentes modalités de diversité intra-parcellaire seront testées. La diversité des blés sera sous forme d'un gradient partant d'une variété lignée pure, jusqu'au mélange de variétés-populations en association avec une légumineuse. Dans la partie précédente, nous avons vu l'intérêt de l'utilisation de blé avec des génétiques diversifiées. Intéressons nous maintenant à l'influence des associations d'espèces.

De nombreuses études ont été réalisées afin de comprendre l'influence des associations sur le taux de protéines, sur les rendements sur les maladies et ravageurs. Une d'entre elles, nommée PerfCom, a étudié sur 8 sites pendant 4 ans l'influence des associations entre blé tendre et divers protéagineux. Les résultats de cette étude sont détaillés ci-dessous.

La culture du blé en association avec une légumineuse permet d'augmenter le taux de protéine du blé comparativement à une culture de blé pur ayant reçu le même niveau de fertilisation. Cela s'explique par le fait que le rendement du blé est plus faible en association donc l'azote est davantage disponible pour chaque plant de blé.

Ensuite, le rendement des associations est supérieur ou égal au rendement des cultures pures. En effet, les associations auraient une meilleure capacité à utiliser les ressources du milieu. Cependant, afin d'assurer un bon équilibre entre les productions de la céréale et de la légumineuse, il est important d'adapter les densités de semis de la céréale et de la légumineuse.

Les associations sont également un moyen efficace pour diminuer la pression parasitaire. Cela s'explique par la diminution des ressources disponibles pour les ravageurs ainsi que par l'augmentation des distances à parcourir pour passer d'une plante à une autre. On peut noter également que l'aspect général du couvert associé étant différent, il serait donc moins attirant pour certains ravageurs. Des travaux sont également menés, notamment au sein de l'équipe BCRP, afin d'évaluer l'effet des associations sur la mychorization du blé.

En conclusion, le fait d'associer le blé avec une légumineuse présente de nombreux avantages, surtout dans des conditions où l'azote est faiblement disponible. Ce type de technique semble donc intéressant dans des contextes d'agriculture biologique ou à faible niveau d'intrants.

B) Les évolutions dans la sélection des blés.

1) Les origines

Depuis que l'Homme a découvert l'agriculture, il a toujours utilisé les semences des récoltes précédentes pour réaliser les semis suivants. Cette pratique a favorisé la création d'une multitude de variétés appelées variétés de pays (landrace en anglais) adaptées au contexte pédoclimatique où elles étaient cultivées. En effet, jusqu'au milieu du 19^{ème} siècle, chaque région, chaque village et même chaque paysan cultivait "sa" propre variété. Les variétés d'alors étaient plus ou moins hétérogènes selon les choix de l'agriculteur, la sélection par l'environnement et la biologie de la reproduction (nature autogame ou allogame de l'espèce). Les variétés de pays sont des populations où toutes les plantes sont différentes génétiquement. Par exemple, au sein d'une même parcelle de blé, on pouvait rencontrer des épis barbus ou non, de couleur et de taille différentes. En traversant la France, on pouvait alors admirer des champs de blé d'une grande diversité qui répondaient aux noms de Barbu de l'Aveyron, Perle de Nuisement, Blé de Saumur. (Source : Voyage autour des blé paysans, RSP)

2) La professionnalisation de la sélection.

C'est au cours du 18^{ème} siècle qu'arrivent en France des blés originaires d'Ukraine et d'Angleterre qui présentaient des qualités non-négligeables (rendement supérieur, résistance à la verse car moins haut en paille), mais qui n'étaient pas suffisamment adaptés aux climats français (problème de précocité, de sensibilité au froid...) Au vu de l'intérêt que présentent ces "nouvelles" variétés, Henri de Vilmorin et quelques autres se spécialisent dans la sélection des blés. Il utilise ces nouvelles populations pour créer de nouvelles lignées pures (génétiquement homogènes). Vilmorin arrive dès 1884 à proposer à la vente la première lignée pure. ("DATTEL" 1884, puis "Bon Fermier" 1904).

Les efforts de sélection faits à l'époque aboutissent à la création de variétés productives, résistantes à la verse et avec un pouvoir adaptatif relativement fort. Ces blés emportent l'adhésion de nombreux paysans qui les cultivent désormais sur l'ensemble du territoire français. Le marché de la semence est alors en pleine croissance.

A partir de 1920, les populations de blé locales, traditionnellement cultivées se font de plus en plus rares jusqu'à disparaître presque totalement en 1980. (Source "Voyages autour des blé paysans", 2008, RSP).

« Vous entendez bien, 385, sans compter de nombreux synonymes ! Cette profusion de variétés est un fléau pour tout le monde [...] Voilà des années que nous recommandons en vain de porter la hache dans la forêt touffue des blés français, et d'y pratiquer des coupes sombres [...] c'est une douzaine, une quinzaine de blés au plus qui suffiraient pour toute l'étendue du territoire » Émile SCHRIBAU, « La qualité des blés indigènes et le problème du bon pain », Le Sélectionneur français, VII-1, 1938.

Les techniques de sélection se sont ensuite appuyées sur de nouvelles technologies de plus en plus pointues (mutagénèse, haplo-diploïdisation, transgénèse...) afin d'obtenir plus rapidement des lignés purs et/ou créer des variétés qui n'auraient pas pu voir le jour naturellement.

L'explosion des rendements agricoles observée lors du siècle passé, est liée d'une part aux techniques de sélection mais aussi très largement à l'utilisation massive d'intrants (azote, fongicides, désherbant...) (J.Bouharmont, 1995). La sélection effectuée depuis 1945 ne s'est faite que dans le contexte d'une agriculture productiviste qui utilise toutes les béquilles chimiques disponibles (engrais azotés, herbicides, fongicides...). Les blés sélectionnés dans ces conditions ne sont donc pas adaptés à l'agriculture biologique ou à bas niveau d'intrants. En effet, les blés modernes sont à paille courte et donc peu concurrentiels vis à vis des adventices. Ils ont aussi beaucoup de mal à exprimer leur potentiel dans les situations où l'azote est peu disponible (Rolland Bernard, 2012). C'est dans cette optique qu'aujourd'hui un certain nombre d'acteurs du monde agricole souhaitent reprendre en main la sélection des espèces cultivées afin d'aller vers plus d'autonomie mais également afin de trouver les espèces les mieux adaptées à leur contexte de production.

"Les démarches classiques de sélection ont [...] tendance à privilégier les variétés à "large adaptation" et à éliminer ipso facto celles qui produisent de très bons rendements uniquement dans des conditions très spécifiques, alors qu'elles pourraient répondre aux besoins de certaines régions."
Semences, une histoire politique: amélioration des plantes, agriculture et [...].Par C.Bonneuil, F.Thomas

3) La renaissance des semences paysannes.

Les blés paysans sont des variétés de blé sélectionnées et multipliées par et pour les paysans. L'objectif ici est de " Sauvegarder et développer des variétés de blé adaptées à des agricultures autonomes, à des modes de transformation artisanaux et à des filières de proximité" (Source : RSP). Comme exposée précédemment, la sélection effectuée depuis de nombreuses années ne correspond pas aux exigences des agricultures biologique ou à bas intrant. Depuis une quinzaine d'années en France, des agriculteurs se sont regroupés en associations (Triptolème, CBDPC...) pour travailler sur la sélection de variétés adaptées aux pratiques et contextes locaux. Ces associations sont regroupées dans un réseau national : le

Réseau Semences paysannes. C'est en 2003 avec la rencontre d'Auzeville : "Cultivons la Biodiversité dans les Fermes" que le Réseau Semences Paysannes (RSP) voit le jour. Ce réseau regroupe aujourd'hui plus de 80 organisations (Associations, paysans, organisations syndicales...). L'objectif de ce réseau est de " promouvoir et de défendre la biodiversité cultivée et les savoir-faire associés". (Source : RSP). Ce type d'initiative a également cours dans d'autre pays d'Europe (Source : Bocci R et Chable V. , Semences paysannes en Europe, 2008) et du monde on peut citer pour exemple : Red de Semilla (Espagne), Rete Semi Rurali (Italie).

Il existe donc aujourd'hui une dynamique nationale autour des variétés paysannes, la FAO elle même reconnaît l'utilité de ce type d'initiative. Le Traité International sur les semences de la FAO (TIRPAA), reconnaît le rôle majeur des agriculteurs dans la conservation de la biodiversité cultivée et donc les droits des paysans à utiliser, multiplier, échanger et vendre des semences. La France qui a pourtant signé ce traité peine à mettre en œuvre ces principes.

C) Recherche participative.

Depuis de nombreuses années les recherches dans le domaine scientifique sont uniquement organisées dans le sens « top-down », avec un groupe de « sachant » diffusant un savoir vers des utilisateurs. Cette hyper-concentration des prises de décision a abouti à un éloignement entre la société civile et le monde de la recherche. Certains acteurs de la société civile (associations, ONG,...) sont devenus de plus en plus méfiants et critiques vis à vis du monde de la recherche. C'est pourquoi, depuis une quinzaine d'années, on observe une multiplication d'associations citoyennes ayant pour but d'informer, de communiquer et même de proposer de nouvelles voies de recherches. La recherche participative a pour but de réunir les différents acteurs de la société (citoyen, paysans, techniciens, politiques, chercheurs...) afin de mener des recherches qui soit en accord avec les attentes des différentes parties.

Pour le monde agricole français, la recherche est concentrée dans les mains de l'INRA et de quelques firmes multinationales. Le monde paysan est donc peu voire pas investi dans le choix des thématiques abordées. Dans les systèmes en agriculture biologique ou à faible niveau d'intrants, les praticiens sont en attente de techniques de cultures et de variétés adaptées à leurs pratiques diversifiées. Il semble donc nécessaire de prendre en compte d'une part leurs questionnements mais aussi leurs contextes de culture. C'est pourquoi la mise en place d'essai directement chez les paysans et non pas en station expérimentale paraît important.

Le projet SAFARI détaillé ci-dessous est inséré dans le processus de la recherche participative animée par l'équipe BCRP. Ce programme est à dominante recherche mais correspond à une attente de tous les acteurs de mieux comprendre comment la diversité favorise les performances d'une culture de blé.

"Cette adaptation des races domestiques aux circonstances de sol et de climat devrait se trouver à la base même de toute entreprise agricole, et le plus souvent au contraire on ne s'avise d'y songer que très tardivement[...]" Henry Vilmorin, 1880.

"[Ces approches de recherche participative] permettent d'établir des liens entre la recherche et l'action, entre la théorie et la pratique, entre la logique du chercheur et celle des praticiens » (Anadon et Couture 2007)

Les essais sont mis en place directement chez les paysans. Les agriculteurs partenaires du projet SAFARI sont habitués à ce type de démarche car ils ont pour la majorité d'entre eux déjà pris part à d'autres essais en collaboration avec l'équipe BCRP, notamment sur l'évaluation de populations de blé et de création de populations locales. L'itinéraire technique utilisé reste au choix et appréciation de l'agriculteur (date de semis, techniques de désherbages...) pour représenter la diversité des pratiques. Cependant, l'ensemble des notations et des analyses est réalisé par des techniciens de l'INRA.

D) Contexte du stage

L'agriculture française devra, dans les années qui viennent, faire face à un grand nombre de défis. Tout d'abord en termes d'impacts de l'agriculture sur l'environnement. En effet, malgré la mise en place du plan Ecophyto qui vise à réduire de moitié l'utilisation de pesticides sur la période 2008/2018, on ne peut que constater l'échec de ce plan. La France reste de fait le troisième consommateur mondial de produits phytopharmaceutiques derrière les USA et le Japon. Ramené à l'hectare de SAU, la France consomme 4.4 L de produits phytosanitaires (Source : uipp.org). Les agricultures biologiques et à faible intrant représentent une alternative sérieuse. Cependant, aujourd'hui, l'agriculture biologique ne représente que 3.9 % des surfaces agricoles cultivées (Source : agencebio.org). L'agriculture biologique a donc besoin de techniques et variétés adaptées pour continuer à se développer. C'est pourquoi il est important d'intensifier les recherches qui vont dans ce sens.

Ensuite, l'impact du changement climatique sur l'agriculture va obliger celle-ci à s'adapter. En effet, l'augmentation des aléas climatiques oblige les agriculteurs à faire évoluer leur système. Cette adaptation des systèmes agricoles passe en partie par l'utilisation de variétés efficaces en agriculture biologique. La diversité génétique au sein d'une culture de blé peut être envisagée comme un levier pour la stabilité des rendements et la résilience des agro systèmes. Dans le cadre du projet SAFARI il s'agira d'évaluer les éventuels gains adaptatifs des mélanges de variétés et de populations au cours des générations successives de culture dans un environnement donné. (Source : PAO-SAFARI-Juin 2013.).

Dans le cadre du projet SAFARI, différentes variétés et mélanges représentant des niveaux variables de diversité seront étudiées pour leur capacité à concurrencer les adventices et à résister aux maladies.

Enfin, dans le contexte de la diminution des aides agricoles européennes, il semble important que les fermes françaises puissent aller vers un maximum d'autonomie. Une multitude de leviers peuvent être mis en place afin d'aller vers plus d'indépendance. Cette autonomie passe par la production de plantes riches en protéines pour l'alimentation animale afin de limiter les achats extérieurs de concentrés généralement importés et coûteux mais aussi par l'utilisation de semences de fermes qui permet de diminuer les coûts liés à l'achat de semences. Dans le cadre du projet SAFARI des associations entre blé et légumineuses (féverole, trèfles) seront étudiées. De plus, une partie de la récolte est utilisée pour être ressemée l'année suivante et ce afin d'évaluer les capacités d'adaptation des

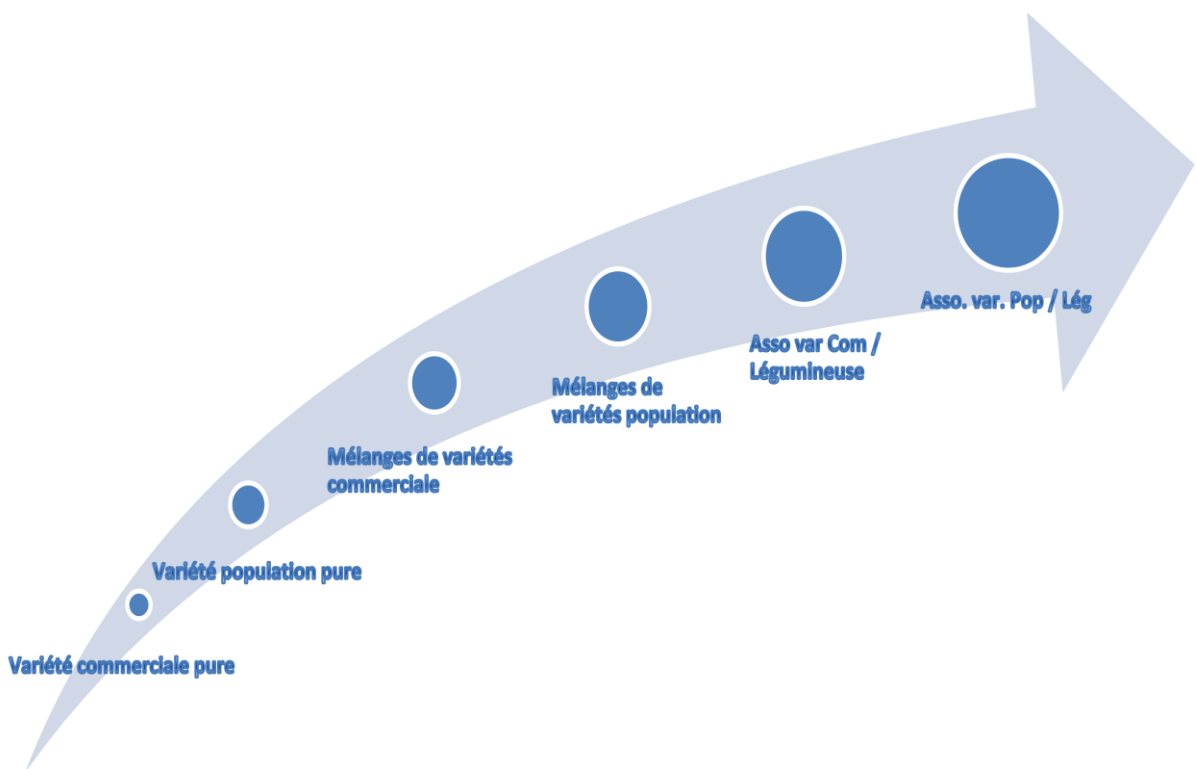


Figure 4 : Représentation du gradient de diversité dans SAFARI.

différentes variétés. Dans le cadre de ce stage, nous nous intéresserons plus précisément à la démarche méthodologique pour étudier le lien entre la diversité génétique intra-parcellaire des blés cultivés et l'état sanitaire de ceux-ci. Ainsi, il sera nécessaire de répondre à différentes questions :

- Quels indicateurs utilisés pour évaluer la diversité génétique des blés cultivés ?
- Comment évaluer l'état sanitaire d'une parcelle de blé ?
- Est-il possible de mettre en relation la diversité observée dans les différentes modalités de l'essai et leur état sanitaire ?
- Enfin est-ce qu'un gradient croissant de diversité dans les blés cultivés seuls ou en association peut favoriser vers une meilleure santé des plantes ?

Une fois les questions méthodologiques traitées, nous pourrions nous pencher sur la problématique suivante :

Les différences phénotypiques observées au sein de variétés de blés avec un gradient de diversités croissant peuvent-elles être mises en relation avec l'état sanitaire de ces parcelles ?

3) Matériel et méthodes

A) Le projet SAFARI

1) Objectif

Le projet SAFARI vise à comparer l'impact de différents niveaux de diversité sur les performances agronomiques des cultures (rendement, qualité, matière azotée...), sur la santé des plantes, mais également sur la fertilité du sol (biodiversité du sol, interaction avec le couvert végétal, qualité de la matière organique.)

Les différents niveaux de diversité observés dans le projet SAFARI sont les suivants :

- la **diversité intra-variétale**, c'est à dire les différences existantes ou non entre les différentes plantes d'une même variété ou population.
- la **diversité variétale combinée à la diversité spécifique**.
- la diversité intra variétale **accrue par la sélection participative** (pour les variétés population).
- l'évolution des différentes variétés suite aux semis successifs.

(Source : PAO-SAFARI-Juin 2013)

Afin de d'étudier ces différents paramètres, le projet est mené en collaboration avec divers partenaires détaillés dans la partie 1)C) de ce rapport.

Pour étudier et comparer les différents niveaux de diversité, les essais comportent différentes modalités avec un gradient de diversité croissant qui peut être représenté par la **figure 4**.

	Productivité	Teneur protéines	Resistance maladie	Concurrence adventices
Chevalier	+++	+	++	+
Pirénéo	++	+++	NA	+++
Renan	++	++	+++	++

Tableau 1 : Description des variétés commerciales. (ARVALIS)

	Avantage	Inconvénient	Origine géographique
Bladette de Provence	Couvrant au printemps, rendement correct, riche en protéines	Sensible à la rouille et à la verse, aucune force boulangère	Provence
Redon Roux Pâle	Peu sensible à la verse	Faible rendement	Pays de Redon (35)
St Priest et le Vernois Rouge	Très peu sensible aux maladies du feuillage et à la verse, bon en boulange	Peu couvrant au printemps	Allier (03)

Tableau 2 : Description des variétés population (Des blés bio...diversité !, 2011)

2) Le choix des variétés

Ce projet porte donc sur l'étude du comportement de différentes variétés de blé. Les variétés étudiées sont divisées en deux groupes. D'un côté, trois variétés commerciales également dites variétés modernes et d'un autre côté, trois variétés populations dont on a pu déjà voir les spécificités dans la partie 2)B)3) de ce rapport.

Le choix des variétés mises en place dans le cadre du projet SAFARI a fait l'objet de discussions en amont. Un des principaux critères de décision a été la complémentarité des différentes variétés.

Les variétés commerciales étudiées ainsi que quelques détails sur celles-ci sont présentés dans le **tableau 1**. On constate ici que les différentes variétés présentent des caractéristiques différentes selon les critères choisis. C'est pourquoi elles ont été retenues et ce en vue de pouvoir les associées en mélange.

Le choix des variétés population s'est fait avec le même type de raisonnement mais les origines géographiques de chaque variété ont également été pris en compte afin d'augmenter la diversité. Les trois variétés retenues sont présentés dans le **tableau 2**.

Afin d'étudier les effets liés aux différents niveaux de diversité, les variétés sont semées selon plusieurs modalités. Tout d'abord en pur afin d'étudier le comportement propre à chaque variété. Ensuite en mélange (mélange des trois modernes **ou** mélange des trois populations) et enfin, le mélange associé à une légumineuse. La légumineuse à associer est choisie par chaque agriculteur en fonction de ses objectifs. La plupart des agriculteurs ont choisi de mettre en place de la féverole, et deux autres ont choisi de mettre en place des trèfles.

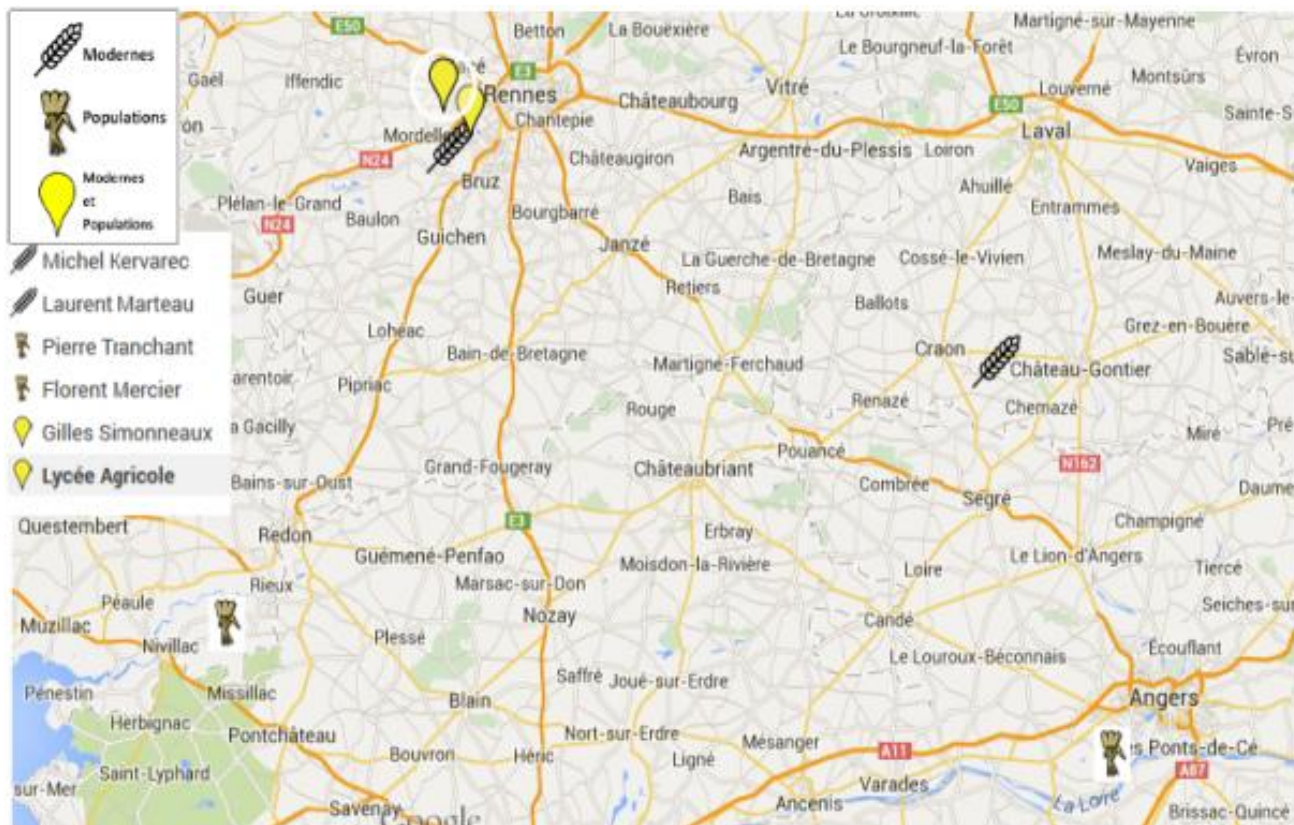


Figure 5 : Carte des essais SAFARI.

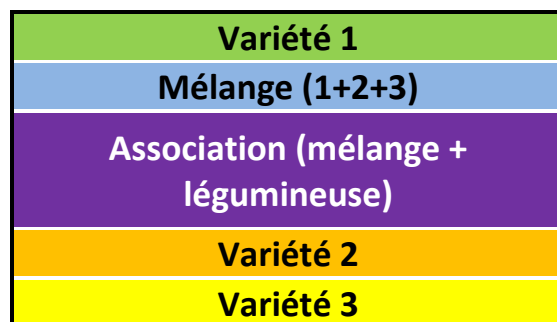
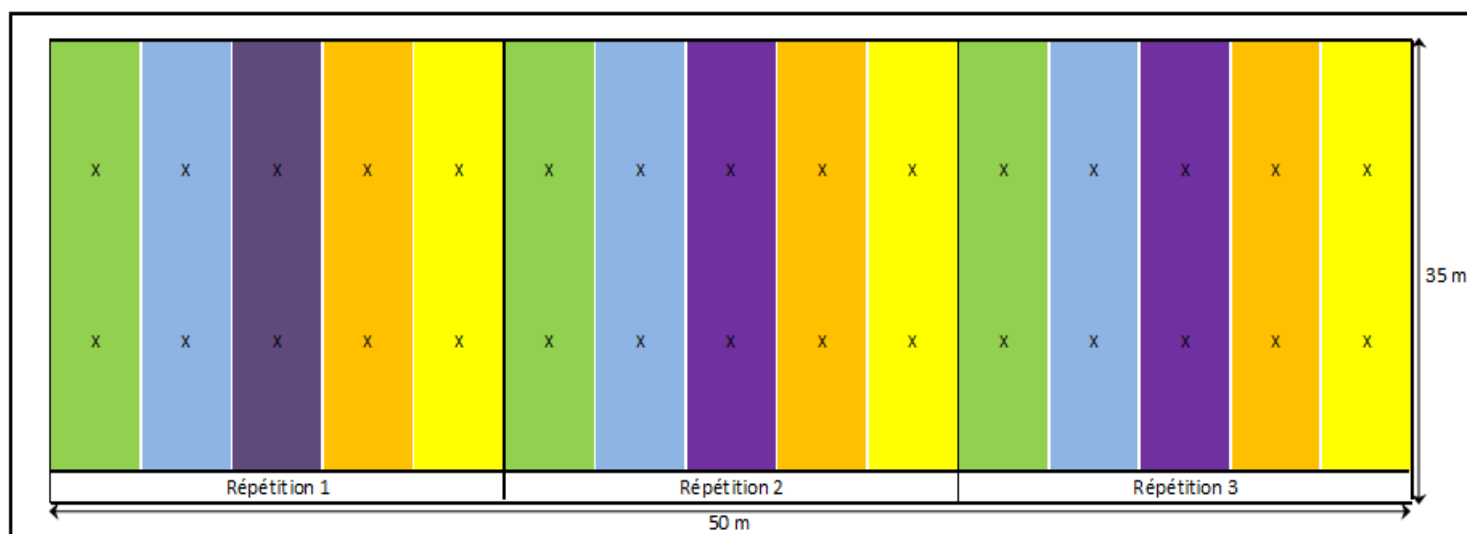


Figure 6 : Représentations schématique du dispositif expérimental

3) Situation et plan des essais

Les parcelles d'essais ont été mises en place sur six fermes en Bretagne et Pays de la Loire. Elles sont détaillées sur la **figure 5** ci-contre.

Les essais sont implantés directement sur les fermes en conditions réelles. En effet, une des originalités de ce projet réside dans le fait que "les travaux de recherches sont menés dans les champs des agriculteurs, dans leurs propres conditions et pratiques habituelles, afin d'étudier la variabilité d'expression du comportement des variétés " (Source : PAO-SAFARI-Juin 2013). Deux d'entre elles ont accueilli uniquement les variétés modernes en place, deux autres ont accueilli uniquement que les variétés population et les deux sites restant ont quant à eux les deux types de variétés. Concrètement, les agriculteurs insèrent les essais dans leurs cultures de blé : ils choisissent donc le mode de préparation du sol, la date de semis, etc... Ce sont également eux qui déterminent s'ils souhaitent intervenir pour biner, passer la herse étrille ou toute autre action qu'ils jugeraient nécessaire.

Les agriculteurs partenaires de ce projet ont pour la plupart déjà été impliqués dans des projets en recherche participative avec l'équipe du BCRP notamment lors du projet Pays Blé (projet régional de 2009 à 2013).

Les essais sont implantés de manières légèrement différentes sur chaque site afin de prendre en compte les contraintes liées aux différentes parcelles (forme, accès,...). Voici une représentation schématique du dispositif expérimental d'un site (voir figure 6).

Sur chacune des bandes, deux placettes ont été définies et positionnées pour les observations et prélèvements. Ces placettes sont symbolisées par des "X " sur la **figure 6**. Ces placettes mesurent 1,5m de long et font la largeur de trois rangs. Les diverses observations et prélèvements sont détaillés dans la partie 3)D)1). Il est à noter que la ferme de Thorigné d'Anjou est un partenaire du projet ; elle est en fait une station expérimentale en agriculture biologique. Son rôle est d'étudier, en micro parcelles avec davantage de répétitions, les variétés commerciales du projet.

B) Biodiversité et maladies du blé

1) Les indicateurs pour suivre la biodiversité

La diversité génétique intra ou interspécifique se mesure en utilisant différents outils plus ou moins complexes qui peuvent se diviser en deux grands groupes :

- Les méthodes moléculaires qui analysent les différences entre les ADN ou les protéines des sujets étudiés. Ces techniques ont énormément évolué ces vingt dernières années et de nouvelles méthodes apparaissent régulièrement. Les méthodes moléculaires nécessitent l'utilisation d'équipements souvent sophistiqués.
- Les mesures de caractères phénotypiques dont la méthode présente plusieurs avantages. D'une part les mesures peuvent être réalisées directement au champ ou au laboratoire et ne demandent pas de matériel spécifique. De plus, ces mesures présentent l'avantage d'être plutôt bon marché même si elle demande du temps et de la main d'œuvre. C'est ce type de mesures qui seront effectuées dans l'étude afin d'évaluer la diversité des différentes modalités.

Le projet SAFARI prenant en compte l'adaptation des variétés aux différents milieux dans lesquels elles évoluent, il paraît plus pertinent d'observer les caractères phénotypiques reflétant les interactions génotype x environnement.

Le terme phénotype désigne les caractéristiques d'un individu ou des cellules composant cet individu et qui sont le reflet d'une part de sa constitution génétique et d'autre part de son environnement dans lequel ces cellules s'expriment." W.Ludvig,

Un certain nombre de caractères phénotypiques permettant d'évaluer la diversité ont été sélectionnés, ces différents paramètres sont détaillés dans la partie D)1)a).

A partir des données, nous calculerons un indice global de diversité : l'indice H de Nei. Cette indice a déjà été utilisé et adapté par l'équipe BCRP par Hugo Gonzales Dupuy dans un rapport intitulé : " Evaluation of strategies for population diversity under the framework of on-farm wheat breeding & crop management : methodological aspects". Cet indice correspond bien à ce que l'on souhaite observer, à savoir la **diversité intra-spécifique**, c'est à dire l'hétérogénéité au sein de la variété, ainsi que la **diversité interspécifique** afin de comparer les variétés entre-elles.

L'**indice de Nei** représente la diversité. Plus l'indice est grand et plus la variété étudiée présente une hétérogénéité pour un caractère donné. Cette indice se calcul de la manière suivante :

$$H=1-\sum x^2_i$$

Où H est la probabilité de diversité, et xi est la fréquence de la classe i.

2) Les indicateurs pour suivre les maladies

Pour suivre l'état sanitaire des cultures, il existe différents protocoles. Cependant, le point commun reste l'observation direct au champ des symptômes liés aux maladies. Suivant les techniques utilisées, les attaques de maladies sont évaluées soit par observation de l'ensemble de la parcelle, soit par observations de plusieurs plants à différents endroits de la parcelle. Le protocole que nous appliquerons dans cette étude est l'adaptation de François Boissinot (Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire) du protocole préexistant créé par l'ITAB. Dans cette étude nous n'étudierons que les maladies foliaires. Au vu du nombre d'essais à couvrir et les distances entre ceci, le choix a été fait de réaliser la notation des maladies en un seul et unique passage.

C) Objectifs et hypothèses

Comme nous le montre l'étude bibliographique, le fait d'augmenter la diversité cultivé en associant plusieurs variétés ou bien plusieurs espèces présente de nombreux avantages. Dans le cadre de cette étude, nous essaierons d'établir un lien entre diversité génétique et état sanitaire du blé.

L'hypothèse principale de cette étude est que l'augmentation de la diversité au sein de la culture de blé assurera un meilleur contrôle des maladies foliaire.

Cette hypothèse principale peut se décliner en plusieurs sous hypothèses :

- Les variétés semées en mélange permettront un meilleur contrôle des maladies par rapport aux mêmes variétés semées en pur.
- L'association avec une légumineuse permet un meilleur contrôle des maladies que le mélange simple (sans légumineuse).

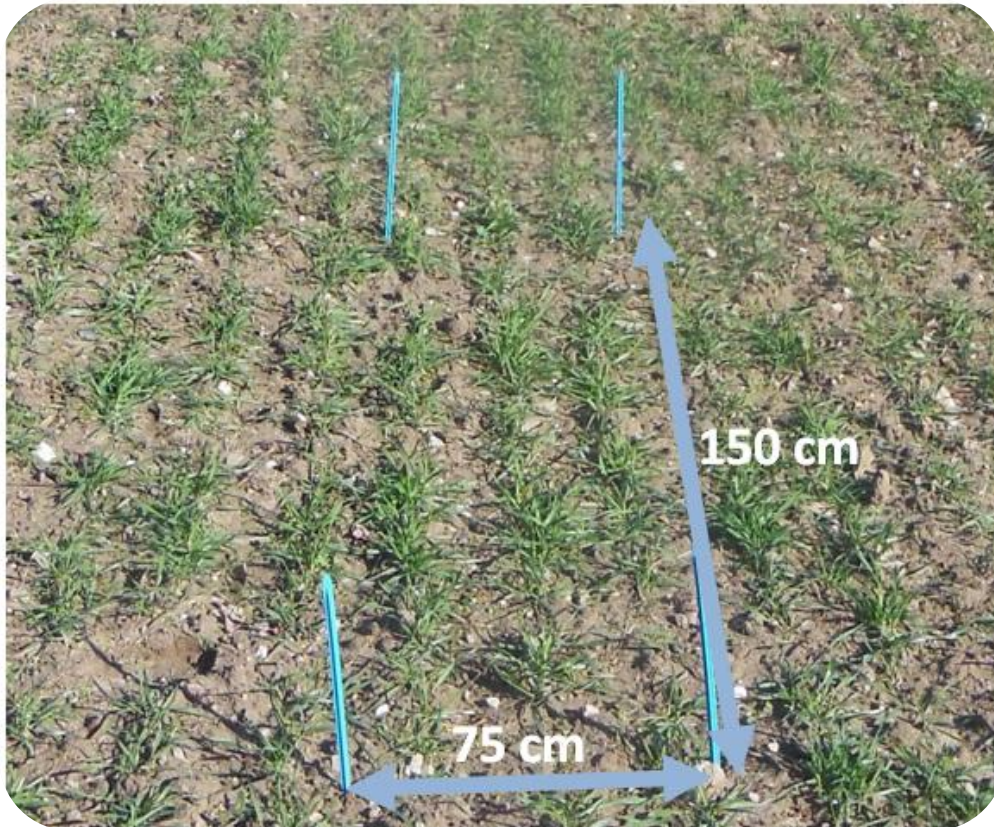


Figure 7 : Photo d'une placette de notation et prélèvement.

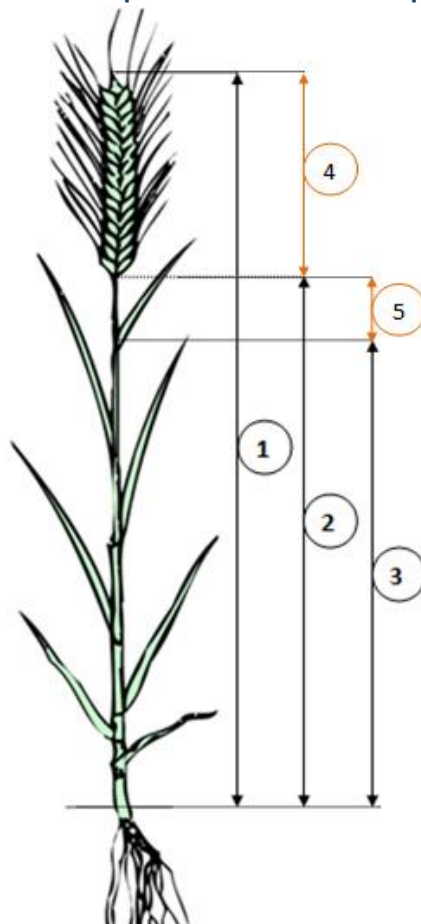


Figure 8 : Représentation des hauteurs mesurées et calculées (Adapté d'après www.plantsinaction.science.uq.edu.au)

D) Méthodologie mise en place

1) Mesures terrain

Dans le cadre du projet SAFARI le protocole prévoit d'analyser un grand nombre de facteurs différents et ce tout au long du cycle de culture du blé. Le détail de l'ensemble des facteurs étudiés est présenté en **annexe n°2**. Dans le cadre de notre étude seul certains facteurs ont été sélectionnés et sont détaillés ci-dessous.

a) Mesures liées aux caractères phénotypiques

Les mesures liées aux caractères phénotypiques sont réalisées à différents stades de développement du blé.

A la sortie de l'hiver, on observe la couverture du sol par le blé. Ces observations sont réalisées sur des placettes de 0.675 m² comme le montre la **figure 7** ci-contre. Pour chaque modalité, les deux placettes sont observées et ce sur chacune des trois répétitions. En se positionnant en vue d'en haut par rapport à la placette, on estime le pourcentage de la surface occupée par le sol nu, le blé, la légumineuse et les adventices. Le total de ces notes devant atteindre 100%.

Quand le blé atteint le stade de maturité, trois hauteurs sont alors mesurées : la hauteur totale de la plante (1), la hauteur de la base de l'épi (2) et enfin la hauteur de la dernière feuille (3) également appelée F1 ou feuille drapeau. Ces trois hauteurs permettront de connaître, par soustraction, la taille de l'épi (4) ainsi que la distance entre la dernière feuille et la base de l'épi (5) (LLSD : Last Leaf Spike Distance). L'ensemble de ces hauteurs est représenté sur la **figure 8**.

Ces mesures de hauteurs sont réalisées sur 14 plantes prises au hasard à intervalles réguliers tout au long de la bande. Ces mesures sont faites sur les trois répétitions. Dans les cas où la modalité observée est un mélange (ou association), on prend alternativement des plantes appartenant à chacune des variétés.

A stade de maturité également, une série d'observations est effectuée sur 10 épis. Les épis observés sont issus des échantillons prélevés dans les placettes pour les mesures de biomasses. (Cf. **Fig 9** au verso)

Sur ces dix épis on note la présence ou non de barbes, la couleur des glumes, le nombre d'épillet stériles. Après battage des épis un par un on détermine le nombre moyen de grains par épi. La pesée de l'ensemble des grains des dix épis nous donnera le PMG.



Figure 9 : Prélèvement des échantillons dans les placettes. (Photo : Equipe BCRP)

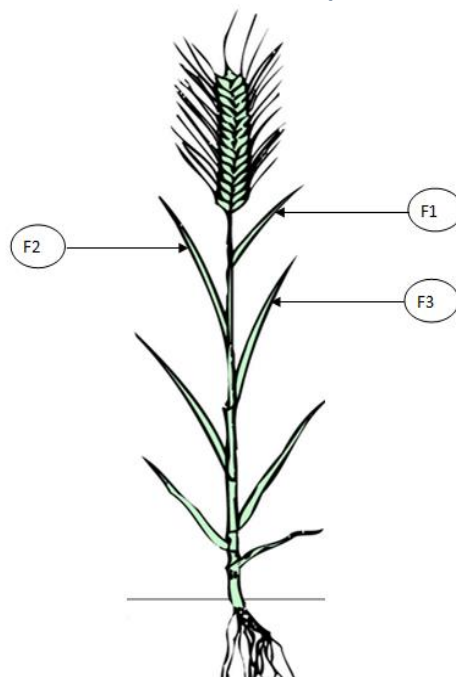


Figure 10 : Schéma explicatif des F1, F2 et F3.



Figure 11 : Evaluation de l'état sanitaire de feuilles de blé(Photo : Equipe BCRP)

b) Mesures liés aux maladies

La notation des maladies foliaires s'effectue en un passage quand le blé a atteint le stade floraison. Chaque bande de l'essai est notée une à une. Le prélèvement s'effectue de la manière suivante :

- ① On jette aléatoirement un bâton qui déterminera le premier spot de prélèvement.
- ② Sur cette zone on prend les 3 plants de blé les plus près du bâton.
- ③ Sur chacun des plants on prélève les feuille 1 (F1), feuille 2 (F2), feuille 3 (F3). (Cf. **Fig.10**)
- ④ On regroupe alors les trois F1, les trois F2 et les trois F3 issues des 3 plants. (Cf. **Fig. 11**)
- ⑤ Une fois les feuilles regroupées, comme le montre la photographie ci-contre on note le pourcentage moyen d'attaque sur les F1 pour chaque maladie. On procède de même pour les F2 et F3. Afin que les notations soient précises et reproductibles par différents expérimentateurs, il est possible d'utiliser des échelles de notation.

Cette opération est répétée 7 fois à intervalles réguliers tout au long de la bande.

Sur les feuilles on observe sept paramètres : l'helminthosporiose, l'oïdium, la rouille brune, la rouille jaune, la septoriose, les taches physiologiques ainsi que la surface de feuille verte. Le pourcentage de la surface de feuille concerné par chaque paramètre est ensuite reporté dans une grille de notation. Sur chaque spot le total des notes attribuées à chaque feuille (F1, F2 et F3) doit être égal à 100%.

4) Analyses

Dans cette analyse le choix a été fait de ne travailler que sur les données de l'essai mis en place au Lycée Agricole du Rheu. Sur ce lieu d'essai, les variétés modernes et population sont présentes. L'étude portant sur la culture de blé et les récoltes se déroulant début août, une partie des données n'était pas accessible au moment de l'analyse.

a) Analyse des données maladies.

Les notations liées à la santé des plantes nous ont permis de construire une base de données dont la structure est détaillée ci-dessous :

Pour les variétés modernes, la base de données contient 2205 valeurs :

- Sept colonnes correspondant à chacun des paramètres évalués.
- 315 lignes correspondant aux différents individus (3 répétitions * 5 modalités * 7 spots * 3 feuilles)

Ces données ont été relevées en un seul passage le 20/05/2015

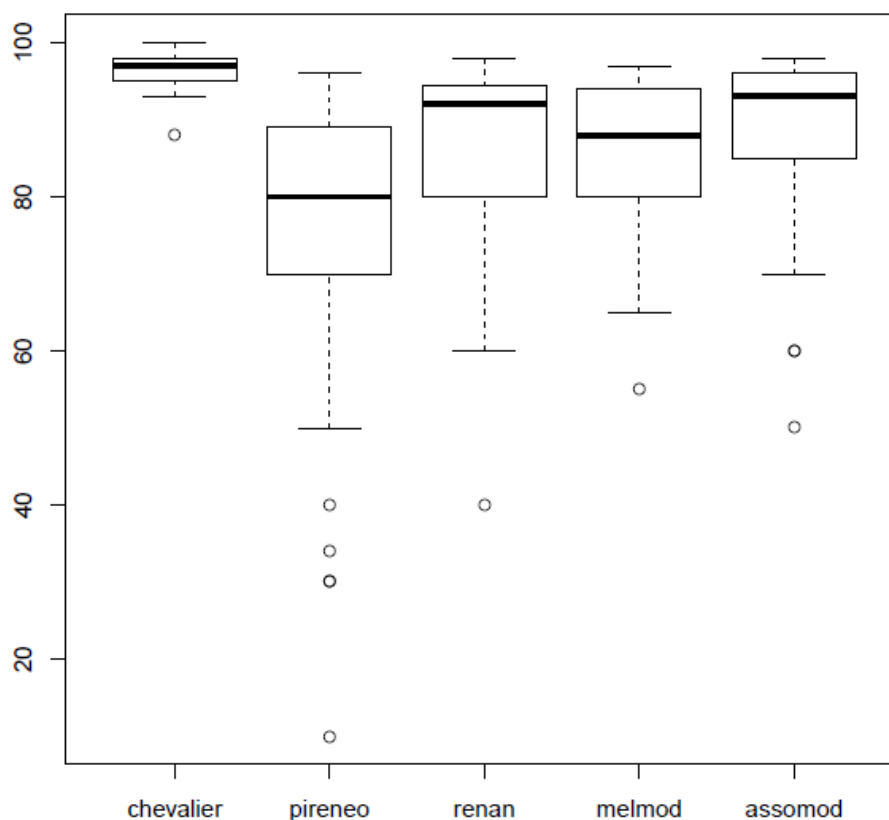
Pour les variétés population, la base de données contient 1260 valeurs :

- Sept colonnes correspondant à chacun des paramètres évalués.
- 180 lignes correspondant aux différents individus (3 répétitions * 5 modalités * 4 spots * 3 feuilles)

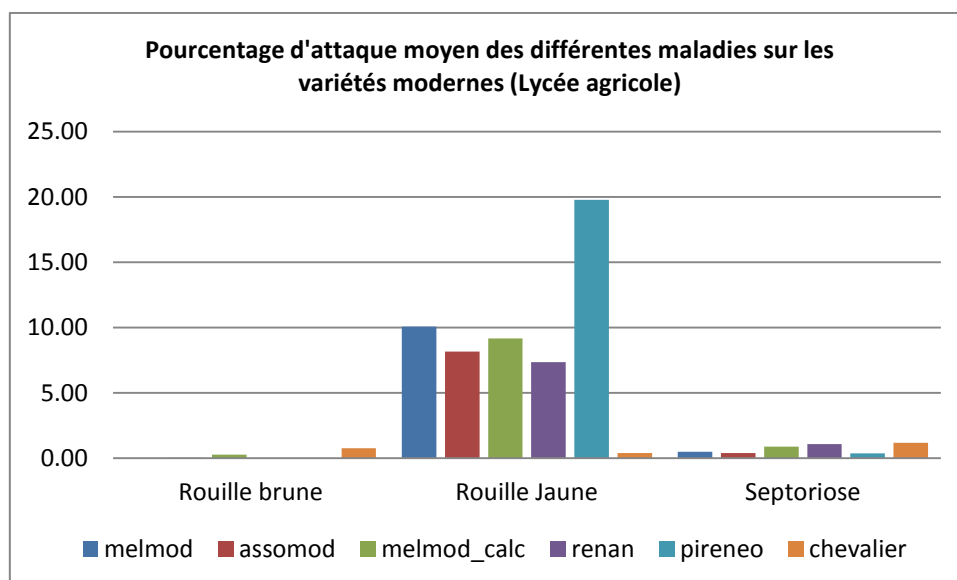
Ces données ont été relevées en un seul passage le 17/06/2015

Il est à noter que les relevés n'ont pas été effectués à la même date. En effet, lors de la notation effectuée sur les variétés modernes le 20 Mai, les variétés populations n'étaient que très peu (voire pas du tout) attaquées par les différentes maladies. Il ne sera donc pas possible de comparer les deux types de variétés. Cependant, il nous sera toujours possible d'observer un gradient de diversité au sein des variétés modernes d'une part et des variétés populations d'autre part.

Suite aux recherches bibliographiques, il apparait que la feuille qui conditionne la plus grande partie du rendement soit la feuille 1 (F1). (Source : "Further experiments on photosynthesis and translocation in wheat" F. G. H. LUPTON, 1972). A elle seule, elle apporterait plus de 45% des glucides contenus dans le grain. Cependant, les maladies foliaires progressant du bas vers le haut de la plante par contact ou "effet splash", il paraît également important de s'intéresser aux feuilles 2 et 3.



Graphique 1 : Boite de dispersion des pourcentages de feuille verte sur les F1, F2 et F3. (Variétés modernes)



Graphique 2. : Diagramme en barre des pourcentage moyen d'attaque pour les différentes maladies sur les variétés modernes

1) Les variétés modernes

Pour débiter l'analyse, nous allons observer le pourcentage de vert des F1, F2 et F3 réunies. On choisi ici d'observer la surface de feuille verte car elle représente l'état de santé global de la plante. On constate que les boites de dispersion (**graphique1**) sont relativement similaires. Seule la variété Chevalier semble avoir une surface de feuille verte plus importante que les autres. Pour expliquer cette différence intéressons nous au diagramme en barre ci-contre.

On constate ici que Chevalier a été épargné par la rouille jaune alors que les autres modalités ont toutes été impactées par cette maladie. On note également que la variété Pireneo a été particulièrement touchée par la rouille jaune.

Sur le **graphique 2** ci contre on peut voir une modalité nommé : "melmod_calc", celle-ci correspond à la moyenne des trois variétés en pur. Cette modalité théorique nous permet de comparer le mélange semé à la moyenne des trois variétés en pur, et ce afin d'évaluer le gain éventuel lié au mélange.

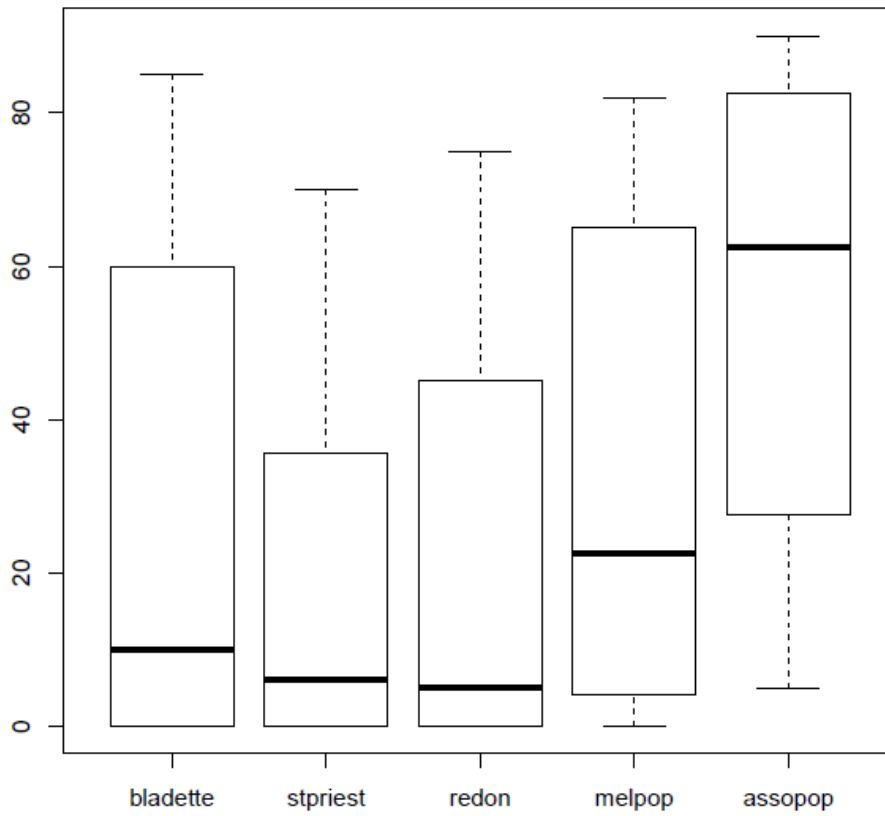
Afin de savoir si les différences observées graphiquement sont réellement significatives, nous allons mettre en place un test statistique à l'aide du logiciel R. Les données ne présentant pas une distribution normale, le choix a été fait d'utiliser le test de Kruskal-Wallis. Ce test est une alternative à l'analyse de variance lorsque la distribution des données n'est pas gaussienne.

```
> kruskal.test(ADmod$vert_ble~ADmod$mod_ble)
Kruskal-wallis rank sum test
Kruskal-wallis chi-squared = 126.0586, df = 4, p-value < 2.2e-16
```

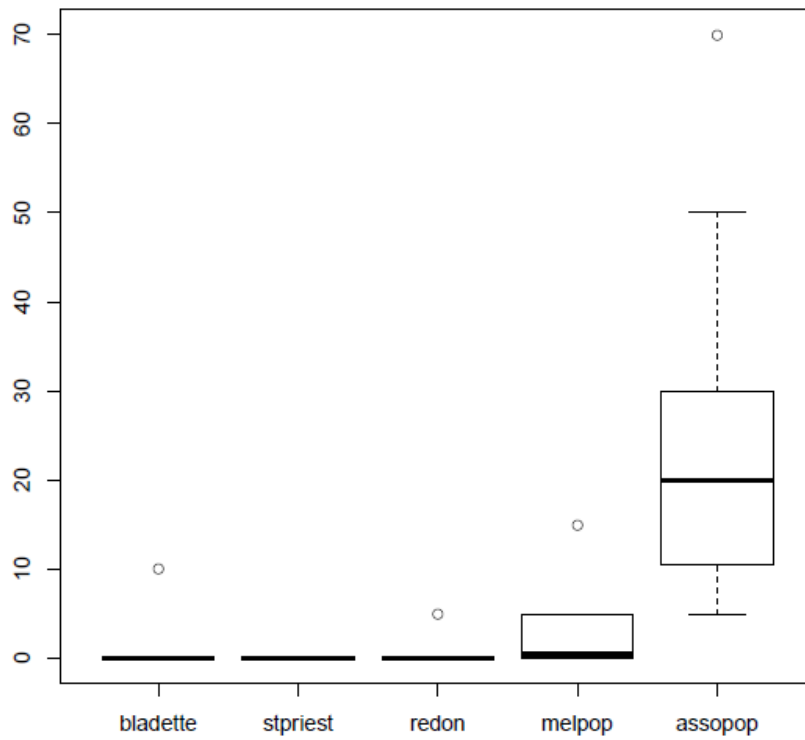
La valeur du p étant inférieure à 0.05 il existe une différence significative entre au moins deux modalités. Afin de connaître les modalités concernées par cette différence on applique un test nommé : " Multiple comparison test after Kruskal-Wallis" dont voici les résultats :

```
> kruskalmc(ADmod$vert_ble~ADmod$mod_ble)
Multiple comparison test after Kruskal-wallis
p.value: 0.05
Comparisons
```

	obs.dif	critical.dif	difference
chevalier-pireneo	172.79365	45.55128	TRUE
chevalier-renan	116.00794	45.55128	TRUE
chevalier-melmod	129.69048	45.55128	TRUE
chevalier-assomod	89.48413	45.55128	TRUE
pireneo-renan	56.78571	45.55128	TRUE
pireneo-melmod	43.10317	45.55128	FALSE
pireneo-assomod	83.30952	45.55128	TRUE
renan-melmod	13.68254	45.55128	FALSE
renan-assomod	26.52381	45.55128	FALSE
melmod-assomod	40.20635	45.55128	FALSE



Graphique 3 : Boite de dispersion des pourcentages de feuille verte sur les F1, F2 et F3. (Variétés population)



Graphique 4 : Boite de dispersion des pourcentages de feuille verte sur les F3. (Variétés populations)

Les seules différences significatives sont observées entre Chevalier et l'ensemble des autres modalités mais aussi entre Pireneo et l'association. Les différences de sensibilités de Chevalier et Pireneo constatées peuvent s'expliquer par leur résistance génétique respective. Ces résistances sont validées par les notes attribuées par ARVALIS dans les fiches variétés. (Cf. **Annexe 3**)

2) Les variétés populations

En observant **le graphique 3** ci-contre, on constate que les deux modalités présentant la plus grande surface de feuille verte sont le mélange et l'association. Cependant les données sont très dispersées ce qui rend moins précises les interprétations. Comme on peut le constater sur le **graphique 4**, les F3 étaient quasiment toutes sénescentes au moment de l'observation. Le graphique nous montre également que la sénescence de la F3 était moins prononcée pour l'association. Après analyse, on s'aperçoit qu'il existe un effet significatif de l'association sur le pourcentage de vert de la F3. L'association prolongerait donc la durée de vie de la F3 en comparaison de variétés en pur ou en mélange.

Afin de diminuer la dispersion, nous allons retracer les boîtes à moustache mais en supprimant la F3 de notre jeu de donnée (Graphique 5 au verso). On retrouve alors des répartitions similaires mais avec une dispersion moins élevée. Afin d'évaluer ces différences nous mettons en place le test de Kruskal-Wallis :

```
kruskal.test(ADpopF1_2$vert_ble~ADpopF1_2$mod_ble)
```

```
Kruskal-wallis rank sum test
data: ADpopF1_2$vert_ble by ADpopF1_2$mod_ble
Kruskal-wallis chi-squared = 34.5941, df = 4, p-value = 5.628e-07
```

Celui-ci nous donne une p-value inférieure à 0.05 %, il existe donc une différence significative entre au moins deux variétés.

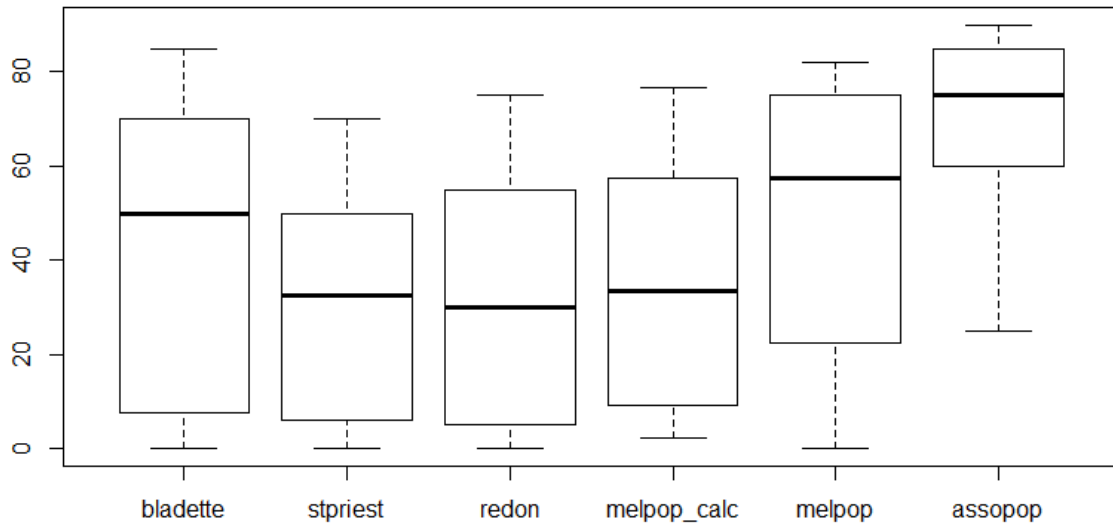
```
Multiple comparison test after kruskal-wallis
```

```
p.value: 0.05
```

```
Comparisons
```

	obs.dif	critical.dif	difference
bladette-stpriet	16.833333	35.34448	FALSE
bladette-redon	14.875000	35.34448	FALSE
bladette-melpop_calc	9.812500	35.34448	FALSE
bladette-melpop	14.729167	35.34448	FALSE
bladette-assopop	45.041667	35.34448	TRUE
stpriet-redon	1.958333	35.34448	FALSE
stpriet-melpop_calc	7.020833	35.34448	FALSE
stpriet-melpop	31.562500	35.34448	FALSE
stpriet-assopop	61.875000	35.34448	TRUE
redon-melpop_calc	5.062500	35.34448	FALSE
redon-melpop	29.604167	35.34448	FALSE
redon-assopop	59.916667	35.34448	TRUE
melpop_calc-melpop	24.541667	35.34448	FALSE
melpop_calc-assopop	54.854167	35.34448	TRUE
melpop-assopop	30.312500	35.34448	FALSE

Comme pressenti lors de l'observation des boîtes à moustache, il existe une différence significative du pourcentage de feuille verte entre l'association et les autres variétés en pur. Le mélange, quant à lui, est dans une position intermédiaire car il n'est pas significativement différent ni des variétés en pur ni de l'association



Graphique 5 : Boite de dispersion des pourcentages de feuille verte sur les F1 et F2. (Variétés populations)

Les différences observées ici confirment ce qui avait pu être lu dans la bibliographie par rapport à l'intérêt des associations et mélanges. En effet, les analyses nous permettent de dire que, lorsque l'on associe une légumineuse à un mélange de variété population, la surface de feuille verte est plus importante que quand la population est semée en pur. On peut donc dire que la culture en association (et en mélange dans une moindre mesure) permet de maintenir les plantes dans un état sanitaire plus satisfaisant comparé à des cultures de populations pures.

b) Analyses de la diversité phénotypique

Comme expliqué dans la partie 3)B)2), l'analyse des caractères phénotypiques en vue d'évaluer la diversité des différentes modalités se fera en utilisant l'indice de Nei.

Les indices présentés dans les parties suivantes résultent d'une base de données comprenant pour chaque groupe de variétés (modernes / populations) : 210 lignes (5 variétés * 3 répétitions * 14 spot).

Pour chaque variable (haut_tot : hauteur totale du plant de blé, llsd : distance entre la dernière feuille et la base de l'épi, long_epi : longueur de l'épi), l'indice de Nei est calculé. Un exemple de feuille de calcul est proposé dans **l'annexe 4**. On effectue ensuite une moyenne des indices de chaque variable afin d'obtenir l'indice total de diversité pour la variété concernée. Plus cet indice est proche de 1 et plus la modalité est considérée comme hétérogène.

Les variétés modernes et population ayant des caractéristiques très différentes, le choix a été fait d'analyser les données du groupe population et moderne séparément. En effet, en essayant d'analyser toutes les données ensemble, on se retrouve à utiliser des classes très étendues et donc imprécises.

	Chevalier	Pireneo	Renan	Melmod	Assomod
haut_tot	0.544	0.603	0.632	0.709	0.710
llsd	0.418	0.615	0.553	0.577	0.591
long_epi	0.539	0.526	0.575	0.531	0.543
TOTAL	0.500	0.581	0.587	0.605	0.615

Tableau 3 : Récapitulatif des indices de Nei (Variétés modernes)

	Bladette	Redon	St Priest	Melpop	Assopop
haut_tot	0.534	0.577	0.675	0.625	0.659
llsd	0.520	0.565	0.509	0.531	0.567
long_epi	0.518	0.571	0.472	0.523	0.540
TOTAL	0.524	0.571	0.552	0.559	0.588

Tableau 4 : Récapitulatif des indices de Nei (Variétés populations)

	Note Santé	Note Diversité	Bilan
Chevalier	+++	0	Celui qui a le mieux résisté et qui présente la plus faible hétérogénéité.
Pirénéo	+	1	Celui qui a le moins bien résisté et qui présente une faible hétérogénéité.
Renan	++	2	A bien résisté et présente une hétérogénéité moyenne.
Mélange	++	3	A bien résisté et présente une hétérogénéité supérieure.
Association	++	4	A bien résisté et présente la plus grande hétérogénéité.

Tableau 5 : Bilan des analyses (Variétés modernes)

/! Les notes ont été données de façon arbitraire et ne permettent que de classer les variétés les unes par rapport aux autres et ce suite aux résultats obtenues dans les analyses précédentes.

1) Variétés modernes

Le **tableau 3** dresse le bilan des indices de Nei pour les variétés modernes. Quand on regarde les totaux, on s'aperçoit, que la modalité où la diversité est la plus grande est l'association (0.615), suivie du mélange(0.605); viennent ensuite les variétés en pur. On constate ici que la variété Chevalier est la plus homogène (0.500). Le mélange et l'association étant constitués des trois variétés populations, il paraît logique que ces deux modalités présentent la plus grande hétérogénéité. Cependant, pour certains paramètres comme la LLSD, on constate que la diversité est plus grande pour les variétés en pur.

2) Variétés populations

Le **tableau 4** dresse le bilan des indices de Nei pour les variétés populations. Pour les variétés populations, la modalité qui présente la plus grande hétérogénéité est l'association avec un indice de diversité totale de 0.588, suivie de la variété Redon avec 0.571.

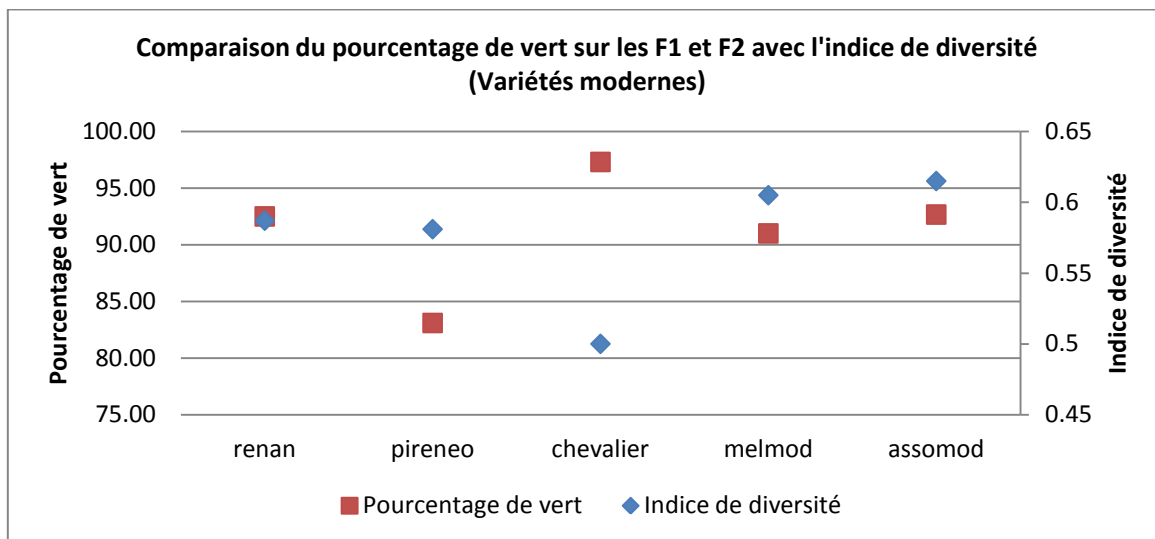
La variété la plus homogène est la Bladette avec un indice de 0.524. Les différences observées ici sont assez faibles et ceci peut s'expliquer par le fait que les populations présentent toutes en leur sein une grande hétérogénéité.

Il paraît également surprenant que le mélange présente une hétérogénéité plus faible que la variété Redon, ce point sera approfondi dans les discussions en fin de rapport.

c) Relation entre diversité phénotypique et santé des plantes

1) Variétés modernes

Suites aux analyses réalisées sur les variétés modernes dans les parties précédentes, on peut dresser le **tableau 5** ci-contre.

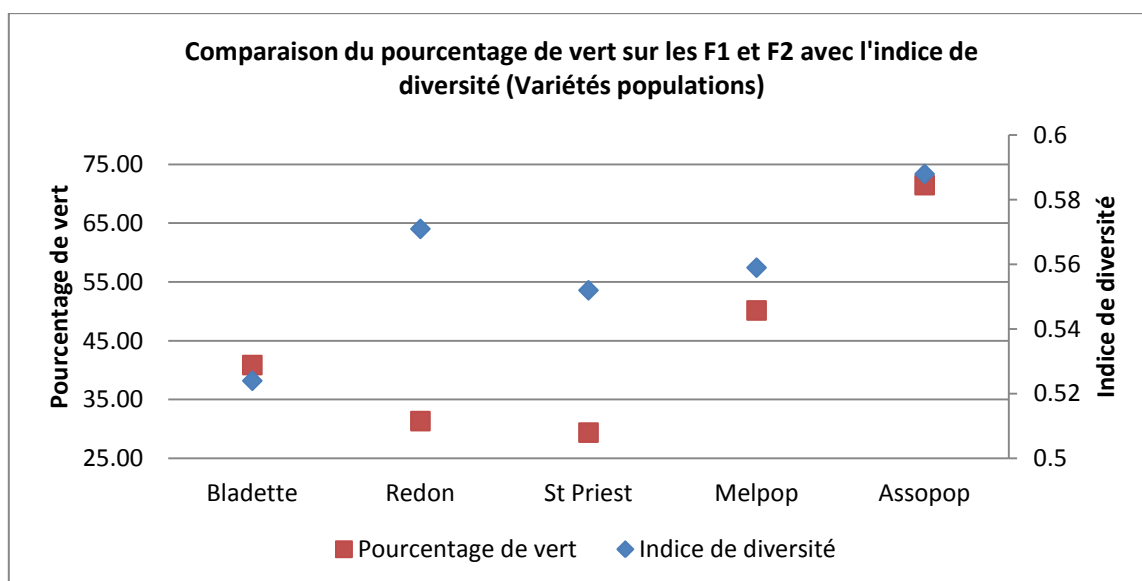


Graphique 6 : Comparaison du pourcentage de vert et de l'indice de diversité. (Variétés modernes)

	Note Santé	Note Diversité	Bilan
Bladette	++	0	A bien résisté et présente la plus faible hétérogénéité.
Redon	+	3	A le moins bien résisté et présente une hétérogénéité supérieure.
St Priest	+	1	A le moins bien résisté et présente une hétérogénéité inférieure.
Mélange	++	2	A bien résisté et présente une hétérogénéité moyenne.
Association	+++	4	A le mieux résisté et présente la plus grande hétérogénéité.

Tableau 6 : Bilan des analyses (Variétés populations)

⚠ Les notes ont été données de façon arbitraire et ne permettent que de classer les variétés les unes par rapport aux autres et ce suite aux résultats obtenues dans les analyses précédentes.



Graphique 7 : : Comparaison du pourcentage de vert et de l'indice de diversité. (Variétés populations)

Afin de comparer les données maladies, on peut également tracer le nuage de points présenté sur le **graphique 6**.

Notre hypothèse de départ était que plus la diversité au sein de la modalité est grande, plus cette modalité est résistante. Cet essai ne valide pas cette hypothèse car ici c'est la variété Chevalier qui, avec la plus faible hétérogénéité, s'en sort le mieux vis à vis des maladies. La variété Pirénéo est celle qui a le plus souffert des maladies, mais on constate que son hétérogénéité est relativement faible, ce qui va plutôt dans le sens des nos hypothèses de départ.

La variété Renan (comme à son habitude) se retrouve dans une position moyenne que ce soit au niveau de sa résistance aux maladies qu'a son niveau d'hétérogénéité. Les mélanges et associations sont logiquement les plus diversifiés et présentent un niveau de résistance moyen.

Pour les variétés modernes, dans le cadre de cet essai, les mélanges et associations ne présentent pas de différences significatives avec les autres modalités. Ici, aucun effet améliorant de l'augmentation de la diversité sur l'état sanitaire n'a pu être établi.

2) Variétés populations

Les **tableau 6** et **graphique 7** permettent de dresser un bilan des différentes analyses. Pour les variétés populations, notre hypothèse de départ semble davantage respectée. Dans cette partie de l'essai, c'est l'association qui a le mieux résisté aux maladies foliaires et c'est également elle qui présente l'hétérogénéité la plus forte. Dans ce cas, on peut supposer que le fait d'associer une légumineuse à un mélange de variétés permet de diminuer les attaques fongiques.

Cependant, l'inverse ne se vérifie pas. En effet, Bladette qui présente l'indice de diversité le plus faible, a plutôt bien résisté. Quant à Redon, qui présente un indice de diversité plutôt élevé, la sensibilité aux maladies foliaires est plutôt haute.

Il est intéressant de remarquer les différences de résultat entre les variétés modernes et populations. Dans le cas des modernes, le mélange semble se comporter comme une simple juxtaposition des trois variétés, chacune gardant son comportement exprimé en pur. En revanche, pour les populations, le pourcentage de vert du mélange et de l'association est supérieur à toutes variétés en pur, cela pourrait montrer un effet synergique lorsque les populations sont mélangées.

Rouille Jaune Rep 1					Rouille Jaune Rep 2					Rouille Jaune Rep 3				
Asso	Pir.	Renan	Mél	Chev	Asso	Pir.	Renan	Mél	Chev	Asso	Pir.	Renan	Mél	Chev
0	25	10	20	0	7	20	15	26	0	20	25	50	7	0
5	40	25	5	0	35	25	15	15	2	20	30	18	25	0
5	20	20	20	0	15	20	20	20	0	5	25	10	12	0
15	35	0	20	0	15	85	25	20	1	4	30	1	20	0
10	5	20	20	0	25	55	15	15	0	10	55	35	25	1
10	5	0	20	5	40	30	20	30	0	0	30	5	15	0
15	15	3	25	3	30	65	20	20	0	5	20	25	10	0

Tableau 7 : Représentation graphique des notes de rouille jaune sur la F3 au Lycée Agricole

5) Discussion

-> Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental de cette étude est relativement simple afin que celui-ci puisse être mis en place aisément par les agriculteurs. Les différentes modalités ne sont pas randomisées au sein des blocs elles sont donc répétées dans le même ordre dans les trois blocs. Ce type de structure d'essai pourrait influencer certains résultats comme ceux liés à la rouille jaune qui progressent par tache dans les parcelles. Dans nos résultats, on a pu observer que la variété Pireneo était particulièrement sensible à cette maladie. Comme le montre le **tableau 7** représentant graphiquement les notations maladies, on s'aperçoit que les voisins de Pireneo sont également touchés. Le fait que Chevalier soit toujours éloigné de cette variété sensible a peut être pu influencer sur les résultats liés aux maladies. La mise en place de répétition où les variétés seraient placées au hasard (randomisée) permettrait de diminuer cet effet.

-> Les notations

Comme on a pu le voir dans la partie D)1)b), les notations liées aux maladies s'effectuent en un seul passage par essai. Les maladies apparaissant de façon rapide sur la parcelle et il est assez difficile de choisir le moment où la notation doit être effectuée. De plus, toutes les maladies n'apparaissent pas au même moment : la rouille jaune, par exemple, est souvent plus précoce que la rouille brune. Afin de rendre plus précis ce type de note, il pourrait être envisagé d'effectuer plusieurs passages sur chaque parcelles. Cependant, ce type de notation étant chronophage (environ 7h par essai pour une personne) et les sites du projet étant nombreux et dispersés sur plusieurs départements, la mise en place d'une notation en deux passages semble compliquée à mettre en œuvre. Concernant les notations, un autre facteur pourrait à mon sens influencer sur la précision des résultats. Dans les modalités où plusieurs variétés sont présentes (mélange et association), il est parfois difficile de respecter une équité parfaite entre les trois variétés présentes en prélevant alternativement des plants issus de chaque variété. Ce biais pourrait être corrigé en augmentant le nombre de spots de notation. Ici encore, le problème du temps nécessaire pour effectuer les mesures se pose.

-> Estimation de la diversité

Dans la présente étude, le choix a été fait d'utiliser l'indice de Nei pour estimer la diversité des différentes modalités. Cependant, dans les autres études (Hugo Gonzales Dupuy, 2012, Evaluation of strategies for population diversity under the framework of on-farm wheat breeding and crop management: methodological aspects) où cet indice a été utilisé le nombre de paramètres pris en compte est de l'ordre d'une dizaine. Initialement, il était prévu d'utiliser huit paramètres différents, mais par manque de temps (temps entre la récolte et la rédaction du présent rapport), je ne me suis appuyé que sur trois variables. De plus ces variables sont toutes liées à la hauteurs des plantes.

Afin d'affiner les résultats il faudrait utiliser un nombre d'indicateurs plus large et émanant de différents types de mesures (comptage de grain, comptage d'épillets stériles, couleur des glumes, etc...) : ce travail sera fait par le labo dans les semaines qui viennent quand l'ensemble des données seront collectées sur les épis récoltés.

-> Choix des variétés

Au moment du choix des variétés population, l'accent a été mis sur la diversité d'origine géographique des différentes populations. Cependant, après deux années de culture, une ressemblance troublante a été observée entre les variétés StPriest Vernois Rouge et Redon Roux Pâle. Après quelques recherches menées notamment par F.Mercier, il apparaîtrait que ces deux variétés soit en fait issues d'une variété population commercialisée dans les années 40 et appelé "Progress". Ces deux populations auraient donc un ancêtre commun et auraient ensuite évolué chacune de leur côté, l'une en Ile et Vilaine et l'autre dans l'Allier. Afin de clarifier ce point, des analyses génétiques seront effectuées sur les deux variétés concernées.

-> Impact de la diversité sur les maladies

Les différences de résultats observés sur la surface restée verte entre les populations et les variétés modernes nous amènent à nous questionner sur leur comportement en mélange ou en association. Les variétés modernes semblent garder leur comportement individuel en pur ou en mélange sans être influencées par leurs voisines. Les variétés populations semblent quant à elles avoir un comportement individuel différent si elles sont cultivées en pur ou en mélange et association. La surface de feuille restée verte n'est que la moyenne des valeurs en pur pour le mélange des modernes, alors que cette surface est bien supérieure aux valeurs individuelles quand il s'agit du mélange des populations et encore davantage quand on considère l'association. Tout se passe comme si une synergie, une forme de collaboration, apparaissait entre les plantes. Cette piste pourrait être approfondie et mise en relation avec éventuellement les relations symbiotiques mycorhiziennes. En effet, sur ces mêmes essais, (C.Devineau - Etude de la mycorhization du blé, 06/2015)il à été mise en évidence que les relations symbiotiques étaient plus dynamiques sur les variétés populations que sur les variétés modernes.

CONCLUSION

Cette expérimentation nous à permis de mettre évidence que pour les variétés populations, le fait de cultiver plusieurs populations en mélange permet de conserver un état sanitaire supérieur à celui des populations semés en pur. Ce gain est encore plus significatif quand on ajoute une féverole au mélange. Nos hypothèses de départ sont donc en partie validées par cette étude. Les variétés modernes étudiées n'ont pas pu valider nos hypothèses de départ, cependant, il serait intéressant de regarder les résultats obtenues sur les autres sites d'expérimentation afin de confirmer où d'infirmier les résultats obtenus ici. Le projet SAFARI se déroulant sur plusieurs années successives il sera également intéressant de se pencher sur les résultats finaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- André Gallais, 2010, Homogénéité vs hétérogénéité et performances des structures variétales en amélioration des plantes. "Le Sélectionneur Français" 2010, p61 - 74
- Arvalis - Institut du végétal , Guide Maladies des céréales - Mars 2009. Chambre régionale d'agriculture des Pays de la Loire. Téléchargeable sur www.agrilianet.com
- Bernard Hubert, Catherine Aubertin et Jean-Paul Billaud , 2013, Recherches participatives, recherches citoyennes...une clarification nécessaire, Natures Sciences Sociétés 21, p1-2
- Bocci R, Chable V. 2008. Semences paysannes en Europe : enjeux et perspectives. Cahiers d'études et de recherche francophones/ Agricultures. 2008, 17 (2) : 216-221.
- Bouharmont. J, 1995 : Création variétale et amélioration des plantes. Agronomie moderne. Bases physiologiques et agronomiques de l'amélioration de la production végétale, Hatier. Paris. (1995). p313-337.
- Chable, V., & Berthelot, J. F. (2006). La sélection participative en France: présentation des expériences en cours pour les agricultures biologiques et paysannes. Le courrier de l'environnement de l'INRA, 30, 129-138.
- Claire Hamon, 2007, Mise en place d'un indicateur de diversité cultivée à l'échelle territoriale : Cas de l'évolution de la diversité du blé tendre au cours du XXe siècle. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'agronomie approfondie.
- E. Kosman 2003 Nei's gene diversity and the index of average differences are identical measures of diversity within populations. Plant Pathology num 52, p533-535.
- FAO, 1996, Rapport sur l'état des ressources phytogénétiques dans le monde préparé pour la Conférence technique internationale sur les ressources phytogénétiques, Leipzig, Allemagne 17 au 23 Juin 1996.
- Finckh, M. R. et Wolfe, M. S. ,2006. Diversification strategies. In B. M. Cooke et al. (Eds.), The Epidemiology of Plant Disease. (pp. 269-308). Springer
- Florent Mercier et Coralie Pireyre, 2011 Guide technique : "Des blés bio...diversité ! ". Ed: CAB Pays de la Loire
- Guy Kastler, 2014, Biodiversité cultivée : les tribulations de la politique génétique française. Réseau Semences paysannes. Publié le 30-01-2014 sur <http://www.semencespaysannes.org/bdf/bip/fiche-bip-206.html>
- Hennink, S.; Zeven, A. 1991. The interpretation of Nei and Shannon-Weaver within population variation indices. Euphytica, Vol.51(3), pp.235-240.
- Hugo Gonzales Dupuy, 2012, Evaluation of strategies for population diversity under the framework of on-farm wheat breeding and crop management: methodological aspects. Report on the Internship conducted at INRA Centre de Rennes.
- Laurence Tubiana (dir.), Actes du colloque : Perte de biodiversité et vulnérabilité sanitaire des systèmes de production. 25/06/2014, Paris.
- LUPTON F., G. H. (1966). Translocation of photosynthetic assimilates in wheat. Ann. Appl. Biol. 57, 335-64..
- Nei, M., 1973. Analysis of Gene Diversity in Subdivided Populations. Prec. Nat. Acad. Sei. USA 70 (12): 3321-3323

- Riccardo Bocci, Véronique Chable, 2007, Semences paysannes en Europe : enjeux et perspective. *Agricultures*, Vol. 17 Num. 2. p216-221.
- Rolland Bernard, Le Champion Antonin et Oury François-Xavier , 2012. Pourquoi sélectionner de nouvelles variétés de blé tendre adaptées à l'agriculture biologique ? *Courrier de l'environnement de l'INRA* n° 62 : p71-86
- Marie-Hélène Jeuffroy et al. 2010. Les associations de variétés de blé : performances et maîtrise des maladies. "Le Sélectionneur Français" (61),p75-84.
- Jean-Louis Pham et al. Some lessons drawn from twelve years of dynamic management of winter wheat populations (*Triticum aestivum*) in France. *Bocconea*, 1997, vol. 7, p. 219-226.

Sites Web :

- <http://www.fao.org/home/fr/>, consulté le 02/04/15
- <http://www.franceagrimer.fr/>, consulté le 31/03/15
- <http://www.museum.agropolis.fr/>, consulté le 16/03/2015.
- <http://www.passioncereales.fr/>, consulté le 13/03/2015
- <http://www.semencespaysannes.org/>, consulté le 05/03/15
- <http://www.agencebio.org/>, consulté le 13/03/2015

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Organigramme du SAD-Paysage (www6.rennes.inra.fr/sad)	2
Figure 2 : Débouchés des blés français. (www.passioncereales.fr)	4
Figure 3 : Généalogie des blés (www.museum.agropolis.fr)	4
Figure 4 : Représentation du gradient de diversité dans SAFARI.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 5 : Carte des essais SAFARI.	22
Figure 6 : Représentations schématique du dispositif expérimental.....	22
Figure 7 : Photo d'une placette de notation et prélèvement.....	28
Figure 8 : Représentation des hauteurs mesurées et calculées (Adapté d'après www.plantsinaction.science.uq.edu.au)	28
Figure 9 : Prélèvement des échantillons dans les placettes. (Photo : Equipe BCRP).....	30

TABLE DES TABLEAUX

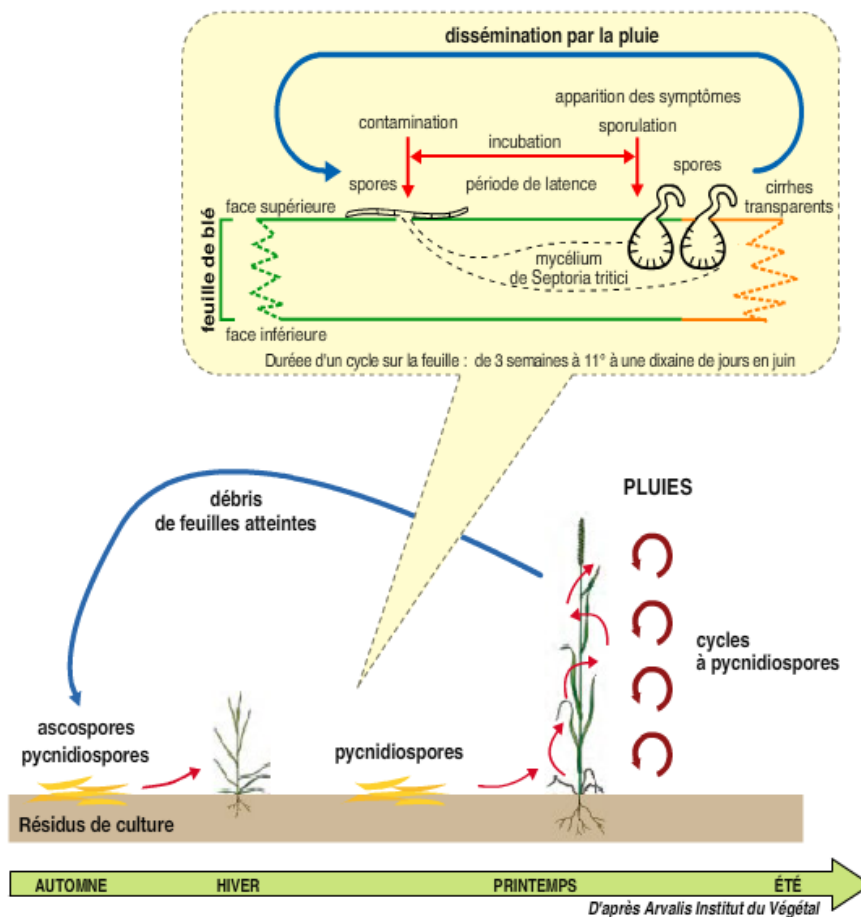
Tableau 1 : Description des variétés commerciales. (ARVALIS).....	20
Tableau 2 : Description des variétés population (Des blés bio...diversité !, 2011)	20
Tableau 3 : Tableau récapitulatif des indices de Nei (Variétés modernes).....	40
Tableau 4 : Récapitulatif des indices de Nei (Variétés populations).....	40
Tableau 5 : Bilan des analyses (Variétés modernes)	40
Tableau 6 : Bilan des analyses (Variétés populations)	42
Tableau 7 Représentation graphique des notes de rouille jaune sur la F3 au Lycée Agricole	44

TABLE DES GRAPHIQUES

Graphique 1 : Boite de dispersion des pourcentages de feuille verte sur les F1, F2 et F3. (Variétés moderne)	34
Graphique 2. : Diagramme en barre des pourcentage moyen d'attaque pour les différentes maladies sur les variétés modernes.....	34
Graphique 3 : Boite de dispersion des pourcentages de feuille verte sur les F1, F2 et F3. (Variétés population) .	36
Graphique 4 : Boite de dispersion des pourcentages de feuille verte sur les F3. (Variétés populations)	36
Graphique 5 : : Boite de dispersion des pourcentages de feuille verte sur les F1 et F2. (Variétés populations)....	38
Graphique 6 : Comparaison du pourcentage de vert et de l'indice de diversité. (Variétés modernes)	42
Graphique 7 : : Comparaison du pourcentage de vert et de l'indice de diversité. (Variétés populations)	42



Symptômes de la septoriose. (Source : ARVALIS)



Représentation du cycle de vie de *septoria tritici* (Source : ARVALIS)

ANNEXES

Annexe 1 : Les maladies du blé

Septoriose

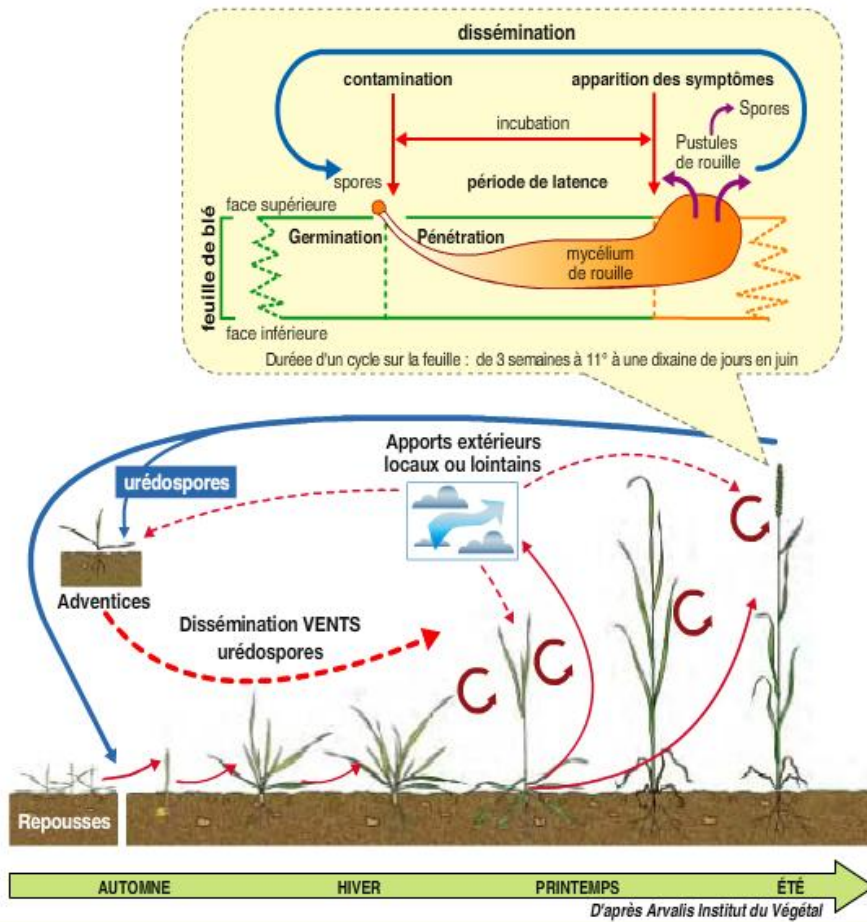
Cette maladie cryptogamique est provoquée essentiellement par *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) dans nos régions mais également par *Stagonospora nodorum* dans le sud est de la France. C'est une des maladies principales du blé et son intensité est très dépendante des conditions climatiques de l'année.

- *Symptômes et stade* : Les premiers symptômes peuvent être observés dès les premiers stades. Des taches blanches à brune (souvent bordé d'un halo jaune) apparaissent et sont visibles sur les deux faces de la feuille. La présence de pycnides noires très visibles au sein des taches est caractéristique de la septoriose.
- *Cycle de vie* : Comme on peut le voir dans le schéma ci-contre, le cycle de *Septoria Tritici* débute soit par la présence de résidus de culture (ou adventices) contaminés soit par l'arrivée sous l'effet du vent d'ascospores sur la parcelle. Ensuite, par temps humide, les pycnides vont se gorger d'eau puis des spores vont être expulsés sous formes d'une gelée transparente appelée cirrhe. La dissémination se fera ensuite sous l'effet de la pluie. En effet, les éclaboussures provoquées par les gouttes permettront aux spores de remonter progressivement jusqu'aux feuilles supérieures. Une propagation physique est également possible en cas de chevauchement de feuilles saines avec des feuilles déjà contaminées. Dans certains cas et si la souche présente est *Staganospora nodorum*, la contamination peut infecter l'épi puis les grains et donc éventuellement les semences ce qui peut provoquer une fonte des semis dû à la septoriose.
- *Méthodes de lutte* : Choix variétal



© ARVALIS - Institut du végétal

Symptômes de la rouille brune. (Source : ARVALIS)



Représentation du cycle de vie de *Puccinia recondita* (Source :ARVALIS)

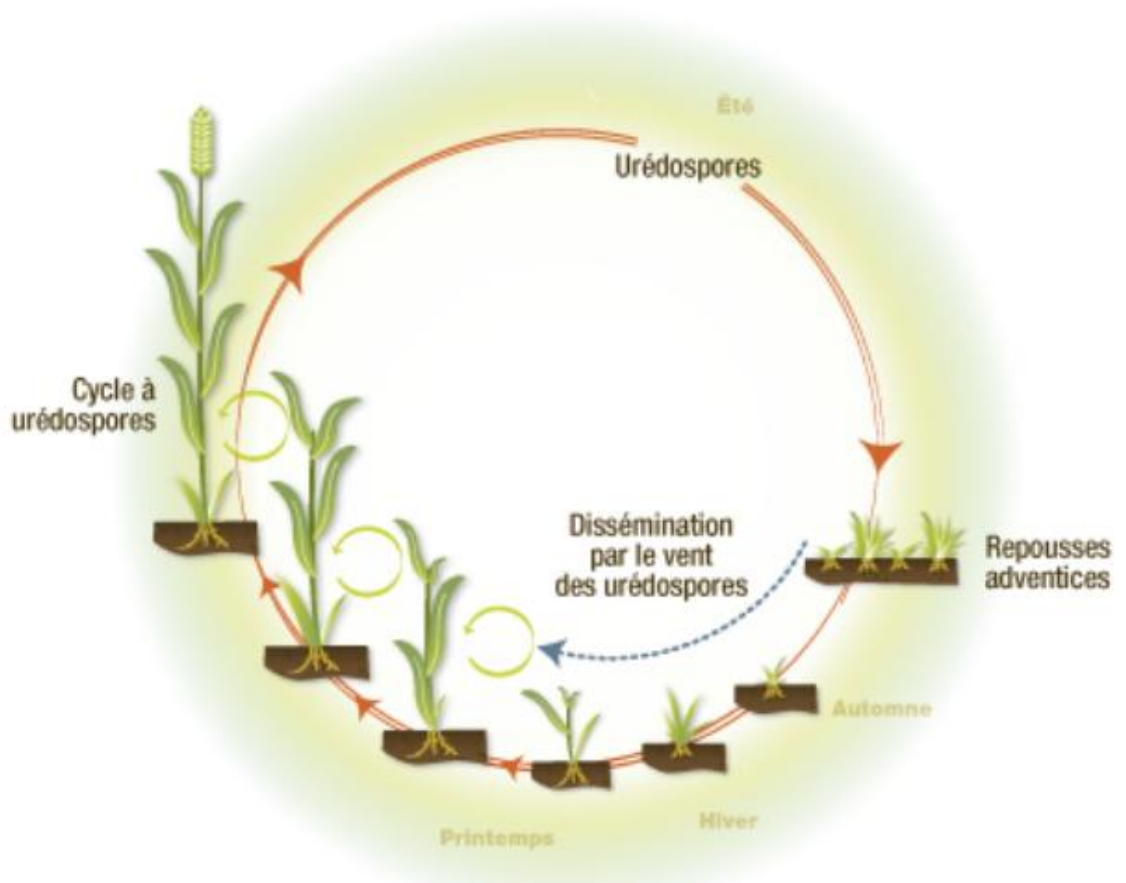
Rouille brune

C'est le champignon *Puccinia recondita* qui est responsable de cette rouille. Longtemps considérée comme une maladie secondaire, la rouille brune pose de plus en plus de difficultés. En effet, le réchauffement climatique est plutôt favorable à la rouille brune qui, en cas d'hiver doux et humide, aura la possibilité de réaliser plusieurs cycles et ainsi produire des spores en grand nombre.

- Symptômes et stades : cette maladie peut être observée à partir du stade 2 nœuds pour les cas les plus précoces. Il est souvent plus simple de la détecter à partir du stade 3 nœuds, stade auquel des pustules orangés remplis de spores apparaissent de manière homogène sur toute la face supérieure de la feuille.
- Cycle de vie : contamination par urédospores présentes soit dans les débris végétaux ou graminées adventices de la parcelle, soit par contamination plus lointaine dû au transport de ces urédospores par le vent. Cette rouille apparaît de façon "homogène" sur la parcelle car la contamination se fait le plus souvent par l'intermédiaire du vent
- Méthodes de lutte :
 - choix de variétés résistantes,
 - éviter les semis précoces et dense
 - destruction des repousses de blé et autres graminées adventices.



Symptômes de la rouille jaune. (Source : ARVALIS)



Source : Arvalis Institut du Végétal - Bayer CropScience

Représentation du cycle de vie de *Puccinia striiformis* (Source :ARVALIS)

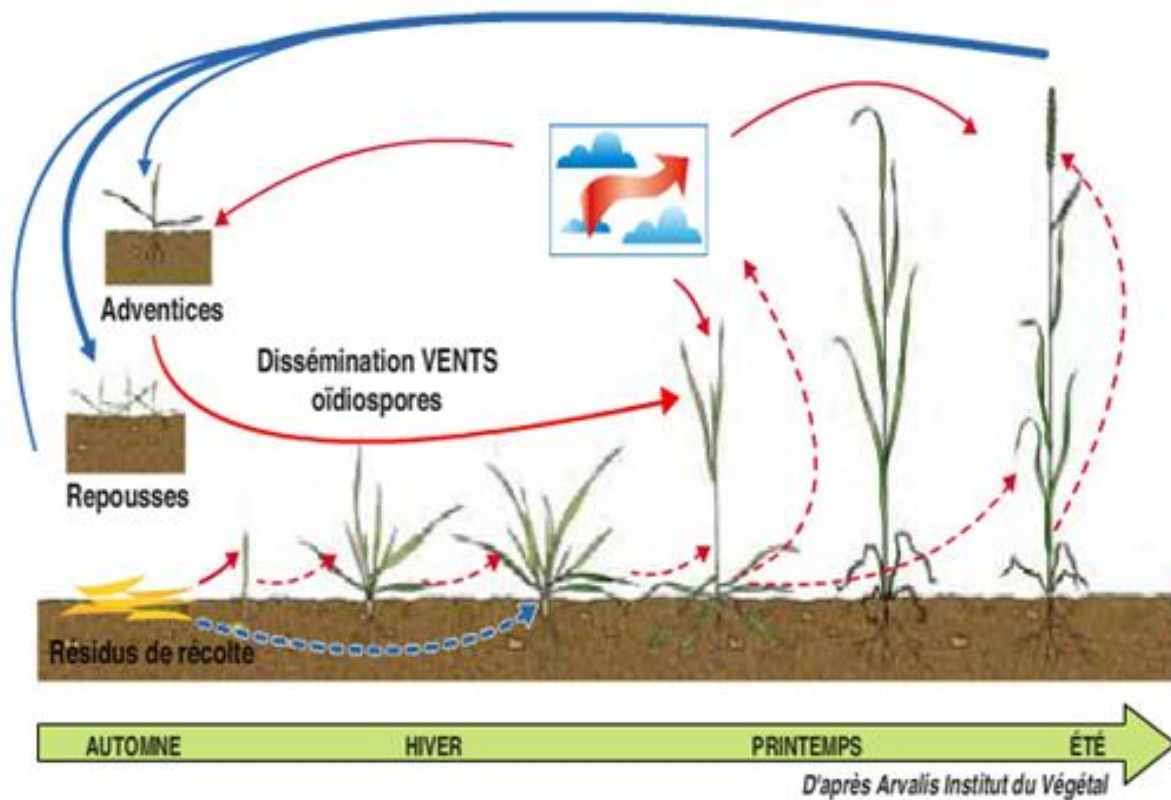
Rouille jaune

Cette maladie se développe fortement ces dernières années avec notamment l'apparition de souches qui contournent les tolérances variétales. Le champignon qui se cache derrière cette rouille porte le nom de *Puccinia striiformis*.

- *Symptômes et stades* : les premières observations peuvent se faire à la sortie de l'hiver. Les premières attaques apparaissent sous forme de petits foyers (quelques m²) très localisés. Ces petits foyers peuvent être la base d'infestation massive. En effet, la rouille jaune peut engendrer des dégâts très importants. Sur les feuilles, on note l'apparition de pustules jaunes à orangés alignés dans le sens des nervures (contrairement à la rouille brune où les taches sont dispersées sur toute la feuille). Des taches chlorotiques peuvent être observées le long des nervures et peuvent prédire l'arrivée des pustules. Sur les feuilles qui ont subi la contamination on peut parfois observer des téléutosores noirs et allongés qui contiennent des spores.
- *Méthodes de lutte* : seul le choix de variétés peu sensibles permet de lutter efficacement contre la rouille jaune.



Symptômes de l'oïdium (Source : ARVALIS)



Représentation du cycle de vie de *Blumeria graminis* (Source :ARVALIS)

Oïdium

Blumeria graminis, c'est ainsi que se nomme le champignon à l'origine de cette maladie. Le blé peut être attaqué par l'oïdium durant toute la durée de son cycle. Les feuilles, tiges et épi peuvent être contaminés. L'oïdium n'est pas très pénalisant pour la culture s'il reste cantonné aux tiges et feuilles. Cependant si l'épi est attaqué les dégâts peuvent être importants.

- Symptômes et stades : les attaques d'oïdium sont réparties de façon homogène sur la parcelle car la dissémination des spores se fait par le vent. Les premiers symptômes s'observent sur les feuilles basses de la plante. La face supérieure des feuilles est alors ponctuée de taches cotonneuses blanches qui deviennent ensuite grises ou brunes. Après quelques temps, des punctuations noires (cleistothèces) apparaissent au sein des taches.
- Méthodes de lutte : de nombreuses variétés sont tolérantes à cette maladie. Enfin, une densité de semis adapté permettra de limiter les risques.

Annexe 2 : Protocole du projet SAFARI :

Stade plante	Observations	Lieu	Modalité(s) observée(s)	Protocole prévu pour 2014-2015	Résultat attendu par la donnée
Emergence	Nombre de pieds après émergence	Champs	Toutes (5)	Piqueter les zones d'observation et compter le nombre de plants levés sur 3 rangs d'1,5 m par bande.	Donnée plus précise que la densité de semis : donne le taux de germination et servira de donnée de base à corrélérer au rendement.
Montaison	Réliquats Sortie Hiver	Champs	Parcelle	Suivre le protocole RSH de la chambre d'agriculture. 8 points de prélèvements à la tarière sur les horizons 0-30 cm, 30-60 cm et 60-90 cm. Amener l'échantillon mélangé des 8 points par horizon à l'ISAE (Combourg) sous 48h en l'ayant maintenu sous vide à 4°C.	Nouveau cette année, état des lieux de la réserve d'azote minéral avant le printemps. A relier au rendement et à la MAT du grain (Matière Azotée Totale) pour observer si effet ou pas.
	Couvertures	Champs	Toutes (5)	Sur les 3 rangs d'1,5 m par bande, exprimer le pourcentage de recouvrement en vue aérienne (se placer au dessus du plan à observer) du blé, de la légumineuse, des adventices et du sol nu séparément (total = 100). Noter également le port du blé : "étalé", "dressé" ou "intermédiaire".	Recouvrement des cultures sur le sol : compétitivité face aux adventices au démarrage.
	Biomasse moléculaire fongique	Champs	Renan, Mélange et Asso modernes (populations aussi?)	1° Déterminer un point central et noter ses coordonnées GPS. 2° Prélever 5 échantillons de sol à l'aide d'une tarière dans l'horizon 0-20 cm . 3° Transporter les échantillons dans une glacière. 4° Au labo, casser les agglomérats dans un plateau stérilisé puis homogénéiser 5° Passer au tamis de maille 2 mm stérilisé. 6° Remélanger les quarts opposés. 7° Prélever 6 g par échantillon et les stocker à -20°C sous flacon stérile.	Etude des micro-organismes du sol : pour l'instant simple quantification mais étude de la possibilité de préciser la proportion de chaque famille et peut être plus. Coût élevé mais inconnu (fait par un partenaire).
	Mycorhizes racinaires	Champs	?	Protocole mis en place par le stagiaire en 2014.	Effet de la variété ou de la diversité sur le taux des mycorhizes racinaires ?
Floraison	Etat sanitaire	Champs	Toutes (5)	Blé : Idem ou adaptation du nombre de spots si 3 répétitions par essai. Observation de la légumineuse à refaire ?	Effet de la diversité sur le développement des maladies foliaires ?
	Epis/m ²	Champs	Toutes (5)	Sur les 3 rangs d'1,5 m par bande, compter le nombre d'épis de blé.	Nombre moyen d'épis par graine germée.

	Biomasse culture et adventices	Champs	Toutes (5)	Sur les 3 rangs d'1,5 m par bande, prélever les biomasses de blé, légumineuses si présentes, et adventices séparément.	Résultat de la compétitivité face aux adventices. Effet la diversité ?
	MAT du blé	Labo	Toutes (5)	Envoi des biomasses blé au laboratoire d'analyses départemental de Combourg.	Effet de la diversité sur la MAT ? La MAT de la plante est-elle corrélée à la MAT du grain à la récolte ?
Maturité	Hauteur plantes, longueur des épis	Champs	Toutes (5)	Mesurer 20 plantes par bande au hasard dans la longueur de la bande. Pour le blé, notation de la hauteur de la ligule, de la base de l'épi et du haut de l'épi. Pour la légumineuse, notation de la hauteur totale.	Diversité phénotypique traduit-elle la diversité génotypique ?
	Verse	Champs	Toutes (5)	Noter la verse globalement sur la bande en pourcentage (0% = pas de verse).	
	Biomasse grain/rendement		Toutes (5)	Prélever les épis et la paille sur 3 rangs d'1,5 m de long pour estimer le rendement	Estimation du rendement par épi (voir suite) et par m ² .
Post-récolte	Couleur	Labo	Toutes (5)	Noter la couleur des X (=7 ?) épis récoltés à maturité	Diversité phénotypique traduit-elle la diversité génotypique ?
	Barbes	Labo	Toutes (5)	Noter la présence ou l'absence de barbes sur les X épis récoltés à maturité	Diversité phénotypique traduit-elle la diversité génotypique ?
	épillet stériles	Labo	Toutes (5)	Compter le nombre d'épillets stériles sur les X épis récoltés à maturité	
	Nombre de grains par épi	Labo	Toutes (5)	Battre les X épis récoltés lors de la mesure des hauteurs et compter le nombre de grains par épi.	
	Rendement par épi	Labo	Toutes (5)	Battre les X épis récoltés lors de la mesure des hauteurs et peser les grains par épi.	Estimation du rendement par épi.
	Rendement par zone	Labo	Toutes (5)	Battre le vrac de la zone restant après prise des X épis et peser les grains.	Estimation du rendement par m ² .
	MAT du grain	Labo	Toutes (5)	Envoi au laboratoire d'analyse départemental de Combourg. 200 à 300 g de blé par modalité sans modification après la récolte.	Teneur en protéines : qualité.
	Poids spécifique	Labo	Toutes (5)	Masse d'un hectolitre. Possibilité de le faire au labo blé INRA (vacances les 2 dernières semaines d'août) ou avant en manuel.	
	PMG	Labo	Toutes (5)	Poids de Mille Grains. A calculer à partir des données épis et à compter sur quelques échantillons à partir de la récolte.	

Annexe 3 : Fiches variétés

CHEVALIER Blé tendre d'hiver

Identité

Représentant : Sem Partners

Année d'inscription : 2006 (Autriche)

Lignée

non barbu

Caractéristiques physiologiques

Rythme de développement

Alternativité : (2) (hiver)
Précocité montaison : 2 (assez tardif)
Précocité épiaison : 5.5 (1/2 tardif)

Résistance

Tolérance au froid : -
Verse : 7.5 (assez résistant)

Hauteur de paille : 4 (courte à assez courte)

PMG : 4 (petit)

Résistance aux bioagresseurs

Maladies

Dernière année d'étude : 2006
Tolérance globale Nord Loire : 8 (assez tolérante)
Sud Loire : -

Piétin Verse : (2) (sensible)
Oïdium : 8 (résistant)
Rouille jaune : (9) (résistant)
Septoriose tritici : 6 (peu sensible)
Helminthosporiose : (6) (peu sensible)
Rouille brune : 5 (assez sensible)
Mycotoxines (DON) : 6 (assez résistant)

Virus

Mosaïques : S (sensible)

Insectes

Cécidomyies oranges : -

Adventices

Tolérance au chlortoluron : T (Tolérant)

Valeur technologique

Classe qualité technologique : BPS

Teneur en protéines : 4 (moyenne à assez faible)
Poids spécifique : 7 (Élevé)
Germination sur pied : -

Meunerie

Indice de Zélény : 30-45
Dureté du grain : hard
W à 11% de protéines : 220-255
P/L à 11% de protéines : 0.70-1.60

Alimentation avicole

Viscosité potentielle éthanolique : -

Rendement par rapport à d'autres variétés

Rendements inscription

Vous n'avez sélectionné aucun département.

Rendements post-inscription

Vous n'avez choisi aucune variété témoin à comparer.

PIRENEO
Blé tendre d'hiver

Identité

Représentant : Lemaire Deffontaines

Année d'inscription : 2004 (Autriche)

Lignée

barbu

Caractéristiques physiologiques

Rythme de développement

Alternativité : -
Précocité montaison : -
Précocité épiaison : 5.5 (1/2 tardif)

Résistance

Tolérance au froid : -
Verse : (7) (assez résistant)

Hauteur de paille : 6 (moyenne à haute)

PMG : (6) (assez gros)

Résistance aux bioagresseurs

Maladies

Dernière année d'étude : 2004
Tolérance globale Nord Loire : -
Sud Loire : -

Piétin Verse : -
Oïdium : -
Rouille jaune : 3 (sensible)
Septoriose tritici : -
Helminthosporiose : -
Rouille brune : (8) (résistant)
Fusariose des épis : -

Virus

Mosaïques : S (sensible)

Insectes

Cécidomyies oranges : -

Adventices

Tolérance au chlortoluron : -

Valeur technologique

Classe qualité technologique : BAF

Teneur en protéines : 7 (assez élevée)
Poids spécifique : 8 (Très élevé)
Germination sur pied : -

Meunerie

Indice de Zélény : -
Dureté du grain : -
W à 14% de protéines : -
P/L à 14% de protéines : -

Alimentation avicole

Viscosité potentielle éthanolique : -

Rendement par rapport à d'autres variétés

Rendements inscription

Vous n'avez sélectionné aucun département.

Rendements post-inscription

Vous n'avez choisi aucune variété témoin à comparer.

RENAN
Blé tendre d'hiver

Identité

Représentant : Agri Obtentions

Année d'inscription : 1989 (France)

Lignée

barbu

Caractéristiques physiologiques

Rythme de développement

Alternativité : 1 (très hiver)

Précocité montaison : 1 (tardif)

Précocité épiaison : 6 (1/2 tardif à 1/2 préc.)

Résistance

Tolérance au froid : 9 (résistant)

Verse : 7 (assez résistant)

Hauteur de paille : 4 (courte à assez courte)

PMG : 6 (assez gros)

Résistance aux bioagresseurs

Maladies

Dernière année d'étude : 1989

Tolérance globale Nord Loire : (9) (tolérante)

Sud Loire : -

Piétin Verse : 5 (peu sensible)

Oïdium : 6 (peu sensible)

Rouille jaune : 7 (assez résistant)

Septoriose tritici : -

Helminthosporiose : -

Rouille brune : 8 (résistant)

Mycotoxines (DON) : 6 (assez résistant)

Virus

Mosaïques : S (sensible)

Insectes

Cécidomyïes oranges : R (Résistant)

Adventices

Tolérance au chlortoluron : T (Tolérant)

Valeur technologique

Classe qualité technologique : B1

Teneur en protéines : -

Poids spécifique : 7 (Élevé)

Germination sur pied : 6 (peu sensible)

Meunerie

Indice de Zélény : 45-55

Dureté du grain : médium - hard

W à 11% de protéines : 210-230

P/L à 11% de protéines : 1.60-1.80

Alimentation avicole

Viscosité potentielle éthanolique : -

Rendement par rapport à d'autres variétés

Rendements inscription

Vous n'avez sélectionné aucun département.

Rendements post-inscription

Vous n'avez choisi aucune variété témoin à comparer.

Annexe 4 : Fiche de calcul de l'indice de diversité.

Extrait de la base de données				
mod_ble	rep	spoth	haut_tot	Classe
assopop	1	1	139.1	II
assopop	1	2	155.5	IV
assopop	1	3	135.5	II
assopop	1	4	142.4	III
assopop	1	5	173.8	V
assopop	1	6	142	III
assopop	1	7	143	III
assopop	1	8	163	IV
assopop	1	9	160.2	IV
assopop	1	10	151.5	III
assopop	1	11	143	III
assopop	1	12	152.5	III
assopop	1	13	138.7	II
assopop	1	14	143.3	III
assopop	2	1	155	IV

Description de la base et définition des classes		
Borne inf.	Borne sup.	Classe
116.8	128.8	I
128.8	140.8	II
140.8	152.8	III
152.8	164.8	IV
164.8	176.8	V
141.8	Moyenne	
176.8	MAX	
116.8	MIN	
60.0	Etendue	
12.0	Intervalle	

Classe	Comptages						Frequences (Xi)						X ² i										
	Bla	Red	Stp	Mel	Asso	Tot	Bla	Red	Stp	Mel	Asso	Tot	Bla	Red	Stp	Mel	Asso	Tot					
I	2	7	8	4	0	21	0.05	0.17	0.19	0.10	0.00	0.10	0.00	0.03	0.04	0.01	0.00	0.01					
II	8	24	19	14	7	72	0.19	0.57	0.45	0.33	0.17	0.34	0.04	0.33	0.20	0.11	0.03	0.12					
III	27	11	12	21	18	89	0.64	0.26	0.29	0.50	0.43	0.42	0.41	0.07	0.08	0.25	0.18	0.18					
IV	5	0	2	3	15	25	0.12	0.00	0.05	0.07	0.36	0.12	0.01	0.00	0.00	0.01	0.13	0.01					
V	0	0	1	0	2	3	0.00	0.00	0.02	0.00	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
TOTAL	42	42	42	42	42	210	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.47	0.42	0.33	0.38	0.34	0.32					
Diversité intra-population (Hs) et diversité totale de la collection (en jaune)												--- >						0.53	0.58	0.67	0.62	0.66	0.68

RESUME

La culture du blé est une des cultures majeures en France. L'agriculture biologique et l'agriculture à faible intrant sont en attente de variétés et de techniques adaptées à leurs attentes. C'est dans cette optique que nous souhaitons nous intéresser à l'impact de la diversité des blés cultivés sur la santé des plantes. Ce stage s'est déroulé à l'INRA de Rennes au sein de l'équipe Biodiversité Cultivée et Recherche Participative (BCRP) de l'unité SAD-Paysage. Mes travaux s'inscrivent au sein du projet SAFARI (Santé, Fertilité, Adaptation, Résilience) qui a pour objectif d'étudier : "l'Agro-diversité génétique et spécifique pour la santé des plantes, la fertilité des sols, l'adaptation et la résilience des systèmes de culture". Cette présente étude vise à comparer différentes modalités avec un gradient de diversité intra-spécifique et inter-spécifique croissant. Nous étudions d'une part trois variétés commerciales homogènes semées, et d'autre part trois variétés populations, hétérogènes. Ces deux types de variétés seront semées en pur, en mélange et en association avec une légumineuse. Afin d'étudier ces différentes modalités, des essais en plein champ ont été mis en place chez des agriculteurs. Tout au long du cycle de culture, des notations liées d'une part à des caractères phénotypiques et d'autre part à la santé des plantes ont été effectuées. En résultat, pour les variétés commerciales, les différences observées entre les différentes modalités sont relativement faibles. Pour les variétés populations, leur culture en mélange ou en association permet un meilleur contrôle vis à vis des maladies fongiques. Les variétés populations semblent travailler en synergie lorsque qu'elles sont associées. Il serait donc intéressant de connaître les mécanismes qui favorisent cette synergie.

ABSTRACT

In France wheat is one of the widest grown crop. In organic and low input agricultures, farmers are expecting adapted cultivars and technical recommendations. This study aims to observe and understand the effects of wheat diversity on plant health. This work is part of the SAFARI project, led by team "Biodiversité Cultivée et Recherche Participative" (Cultivated Biodiversity and Participatory Research) from INRA-Rennes. The main objective of SAFARI project is to develop knowledge on relationship between genetic and specific agro-diversity and plant health, soil fertility, adaptation and resilience of cropping systems. SAFARI's research actions carry on two main wheat kinds: pure modern cultivars which are widely grown and landraces which seems to meet the expectations of some farmers. A gradient of genetic diversity can be established from the pure modern cultivars to landraces blends associated with protein crops. The present report focuses exclusively on the results of this diversity on plant health which are grown in farmers fields. As conclusion, it seems that the diversity gradient has no effect on modern cultivars. Landraces mixture and association restrain the fungal threats. Moreover, there may be a synergy effect in the landraces associated with protein crop.