|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | [Logos des établissements partenaires]  [Voir exemples logos partenaires à la fin de ce document] |

[Type d'écrit :] Mémoire de fin d'études ou rapport de stage

présenté pour l'obtention du [Diplôme]  
Spécialité/Mention: [à compléter]  
Option/Parcours : [à compléter]

[Titre du rapport]

**[image]**

**Confidentiel** [le cas échéant] jusqu’au : [date de levée de confidentialité obligatoire]

par [Prénom NOM]

Année de soutenance : [AAAA]

Organisme d'accueil : [institution et laboratoire] [Logos de(s) structure(s) d'accueil]

[Type d'écrit :] Mémoire de fin d'études ou rapport de stage

présenté pour l'obtention du [Diplôme]  
Spécialité/Mention: [à compléter]  
Option/Parcours : [à compléter]

[Titre du rapport]

**[image]**

**Confidentiel** [le cas échéant] jusqu'au [date de levée de confidentialité]

par [Prénom NOM]

Année de soutenance : [AAAA]

Mémoire préparé sous la direction de : [responsable scientifique, tuteur SupAgro]

Présenté le : [JJ/MM/AAAA]

devant le jury :

[Prénom NOM]

[Prénom NOM]

[Prénom NOM]

Organisme d'accueil : [Institution et Laboratoire]

Maître de stage : [Prénom NOM]

Résumé

[Texte du résumé en français]

Mots clés

[liste des mots clés en français]

Pour citer ce document : [Nom, Prénom, année de soutenance (AAAA). Titre du rapport ou du mémoire. Type de document, diplôme, spécialité, option, L’Institut Agro Montpellier. Nombre de pages.]

[Exemple : Schmidt, Laura, 2022. Titre du mémoire. Mémoire d’Ingénieur Agronome, option Systèmes d’élevage, L’Institut Agro Montpellier, 57 p.]

Abstract

**Title :** [Titre du mémoire en anglais, obligatoire pour les mémoires d’ingénieur et de master]

[Texte du résumé en anglais ou autre langue]

Key words

[liste des mots clés en anglais ou autre langue]

Remerciements

Table des matières

[peut prendre plusieurs pages]

Résumé 3

Abstract 4

Remerciements 5

Table des matières 6

Avant-Propos 7

Glossaire 8

Sigles et acronymes 9

Introduction 10

Conclusion 12

Références bibliographiques 13

Annexes 14

Avant-Propos

[L’avant-propos contient tous les éléments qui peuvent intéresser le lecteur et qui ne concernent pas directement le thème étudié. Par exemple, toutes les informations qui concernent les contextes universitaire et institutionnel du stage.]

Glossaire

[Petit dictionnaire spécialisé pour expliquer les concepts utilisés dans le rapport.]

Sigles et acronymes

[Liste des sigles et acronymes avec au moins leur développé.]

# Introduction

## Le blé dur

Le blé dur (*Triticum turgidum*) est une céréale de la famille des poacées. L’alimentation humaine est le seul débouché de cette espèce qui sert principalement à la fabrication de pâtes et de couscous, mais aussi de pain dans certaines régions du monde. Sa culture en France remonte aux années 1950 dans le Sud-Est et représente aujourd’hui 300 000 ha répartis sur 24 000 exploitations, ce qui représente 4% de la surface céréalière. Chaque année, 1.8 Mt sont produites ce qui représente 3% de la production céréalière française, faisant du blé dur la quatrième céréale de France. Les principaux bassins de production sont le Sud-Est où il représente 80% des surfaces de céréales, le Sud-Ouest, l’Ouest et le Centre. A l’échelle mondiale, la production Française représente 5% de la production totale, les principaux producteurs étant le Canada et l’Italie. Le blé dur est une céréale de printemps adaptée à des climats plutôt chauds et secs. Il se sème principalement à l’automne, a des graines peu dormantes, des besoins de vernalisations quasiment nuls, et supporte mal le froid hivernal (GIE Blé dur, 2017).

Le blé dur serait le résultat de la sélection à partir de *Triticum dicoccum*, lui-même issu de la domestication de *Triticum dicoccoides*, une espèce apparue suite à un événement d’allopolyploïdisation entre *Triticum uratu* et une espèce inconnue probablement proche de *Aegilops speltoides*. Cet événement d’allopolyploïdisation entre deux espèces diploïdes se serait produit entre -500 000 et -150 000 ans. Le génome du blé dur est donc tétraploïde et comporte 7 tétrades, soit 28 chromosomes en tout. La forme non sélectionnée du blé dur (*T. dicoccum*) aurait donné naissance au blé tendre par un deuxième événement d’allopolyploïdisation avec *T. tauschii* il y a à peu près 10 000 ans. Le blé serait une des premières céréales cultivée dans le croissant fertile au moment de la révolution néolithique (Charmet, 2011).

## Le changement climatique

Le changement climatique impacte déjà l’agriculture, et ses effets vont s’accentuer dans le futur. Pour le blé, certaines simulations prédisent une baisse de rendement de 3 à 10% par degré d’augmentation de la température (Asseng et al., 2015; Wang et al., 2018). Il se peut qu’au cours du siècle, les rendement en France baissent de 14 à 17% (Wang et al., 2018), et les rendements en zone non irriguée pourraient baisser de 9 à 30% (Ishaque et al., 2023). D’autres prédisent des diminutions ou des augmentations du rendement en fonction de la zone de production en insistant sur le caractère incertain et variable des rendements futurs (Wilcox and Makowski, 2014). Des simulations sur l’impact des maladies du le blé montrent aussi des effets bénéfiques ou néfastes du changement climatique selon le pathogène et la zone géographique (Juroszek and von Tiedemann, 2013), et il semble également que la qualité des grains et leur valeur nutritionnelle puissent être détériorée (Wang et al., 2018; Zahra et al., 2023). En couplant tout cela à la croissance de la population, il se peut que le blé devienne une denrée de plus en plus chère et rare menaçant en priorité la sécurité et la sureté alimentaire des plus pauvres (Wang et al., 2018).

De plus, pour s’assurer un revenu dans des conditions de productions qui se dégradent à cause du changement climatique, les agriculteurs sont souvent contraints de recourir à des pratiques qui les sauvent à court terme, mais qui empirent le phénomène. Par exemple des événements de forte pluies fréquents qui lessivent l’azote du sol peuvent contraindre les agriculteurs à utiliser plus d’engrais pour s’assurer un revenu dans un marché compétitif qui force à prioriser de forts rendements (Houser and Stuart, 2020). Cela va en contradiction avec les attentes sociétales d’une partie de la population, souhaitant une agriculture plus respectueuse de l’environnement et de la santé (Andrée et al., 2019).

## Sélection massale et diversité génétique

Face à ce constat, il est nécessaire d’adapter l’agriculture et de trouver des moyens pour continuer à produire dans un climat difficile et incertain, tout en réduisant l’impact de nos productions sur l’environnement et en rémunérant les agriculteurs. Un des leviers mobilisables pour cela est la diversité génétique, à laquelle on accède à travers la sélection variétale.

Aujourd’hui, la sélection variétale est encore dominée par le paradigme qui s’est imposé durant la révolution verte dans les années 1960. Il s’agit de créer des variétés très performantes dans des conditions de cultures très artificialisées (utilisation d’engrais et de pesticides), et vouées à être utilisées en monoculture pure. Les objectifs de sélection sont souvent orientés vers le rendement et la résistance aux maladies. Ce paradigme est de plus en plus remis en question, en lien avec des réflexions plus globales sur les changements de pratiques nécessaires en agriculture (Dawson and Goldringer, 2012; Pingali, 2012). Notamment, la monoculture est critiquée, et les avantages de l’utilisation de la biodiversité intra et inter spécifique est plébiscitée par certains chercheurs (Dawson and Goldringer, 2012).

La biodiversité végétale peut être mobilisée de différentes façon par les agriculteurs : mélanges variétaux, cultures associées, variétés populations, ou plantes compagnes par exemple. Son utilisation offre de nombreux avantages : prolongation de l’efficacité de gènes de résistance, effet tampon contre les stress biotiques et abiotiques, et maintien de la diversité dans l’écosystème et des services écosystémiques associés. L’utilisation de variétés populations permet également la facilitation de l’accès aux ressources génétique, leur conservation in situ, et leur évolution en fonction de l’environnement. De plus, au-delà des considérations écologiques, ce type de matériel végétal est aussi adapté à une sélection participative, plus locale et maîtrisée par les agriculteurs, qui prend en compte la notion de terroir, des aspects sociaux économiques locaux, l’utilisation finale des grains, et s’inscrit dans un changement plus global des modèles agricoles (Dawson and Goldringer, 2012; Desclaux et al., 2012). Néanmoins, l’utilisation de la diversité n’est pas encore une solution viable pour les agriculteurs car des blocages techniques, économiques et réglementaires existent. Parmi les blocages techniques, la méthodologie et les critères de sélection pour l’utilisation de la biodiversité sont encore à étudier.

La sélection massale est une technique de sélection qui s’inscrit dans la démarche de diversification au niveau intra spécifique. Elle peut permettre de maintenir et gérer une population, et est adaptée à un mode de sélection participatif ou décentralisé. Néanmoins, le progrès que l’on peut en obtenir par unité de temps est plus faible que le progrès réalisable en sélection conventionnelle. Il est donc important de bien cibler les traits à sélectionner et de savoir comment les sélectionner. L’objectif du stage est d’étudier plusieurs aspects de la sélection massale dans une population de blé dur.

## L’importance de la morphologie du grain

La taille des grains individuels et le poids de mille grains (PMG) sont des traits importants de la qualité. En effet, il sont liés au rendement semoulier, à la texture et la couleur de la semoule et des pâtes (Wang and Fu, 2020). La masse individuelle des grains a aussi une importance sur l’établissement du rendement en conditions de stress thermique post floraison (Sharma et al., 2008), et sur la vigueur germinative, ce qui peut impacter indirectement le rendement (Finch-Savage and Bassel, 2016). Il a même été montré qu’à génotype constant, un semis constitué de gros grains avait un meilleur rendement qu’un semis constitué de petits grains (Donald, 1981 cité dans Sadras, 2007). C’est donc un trait intéressant à sélectionner dans un contexte d’agriculture à bas intrants et de sélection massale car c’est une sélection sur le rendement, la résistance à un stress et sur l’utilisation finale des grains. Il serait donc intéressant de pouvoir sélectionner des populations avec des grains de grande taille pour la qualité, et qui soient plutôt homogènes pour une bonne germination et de bonnes performances. Cependant, la taille des grains atteignable est limitée. Il y a un compromis entre la taille du grain et le taux de protéines qui implique une baisse de la qualité des trop gros grains et un compromis entre la taille du grain et le nombre de grains qui peut impacter le rendement. La taille du grain est en fait un trait assez peu variable chez le blé, et elle a peu évolué avec la sélection moderne comparé à l’évolution du nombre de grains (Sadras, 2007).

De plus, dans un contexte de sélection massale, le grain est un organe de choix pour opérer la sélection. En effet, l’observation du grain permet de prédire (avec plus ou moins de précision) sa qualité germinative et sa valeur génétique pour les traits liés à sa morphologie. C’est aussi l’organe de la plante qui est le plus facile à observer à haut débit (en triant sur la taille avec un tamis par exemple), ce qui est important si l’on doit sélectionner dans un lot important. Enfin, c’est le produit de la récolte, ce qui implique que l’on peut sélectionner après la moisson et ne nécessite pas nécessairement une observation des plantes aux champ. Cela implique également qu’on ne peut *a priori* pas sélectionner directement sur des traits extérieurs au grain comme par exemple la hauteur de la plante ou la résistance aux maladies. Cependant la morphologie du grain est liée à l’histoire de vie de la plante et il existe des corrélations avec ces traits extérieurs aux grains ce qui peut mener à une sélection indirecte.

## Question posée

Pour sélectionner sur les traits du grain, plusieurs options sont envisageables. Il est possible d’observer les grains individuellement après avoir battu les épis et de sélectionner les grains sur leur aspect individuel. Il est aussi possible d’observer les grains par famille en observant les épis et en sélectionnant tous les grains d’un épi lorsque celui-ci a assez de grains "satisfaisants". Le blé étant majoritairement autogame, dans une population contenant des lignées fixées sans gènes de stérilité mâle, tous les grains d’un épi on le même génotype. Sélectionner sur l’épi revient donc à sélectionner les grains sur la valeur moyenne de leur génotype indépendamment de leurs valeurs individuelles. Pour comprendre les différences qui existent entre ces deux façons de sélectionner, il faut s’intéresser aux facteurs importants en sélection : la variance du trait sélectionné, la précision avec laquelle une mesure phénotypique permet d’estimer la valeur génétique de l’individu mesuré (l’héritabilité), et l’intensité de sélection appliquée.

Pour un trait du grain, la variance que l’on peut mesurer entre différents grains est liée à :

* La variance génétique qui existe entre deux grains de génotypes différents (toute chose égale par ailleurs
* La variance environnementale qui existe entre deux grains de même génotype ayant poussé dans des conditions différentes
* La variance inter-épi qui existe entre deux épis d’une même plante pour des raisons physiologiques
* La variance intra-épi qui existe entre de grains d’un même épi pour des raisons physiologiques également.

On peut donc poser le modèle suivant :

Où :

* est le phénotype d’un grain individuel
* l’effet du génotype i
* l’effet de l’environnement j
* l’effet de l’épi k au sein du génotype i dans l’environnement j
* la résiduelle qui contient la variance non expliquée par les autres effets, donc la variance intra épi.

En sélection sur grain individuel, on écrit la variance phénotypique du trait comme :

Mais en sélection sur épi, on observe les moyennes des grains par épi. La variance résiduelle se retrouve donc divisée par le nombre de grains par épi, appelé NGE pour Nombre de Grains par Epi (calculs en annexe). On obtient donc :

Nécessairement :

L’héritabilité d’un trait étant le rapport entre sa variance génétique et sa variance phénotypique, il en découle que :

et

Donc nécessairement :

Comme l’héritabilité peut être considérée comme la précision avec laquelle on estime la valeur génétique d’un individu à travers sa valeur phénotypique, on voit qu’en sélectionnant sur les épis, on estime mieux la valeur génétique de chaque grain. En prenant l’exemple de la taille du grain, on peut expliquer cela plus intuitivement : la variance intra-épi est telle que tous les génotypes donnent à la fois des gros et des petits grains. Les bons génotypes ont des très gros grains, et de grains plus petits ayant tous une bonne valeur génétique. Les mauvais génotypes ont des petits grains et des grains gros et moyens qui ont tous une mauvaise valeur génétique. Les gros grains des mauvais génotypes peuvent être plus gros que les petits grains des bons génotypes. Ainsi, en sélectionnant sur grains individuels, on risque de sélectionner à la fois de très gros grains de bonne valeur génétique et des gros grains de mauvaise valeur génétique. En revanche en sélection sur épi, on aura plus tendance à sélectionner des très gros grains et des petits grains de bonne valeur génétique (car on garde tout l’épi) et à éliminer des grains gros et moyens de mauvaise valeur génétique. On est bien dans un cas où l’on estime mieux la valeur de génétique de chaque grain en sélectionnant sur l’épi.

On pourrait donc penser que la sélection sur épi est la meilleure des deux méthodes. Cependant, en replaçant cela dans un contexte où un nombre de grain fixé doit être sélectionné (lorsqu’un un agriculteur ou un sélectionneur alloue une partie de sa surface à sa sélection massale), on peut faire le raisonnement suivant :

En sélection sur grain individuel, il est aisé de traiter un très grand nombre de grains, par exemple avec un tamis pour sélectionner sur la taille du grain, où un trieur optique par exemple. On peut donc imaginer passer toute une moisson au tamis et ne récupérer que les grains souhaités. Appelons nsel le nombre de grains sélectionnés et NGO le nombre de grains observés, la proportion de grains sélectionnés dans la population totale de grains est .

En revanche, observer les grains à l’échelle de l’épi est beaucoup plus fastidieux. Il n’existe pas à notre connaissance d’équipement permettant d’automatiser le battage puis la mesure des grains épi par épi. Sans équipements, la sélection sur épi se ferait plutôt de façon visuelle, et même de cette façon, il paraît infaisable d’observer tous les épis d’un champ pour sélectionner. Il faut donc échantillonner un certain nombre d’épis dans la population, et la sélection ne s’opérera que sur cet effectif. Appelons NEO le nombre d’épis observés. Pour sélectionner nsel grains, il faut sélectionner épis (en supposant que chaque épi donne NGE grains). Ainsi, la proportion d’épis sélectionnés dans la population d’épis observés est .

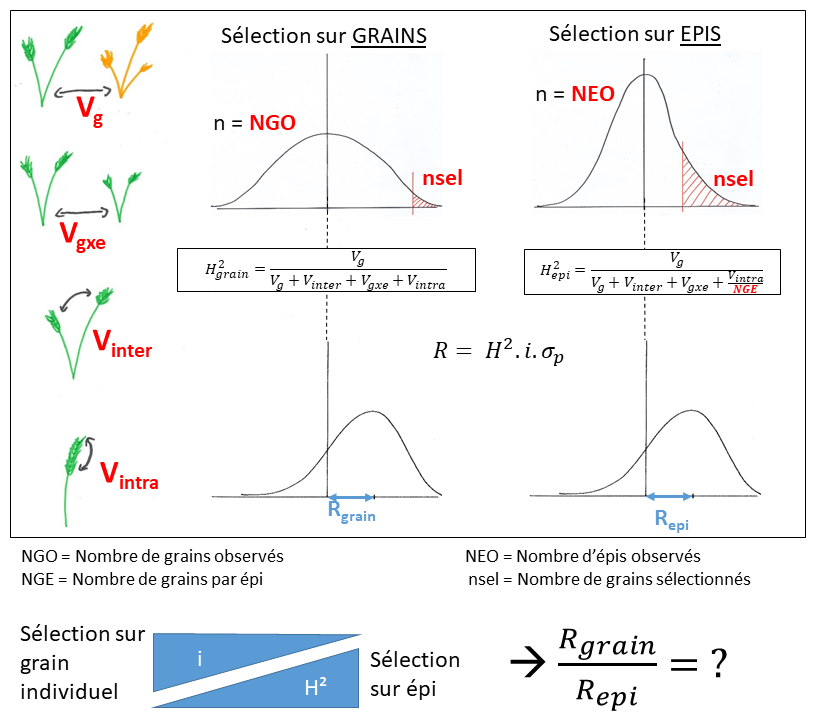
En imaginant un exemple réaliste de sélection sur la taille du grain par tamis, mettons qu’un agriculteur alloue chaque année une surface constante de 100 m² pour améliorer sa population. Avec une densité de semis de 250 grains par m², il lui faut chaque année sélectionner 25.000 grains (nsel = 25.000) pour replanter. Lors de sa récolte, moyennant deux épis par plante et 70 grains par épi (NGE = 70), il obtient 3.500.000 grains (soit 140 kg de grains pour un PMG de 40 grammes). Ces grains sont issus de 50.000 épis. En supposant qu’on puisse passer aisément 140 kg de grains au tamis, et que l’on puisse observer 1.000 épis en tout (NEO = 1000, ce qui est déjà un travail conséquent). On obtient alors que et que .

Plus la proportion P% est faible, plus l’intensité de sélection est forte (intensité de sélection en unité d’écart-type). On voit donc qu’il semble que l’intensité de sélection possible en sélection sur épi soit bien plus faible que l’intensité de sélection possible en sélection sur grain.

Or l’équation du sélectionneur stipule que :

avec R le progrès génétique, i l’intensité de sélection en unité d’écart-type, et l’écart type phénotypique du trait.

On arrive donc au constat suivant : en sélection sur épi, H² est élevé mais i est faible tandis qu’en sélection sur grain H² est faible tandis que i est élevée. L’équation du sélectionneur fait apparaître un compromis entre l’héritabilité et l’intensité de sélection lorsque l’on compare la sélection sur grain et la sélection sur épi. Ci-dessous un schéma résumant le raisonnement :



Durant le stage, nous avons donc tenté de répondre aux questions suivantes :

* La sélection massale sur la taille du grain est-elle efficace ?
* Dans quelles conditions est-il préférable de sélectionner sur grain ou sur épi ?

# Matériel et méthodes

## Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé durant ce stage est la population de blé dur EPO. Cette population a été constituée en 1997 en croisant des accessions de *T. turgidum* contemporaines avec des accessions sauvages et primitives de sorte à avoir une base génétique large. Un gène de stérilité mâle ségrège dans la population pour assurer des allofécondations. Chaque année la population est ressemée pour être maintenue. En 2009, 180 lignées ont été extraites de la population alors à sa 17ième génération et ont été fixées par la méthode single seed descent pendant 2 générations. La population ainsi que les lignées qui en sont extraites sont le matériel végétal de ce stage.

## Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est en deux partie, une au bâtiment ARCAD (10 rue Arthur Young, 34000, Montpellier, France), et l’autre à Mauguio. A ARCAD, 6 bacs de 1 mètre carré ont été semés avec les 180 lignées EPO. Dans chaque bac, 208 grains ont été semées (13 lignes et 16 colonnes) en répartissant au hasard les génotypes. Pour chaque grain semé, le génotype est connu et un spectre infra rouge (NIRS) du grain a été acquis par un spectromètre ASD, ainsi que des mesures de morphologie par Optomachine. On connait donc le génotype de chaque plante grâce à sa position dans le bac. Le semis a été fait le 6 janvier 2023. Certains grains n’ont pas germé ou se sont fait manger par des oiseaux. Un deuxième semis a donc eu lieu le 17 février pour combler les trous (toujours en sachant quel génotype a été planté à quel endroit et en ayant un spectre du grain).

Parmi les 6 bacs, 4 ont aussi reçu de la luzerne en plus du blé : 2 bacs avec la variété Catera, et 2 bacs avec la variété Aria.

Enfin, chaque bac a reçu 30 unités d’azote, ce qui place le blé dur dans une situation de stress azoté.

A Mauguio, le blé planté est directement issu de la population EPO et non des 180 lignées extraites. Le semis s’est fait en plein champ dans des micro parcelles de 1.5 m² et une. Avant le semis, les grains ont été tamisés avec des mailles de 34 et 35 mm. Ils ont été séparés entre les "gros" (>35 mm), les "moyens" (34< <35), et les "petits" (< 34 mm). Une partie des grains n’a pas été tamisée et constitue le groupe témoin. Il y a au total 12 micro parcelles dans lesquelles 3 répétitions de chaque traitement ont été placées au hasard.

## Phénotypage

Pour chaque plante dans les bacs et pour 30 plantes prises au hasard dans les micro parcelles, les mesures suivantes ont été réalisées :

* Longueur du brin maître entre la base de la tige et la pointe de l’épi
* Nombre d’épi par plante
* Nombre de grains par épi
* PMG
* Taux de protéines moyen dans les grains de l’épi (par NIRS des grains)

De plus, les mesures suivantes ont été réalisées dans les bacs seulement :

* Date d’épiaison
* Taux de protéines dans la feuille drapeau à la floraison

Les spectres des grains ont été acquis avec un spectromètre Perkin-Elmer et les spectres des feuilles par ASD.

De plus, les grains des épis récoltés dans les micro parcelles témoin ont été mesurés par Optomachine pour avoir des données sur les grains individuels.

## Analyses

### Effet de la sélection sur la taille et le taux de protéines du grain

Avec les données des bacs, l’effet de la sélection sur ces caractères a été simulée comme suit. Différents seuils de troncation sur la taille du grain ou sur le taux de protéine ont été fixés. Pour chaque seuil, les données pour lesquels le grain planté était sous le seuil de troncation ont été retirées. Il restait alors pour chaque seuil un jeu de données constitué uniquement des plantes qui auraient été sélectionnées si la sélection avait vraiment eu lieu. Ces données ont été considérées comme des approximation de ce qu’auraient été les populations sélectionnées. Nous avons fait l’hypothèses que les plantes se comportent de la même façon dans la population complète et dans une population sélectionnée.

Les progrès simulés ont été calculés en comparant la moyenne de la population complète mesurée dans les bacs, et les moyennes des populations sélectionnées *in silico*. Les moyennes, variances et variances génétiques pour les différents traits mesurés ont aussi été comparées entre la population non sélectionnée et les populations sélectionnées *in silico*. Enfin, l’héritabilité de chaque trait a été calculée en estimant les variances génétiques et environnementales avec le modèle mixte suivant, implémenté sous R avec la fonction lmer du package lme4 (Bates et al., 2015). Les BLUPs pour chaque génotype ont aussi été extraits de ce modèle :

Avec :

le phénotype de la plante k de génotype j dans le bac i à la date de semis k

l’effet fixe du bac i, effet qualitatif à 6 niveaux

l’effet aléatoire du génotype j tel que où σg est la variance génétique

l’effet fixe de la date de semis k, effet qualitatif à deux niveaux

la résiduelle tel que où σe est la variance environnementale

Avec les données du champ, les caractéristiques des différentes populations sélectionnées ont été mesurées directement et ont été comparées avec la population non sélectionnée. Le progrès a donc directement été estimé par le modèle suivant :

Avec :

le phénotype de la plante k dans le groupe sélectionné i dans la micro parcelle j

l’effet de la sélection, effet qualitatif prenant 4 valeurs : "gros", "moyen", "petit", "témoin"

l’effet de la micro parcelle j

la résiduelle tel que

Dans ce modèle, on estime le progrès grâce aux valeurs des en choisissant la modalité "témoin" comme référence. Les moyennes et variances de tous les autres traits mesurés ont aussi été comparées. L’héritabilité réalisée a été calculée pour ce dispositif en divisant le progrès mesuré par le différentiel de sélection. Le différentiel de sélection a été calculé grâce aux formules suivantes qui permettent de calculer la moyenne d’une distribution normale tronquée (“Truncated normal distribution,” 2023) :

Avec :

µ : moyenne de la distribution tronquée

 : moyenne de la distribution normale de la population non sélectionnée

 : écart-type de la distribution normale de la population non sélectionnée

a : seuil de troncation inférieur et

b : seuil de troncation supérieur et

ϕ(0,1 ; x) : distribution de la loi normale centrée réduite en x

φ(0,1 ; x) : fonction de répartition de la loi normale centrée réduite en x

Pour chaque modalité de sélection le différentiel vaut . Pour calculer ces différentiels de sélection, l’hypothèse que les traits morphologiques du grain suivent des lois normales a été faite.

## Comparaison de la sélection sur grain et de la sélection sur épi

Une approche mathématique a été utilisée pour répondre à cette question. Le modèle utilisé simule la situation suivante :

On considère une parcelle où la sélection sur grain est appliquée et une parcelle où la sélection sur épi est appliquée pour un même trait mesurable sur le grain. Le nombre de grains observés en sélection sur grain, et le nombre d’épi observés en sélection sur épi sont deux paramètres du modèle. On fixe un nombre de grains à sélectionner pour planter la génération suivante, le même pour la sélection sur épi et la sélection sur grain. Le modèle prend aussi en compte le nombre de grains par épi, la variance génétique du trait ainsi que la variance environnementale liée à l’hétérogénéité de la parcelle, la variance inter épi au sein d’une même plante, et la variance intra épi. Pour comparer l’effet des différentes sélections, on calcule le rapport entre le progrès effectué avec la sélection sur épi et le progrès effectué avec la sélection sur grain avec la formule suivante (détail des calculs en annexe) :

Avec :

Repi : le progrès effectué avec la sélection sur épi

Rgrain : le progrès effectué avec la sélection sur grain

NGE : Nombre de grains par épi

NEO : Nombre d’épis observés

NGO : Nombre de grains observés

nsel : Nombre de grains sélectionnés

Vg : variance génétique du trait

Vgxe : variance environnementale liée à l’hétérogénéité de la parcelle

Vinter : variance inter épi au sein d’une plante liée aux différences physiologiques entre les thalles

Vintra : variance intra épi

φ-1(0,1 ; x) : complémentaire de la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite en x. C’est en fait la fonction de quantile qui associe un seuil de troncation à la proportion d’individus sélectionnés. Cette fonction est disponible sous R et il n’existe pas de forme analytique simple.

# Resultats

## Morpho du grain

Aucune étude sur la sélection massale pour le taux de protéines chez le blé n’existe à ma connaissance. La littérature sur la sélection massale sur la taille des grains n’est pas très étendue. Ci-dessous un tableau récapitulant les résultats d’études menées sur le sujet. On y voit l’effet de la sélection sur le PMG et sur d’autres caractéristiques du blé :

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Population | Type de sélection | Nombre de cycles | PMG | Rdt | Prot | Précocité | Talles/m² | Grains/epi | Taille | Référence |
| 3 pop biparentales | Tamisage grain | 2 | +2.4% | +30%/cycle |  |  |  |  |  | (Derera and Bhatt, 1972) |
| 90 pop biparentales | Visuelle sur épi | 3 | + |  | - | - |  | + | + | (Rivière et al., 2015) |
| 3 pop biparentales | Visuelle sur épi | 2 | + | + |  |  |  |  |  | (Nass, 1987) |
| 3 pop biparentales | Tamisage grain | 2 | + | + |  |  |  |  |  | (Nass, 1987) |
|  | Tamisage grain | 2 | + | + |  |  |  |  |  | (Lang et al., 1989) |
| 6 pop composites | Tamisage grain | 3 | 0 |  |  |  |  |  |  | (Blum et al., 1991) |
| 1 pop à 10 parents | Récurrente sur poids du grain | 8 | +4.5%/cycle | 0 |  | +0.5 jour/cycle | +8.4 /cycle | -0.5/cycle | 0 | (Wiersma et al., 2001) |
| 1 pop à 10 parents |  | 4 | +7% / cycle | 0 | +1% / cycle | +2% /cycle |  | 0 | 0 | (Busch and Kofoid, 1982) |
| 1 pop à 10 parents issue de 5 pop biparentales sélectionnées puis intercroisées | Tamisage grain | 3 | + | + |  |  |  | 0 | + | (Sharma et al., 1995) |

Tableau : Résultats d'études sur la sélection massale pour le PMG dans des populations de blé

Rdt = rendement, Prot = taux de protéines. Un "+" indique une augmentation de la valeur du trait après sélection sur le PMG, et un "-" indique une diminution. Pour la précocité "+" = plus précoce et "-" = plus tardif. Lorsque les changements étaient quantifiés en pourcentage, les chiffres apparaissent après le "+" ou le "-". Une case grisée indique l’absence d’information.

On constate que dans la majorité des études, la sélection sur grain a eu un effet positif sur le PMG et le rendement en quelques cycles de sélection. Il semble que la taille des plants soit peu affectée, et les effets ne sont pas clairs sur la précocité, le nombre de grains par épi ou le taux de protéines. De plus, les études menées par Wiersma et al. (2001) et Busch and Kofoid (1982) semblent montrer que la sélection est plus efficace pendant les premiers cycles de sélection. Wiersma et al. (2001) précisent également que la variance génétique pour le PMG a été fortement réduite par la sélection. Ils ont aussi remarqué que les réponses des traits étaient globalement linéaires au cours des cycles de sélection alors que leurs héritabilités variaient énormément à chaque cycle, ce qui implique que l’héritabilité a eu un mauvais pouvoir prédictif dans leur population. L’étude menée par Nass (1987) a comparé la sélection sur grain et la sélection sur épi. Leur conclusion a été que la sélection sur grain est plus efficace dans de grandes populations, mais que la sélection sur épi peut être avantageuse dans des populations réduites. Il semble donc que sélectionner sur la taille individuelle du grain permet de faire varier le PMG, et a tendance à aussi faire varier le rendement. Cependant l’effet de cette sélection sur la morphologie des grains individuels, et sur les autres caractéristiques du blé est peu étudié en sélection massale.

Cette page est un exemple de page au format paysage.

La pagination est mise automatiquement et surtout elle est bien orientée.

N’abusez pas de cette présentation.

Quel que soit le style de page, il faut toujours essayer d’adapter la forme du message au format utilisé pour l’édition. Prévoir des tableaux et des figures qui restent lisibles sans empiéter sur les marges qui sont réservées au lecteur.

Conclusion

Références bibliographiques

Andrée, P., Clark, J.K., Levkoe, C.Z., Lowitt, K. (Eds.), 2019. Civil Society and Social Movements in Food System Governance. Taylor & Francis.

Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R.P., Lobell, D.B., Cammarano, D., Kimball, B.A., Ottman, M.J., Wall, G.W., White, J.W., Reynolds, M.P., Alderman, P.D., Prasad, P.V.V., Aggarwal, P.K., Anothai, J., Basso, B., Biernath, C., Challinor, A.J., De Sanctis, G., Doltra, J., Fereres, E., Garcia-Vila, M., Gayler, S., Hoogenboom, G., Hunt, L.A., Izaurralde, R.C., Jabloun, M., Jones, C.D., Kersebaum, K.C., Koehler, A.-K., Müller, C., Naresh Kumar, S., Nendel, C., O’Leary, G., Olesen, J.E., Palosuo, T., Priesack, E., Eyshi Rezaei, E., Ruane, A.C., Semenov, M.A., Shcherbak, I., Stöckle, C., Stratonovitch, P., Streck, T., Supit, I., Tao, F., Thorburn, P.J., Waha, K., Wang, E., Wallach, D., Wolf, J., Zhao, Z., Zhu, Y., 2015. Rising temperatures reduce global wheat production. Nat. Clim. Change 5, 143–147. https://doi.org/10.1038/nclimate2470

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., Walker, S., 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. J. Stat. Softw. 67, 1–48. https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01

Blum, A., Shpiler, L., Golan, G., Mayer, J., Sinmena, B., 1991. Mass selection of wheat for grain filling without transient photosynthesis. Euphytica 54, 111–116. https://doi.org/10.1007/BF00145637

Busch, R.H., Kofoid, K., 1982. Recurrent Selection for Kernel Weight in Spring Wheat. Crop Sci. 22. https://doi.org/10.2135/cropsci1982.0011183X002200030032x

Charmet, G., 2011. Wheat domestication: Lessons for the future. C. R. Biol., On the trail of domestications, migrations and invasions in agriculture 334, 212–220. https://doi.org/10.1016/j.crvi.2010.12.013

Dawson, J.C., Goldringer, I., 2012. Breeding for Genetically Diverse Populations: Variety Mixtures and Evolutionary Populations, in: Organic Crop Breeding. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 77–98. https://doi.org/10.1002/9781119945932.ch5

Derera, N.F., Bhatt, G.M., 1972. Effectiveness of mechanical mass selection in wheat (Triticum aestivum L.). Aust. J. Agric. Res. 23, 761–768. https://doi.org/10.1071/ar9720761

Desclaux, D., Ceccarelli, S., Navazio, J., Coley, M., Trouche, G., Aguirre, S., Weltzien, E., Lançon, J., 2012. Centralized or Decentralized Breeding: The Potentials of Participatory Approaches for Low-Input and Organic Agriculture, in: Organic Crop Breeding. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 99–123. https://doi.org/10.1002/9781119945932.ch6

Donald, C., 1981. 14 COMPETITIVE PLANTS, COMMUNAL PLANTS, AND YIELD IN WHEAT CROPS. Wheat Sci.-Today Tomorrow 223.

Finch-Savage, W.E., Bassel, G.W., 2016. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. J. Exp. Bot. 67, 567–591. https://doi.org/10.1093/jxb/erv490

GIE Blé dur, 2017. Description et spécificités - GIE Blé dur Description, spécificités du blé dur. GIE Blé Dur. URL https://www.gie-bledur.fr/la-filiere-ble-dur/description-du-ble-dur/ (accessed 6.7.23).

Houser, M., Stuart, D., 2020. An accelerating treadmill and an overlooked contradiction in industrial agriculture: Climate change and nitrogen fertilizer. J. Agrar. Change 20, 215–237. https://doi.org/10.1111/joac.12341

Ishaque, W., Osman, R., Hafiza, B.S., Malghani, S., Zhao, B., Xu, M., Ata-Ul-Karim, S.T., 2023. Quantifying the impacts of climate change on wheat phenology, yield, and evapotranspiration under irrigated and rainfed conditions. Agric. Water Manag. 275, 108017. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108017

Juroszek, P., von Tiedemann, A., 2013. Climate change and potential future risks through wheat diseases: a review. Eur. J. Plant Pathol. 136, 21–33. https://doi.org/10.1007/s10658-012-0144-9

Lang, L., Balla, L., Bedo, Z., 1989. Machine mass selection of winter wheat hybrid populations. Novenytermeles Hung.

Nass, H.G., 1987. Selection for grain yield of spring wheat utilizing seed size and other selection criteria. Can. J. Plant Sci. 67, 605–610. https://doi.org/10.4141/cjps87-086

Pingali, P.L., 2012. Green Revolution: Impacts, limits, and the path ahead. Proc. Natl. Acad. Sci. 109, 12302–12308. https://doi.org/10.1073/pnas.0912953109

Rivière, P., Goldringer, I., Berthellot, J.-F., Galic, N., Pin, S., Kochko, P.D., Dawson, J.C., 2015. Response to farmer mass selection in early generation progeny of bread wheat landrace crosses. Renew. Agric. Food Syst. 30, 190–201. https://doi.org/10.1017/S1742170513000343

Sadras, V.O., 2007. Evolutionary aspects of the trade-off between seed size and number in crops. Field Crops Res. 100, 125–138. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.004

Sharma, R.C., Tiwary, A.K., Ortiz-Ferrara, G., 2008. Reduction in kernel weight as a potential indirect selection criterion for wheat grain yield under terminal heat stress. Plant Breed. 127, 241–248. https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2007.01460.x

Sharma, S.K., Singh, K.P., Singh, I., 1995. SELECTION RESPONSES FOR GRAIN WEIGHT IN SOME MASS SELECTED AND INTERMATED POPULATIONS OF WHEAT (TRITICUM AESTIVUM L.). INDIAN J. Genet. PLANT Breed. 55, 365–373.

Truncated normal distribution [WWW Document], 2023. . Wikipedia. URL https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Truncated\_normal\_distribution&oldid=1152823526#cite\_note-5 (accessed 6.9.23).

Wang, J., Vanga, S.K., Saxena, R., Orsat, V., Raghavan, V., 2018. Effect of Climate Change on the Yield of Cereal Crops: A Review. Climate 6, 41. https://doi.org/10.3390/cli6020041

Wang, K., Fu, B.X., 2020. Inter-Relationships between Test Weight, Thousand Kernel Weight, Kernel Size Distribution and Their Effects on Durum Wheat Milling, Semolina Composition and Pasta Processing Quality. Foods 9, 1308. https://doi.org/10.3390/foods9091308

Wiersma, J.J., Busch, R.H., Fulcher, G.G., Hareland, G.A., 2001. Recurrent Selection for Kernel Weight in Spring Wheat. Crop Sci. 41, 999–1005. https://doi.org/10.2135/cropsci2001.414999x

Wilcox, J., Makowski, D., 2014. A meta-analysis of the predicted effects of climate change on wheat yields using simulation studies. Field Crops Res. 156, 180–190. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.11.008

Zahra, N., Hafeez, M.B., Wahid, A., Al Masruri, M.H., Ullah, A., Siddique, K.H.M., Farooq, M., 2023. Impact of climate change on wheat grain composition and quality. J. Sci. Food Agric. 103, 2745–2751. https://doi.org/10.1002/jsfa.12289

Annexes

[Si le nombre des annexes est trop important, on peut faire un sommaire des annexes.]

1. [titre de la première annexe]

[Les annexes peuvent être numérotées différemment du corps du mémoire.]

[Modèle de quatrième de couverture pour l'impression papier]

Résumé

[Texte du résumé en français]

Mots clés

[liste des mots clés en français]

Pour citer ce document : [Nom, Prénom, année de soutenance (AAAA). Titre du rapport ou du mémoire. Type de document, diplôme, spécialité, option, Institut Agro | Montpellier SupAgro. Nombre de pages.]

Institut Agro | Montpellier SupAgro, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier cedex 02. https://www.institut-agro-montpellier.fr/

Exemples de logos des établissements partenaires ou des structures d’accueil à rajouter le cas échéant sur la page de couverture

Logos partenaires









