

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

PRÉSENTÉ EN VUE D'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MASTER SCIENCES ET TECHNIQUES

GESTION ET CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ

Evaluation de paramètres agro-morphologiques et de qualité chez des lignées élités du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) dans trois environnements contrastés

Présenté par : ALAOUI ABDELLAOUI Maryam

Encadré par : Pr. SQALLI HOUSSAINI Hakima

Dr. BENNANI Sahar

Dr. TAGHOUTI Mouna

Soutenu le : 18/07/2022. Devant le jury composé de :

- Pr. SQALLI HOUSSAINI Hakima
- DR. BENNANI Sahar
- DR. TAGHOUTI Mouna
- Pr. DERRAZ Khalid
- Pr. MIKOU Karima

Année universitaire : 2022/2023

Résumé

Le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) est l'une des céréales les plus cultivées aussi bien au niveau international que national. Il est d'une importance capitale pour l'alimentation humaine. Toutefois, sa culture est sujette à plusieurs types de stress d'ordre biotiques et abiotiques affectant le rendement en grains et la qualité de la production.

La présente étude s'insère dans le cadre du programme national de la création variétale du blé tendre conduit par l'INRA, visant l'identification des lignées de blé tendre les plus prometteuses en termes de productivité et de qualité pour faire face aux différentes menaces. Pour se faire, un germoplasme constitué de 24 lignées avancées de blé tendre et de six variétés témoins (Achtar, Arrehane, Lina, Malika, Najia et Snina) est évalué dans trois stations expérimentales relevant de l'INRA et couvrant différentes zones agro-écologiques ; Marchouch (zone humide), Sidi El Aidi (zone semi-aride) et Jemaat Shaim (zone aride). Les essais expérimentaux sont conduits, durant la campagne agricole 2020/2021, selon un dispositif expérimental en Bloc Aléatoire Complet à deux répétitions. Les paramètres mesurés sont les traits agro-morphologiques (rendement, poids de mille grains, surface des grains), ainsi que les traits pertinents de qualité (teneur en protéines, force du gluten et poids spécifique).

Les résultats de l'analyse de la variance effectuée pour l'ensemble des caractères ont montré des différences significatives aussi bien entre les lignées qu'entre les sites. Les interactions GXE se sont avérées également significatives, à l'exception de la surface du grain. Le rendement moyen en grains est de 37,72 qx/ha et varie de 16,76 qx/ha à Jemaat Shaimet 63,09 qx/ha noté à la station Marchouch. En revanche, le taux de protéines moyen est de 14,03 % comprise entre une valeur maximale de 16,38 % enregistrée à Sidi El Aidi et une valeur minimale de 12,04 % notée à Marchouch. L'étude des corrélations entre les différents paramètres étudiés a permis de révéler une corrélation positive très hautement significative entre le poids de mille grains et le rendement pour les deux stations Marchouch et Jemaat Shaim ($r^2= 0,32$). Pour les sites Jemaat Shaim et Sidi El Aidi, la corrélation s'est avérée positive pour le poids spécifique et le poids de mille grains ($r^2=0,33$ et $r^2=0,57$ respectivement). Une corrélation négative très hautement significative est observée entre le poids spécifique et le taux de protéines ($r^2= -0,64$) dans la station Sidi El Aidi. L'analyse multiparamétrique GGE a permis également de visualiser, pour chaque paramètre, le regroupement des différents sites en méga-environnements et d'identifier les génotypes les plus performants par méga-environnement. Le site Marchouch appartenant à l'agroécosystème humide se dissocie des sites Jemaat Shaim et Sidi El Aidi pour le rendement. Sidi El Aidi se regroupe avec Marchouch dans la même zone pour le poids de mille grains et le poids spécifique. L'analyse de stabilité, approchée par l'indice de supériorité Pi a permis d'identifier les lignées performantes et stables. Les résultats obtenus des différentes analyses concordent sur la performance de productivité et de stabilité des génotypes G3, G5 et G19 qui incorporent aussi des seuils importants de qualité.

Mots clés : blé tendre, *Triticum aestivum*, lignées avancées, paramètres agro-morphologiques, paramètres de qualité.

Abstract

Bread wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most widely cultivated cereals both internationally and nationally, and of paramount importance for human nutrition. However, its cultivation is subject to several types of biotic and abiotic stresses that affect both grain yield and production quality. This study is part of the national program of soft wheat breeding conducted by INRA and aims at identifying the most promising soft wheat lines in terms of productivity and quality to face these different threats. To do this, a germplasm consisting of 24 advanced lines of bread wheat and six control varieties (Achtar, Arrehane, Lina, Malika, Najia and Snina) was evaluated in three experimental stations under INRA and covering different agro-ecological zones; Marchouch (wetland), Sidi El Aidi (semi-arid zone) and Jemaat Shaim (arid zone). The experimental trials were conducted during the 2020/2021 cropping season according to a Randomized Complete Block design with two replications. The parameters measured were agro-morphological traits (yield, thousand kernel weight, kernel area) as well as relevant quality traits (protein content, gluten strength and specific weight). The results of the analysis of variance performed for all traits showed significant differences both between lines and between sites. GXE interactions were also significant, with the exception of grain area. The average grain yield was 37.72 qx/ha and varied from 16.76 qx/ha at Jemaat Shaim to 63.09 qx/ha recorded at Marchouch station. On the other hand, the average protein rate is 14.03% between a maximum value of 16.38% recorded in Sidi El Aidi and a minimum value of 12.04% noted in Marchouch. The study of correlations between the various parameters studied revealed a very highly significant positive correlation between the weight of a thousand grains and the yield for the two stations Marchouch and Jemaat Shaim ($r^2 = 0.32$). For Jemaat Shaim and Sidi El Aidi, the correlation was positive for specific weight and thousand kernel weight ($r^2 = 0.33$ and $r^2 = 0.57$ respectively). A very highly significant negative correlation was observed between specific weight and protein content ($r^2 = -0.64$) in Sidi El Aidi station. The GGE multiparametric analysis also allowed to visualize, for each parameter, the grouping of the different sites in mega-environments and to identify the best performing genotypes per mega-environment. The Marchouch site belonging to the humid agroecosystem is dissociated from the Jemaat Shaim and Sidi El Aidi sites for yield. Sidi El Aidi is grouped with Marchouch in the same area for thousand kernel weight and specific weight. The stability analysis, approximated by the Pi superiority index, allowed us to identify the performing and stable lines. The results obtained from the different analyses agree on the productivity and stability performance of the G3, G5 and G19 genotypes which also incorporate important quality thresholds.

Key words: Bread wheat, *Triticum aestivum*, advanced lines, agro-morphological parameters, quality parameters.

DEDICACE

À ma douce maman Fatima,

Tous les meilleurs mots réunis ne pourront compenser tout ce que tu as fait pour moi. Tu as su m'enseigner à être patiente et persévérante, à être sérieuse et rigoureuse et surtout à être quelqu'un avant d'avoir quelque chose. Tu as toujours été pour moi une oreille attentive et un soutien constant. Tu as planté en moi l'amour, l'harmonie et la paix. Tu es la prunelle de mes yeux, maman. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.

À mon très cher papa Ali,

Depuis ma tendre enfance, tu as toujours été pour moi ce papa protecteur et bienveillant, celui qui a su m'inculquer toutes les bonnes valeurs. Par tes sacrifices, tu m'as permis de vivre dans les meilleures conditions. Tu m'as continuellement encouragé pour atteindre mes objectifs.

À mes chères sœurs Soumaya et Chaymae,

Merci d'être toujours à mes côtés, par votre présence, par votre joie de vivre et par votre amour. Vous êtes le joyau qui donne du goût et du sens à notre vie de famille.

À toutes mes amies,

Je vous remercie pour les moments inoubliables que nous avons partagés ensemble et je vous souhaite beaucoup de succès.

À tous ceux que j'aime.

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord Dieu tout puissant de nous avoir donné la force et la connaissance pour accomplir une action.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma gratitude et mes remerciements les plus sincères au **Professeur SQALLI HOUSSAINI Hakima** pour son encadrement, sa disponibilité et son soutien constant et généreux, lors des moments difficiles de mon travail.

Je tiens à témoigner mes remerciements les plus chaleureux au **Dr BENNANI Sahar** et **Dr TAGHOUTI Mouna** pour leurs soutiens, leurs conseils avisés, pour leurs suivis et leurs orientations lors de la réalisation de mon travail.

Je remercie l'équipe de l'Unité de Recherche, Amélioration des plantes, Conservation et valorisation des ressources phylogénétiques, du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Rabat, pour les données fournies et ayant servies de support pour la réalisation de ce travail. Particulièrement, le personnel du laboratoire d'amélioration génétique du blé et toute personne ayant participé à l'installation et au suivi des essais ainsi que la collecte des données au niveau des domaines expérimentaux de l'Institut National de la Recherche Agronomique ; Marchouch, Sidi El Aidi et Jemaat Shaim.

Mes profonds remerciements pour les membres du jury, **Professeur DERRAZ Khalid** et **Professeur MIKOU Karima** qui ont accepté d'évaluer ce travail.

Que tous les professeurs de la filière Gestion et Conservation de la Biodiversité à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, trouvent dans ce travail l'expression de ma gratitude pour leurs efforts considérables qu'ils ont accomplis afin d'assurer ma formation.

Liste des abréviations

| | |
|----------------|--|
| ACP | : Analyse en Composantes Principales |
| Anova | : Analyse de variance |
| CIMMYT | : Centre International d'Amélioration du Maïs et du Blé |
| FAO | : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture |
| FAOSTAT | : Statistiques de la FAO |
| GXE | : Génotype X Environnement |
| GGE | : Génotype et Interaction Génotype Environnement |
| ICARDA | : Centre International de Recherche Agricole dans les Zones Arides |
| INRA | : Institut National de Recherche Agronomique |
| NIRS | : Spectroscopie dans le Proche Infrarouge |
| ONICL | : Office National Interprofessionnel des Céréales et des Légumineuses |
| ONSSA | : Office National de Sécurité Sanitaire des Produits |
| SDS | : Sodium Dodecyl Sulfate |
| USDA | : Département américain de l'agriculture |
| PMG | : Poids de mille grains |
| PS | : Poids Spécifique |
| IGC | : Conseil International des Céréales |
| MADPRM | : Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche Maritime |
| IPCA | : Axes des composantes principales d'interaction |
| Mt | : Millions de tonnes |

Liste des Figures

| | |
|---|-----------|
| Figure 1 : Croissant Fertile | 4 |
| Figure 2 : Phylogénie schématique du blé dur et du blé tendre..... | 4 |
| Figure 4 : Cycle de DÉVELOPPEMENT DU BLÉ | 6 |
| Figure 5 : Production mondiale des Céréales | 8 |
| Figure 6 : Pays producteurs du Blé au Monde..... | 9 |
| Figure 7 : Production du Blé Tendre au Maroc | 10 |
| Figure 8 : Part des obtentions INRA inscrites au CATALOGUE OFFICIEL | 16 |
| Figure 9 : Situation géographique des trois sites expérimentaux. | 19 |
| Figure 10 : Parcelles élémentaires des essais. | 22 |
| Figure 11 : Méthode de calcul de PMG. | 23 |
| Figure 12 : Scanner à plat | 24 |
| Figure 13 : Echantillon de blé tendre analysé par le logiciel « Grainscan » | 24 |
| Figure 14 : Dispositif de l'analyse infrarouge proche (Near InfraRed Spectroscopy)..... | 25 |
| Figure 15 : Dispositif de broyage. | 26 |
| Figure 16 : Mode opératoire du test de sédimentation SDS. | 27 |
| Figure 17 : Calcul du poids spécifique. | 28 |
| Figure 18 : ACP pour les génotypes du blé tendre pour le site de Marchouch. | 42 |
| Figure 19 : ACP pour les génotypes du blé tendre pour le site de Jemaat Shaim. | 43 |
| Figure 20 : ACP pour les génotypes du blé tendre pour le site de Sidi El Aidi. | 44 |
| Figure 21 : GGE biplot représentant les génotypes performants en termes de rendement dans chaque méga environnement..... | 45 |
| Figure 22 : GGE biplot représentant les génotypes performants en termes de PMG dans chaque méga environnement | 46 |
| Figure 23 : GGE biplot représentant les génotypes performants en termes de taux de protéines dans chaque méga environnement | 47 |
| Figure 24 : GGE biplot représentant les génotypes performants en termes de SDS dans chaque méga environnement..... | 47 |
| Figure 25 : GGE biplot représentant les génotypes performants en termes de poids spécifique dans chaque méga environnement. | 48 |

Liste des Tableaux

| | | |
|--------------|--|-----------|
| Tableau 1 : | Variétés créées par l'INRA . | 17 |
| Tableau 2 : | Caractéristiques pédoclimatiques des stations expérimentales (Campagne 2020-2021). | 19 |
| Tableau 3 : | Environnements utilisés par le programme de sélection. | 20 |
| Tableau 4 : | Origine du matériel végétal utilisé. | 21 |
| Tableau 5 : | Probabilité (Fpr) de l'analyse de la variance combinée pour les caractères agro-morphologiques étudiés. | 30 |
| Tableau 6 : | Probabilité (Fpr) de l'analyse de la variance combinée pour les caractères de qualité étudiés. | 33 |
| Tableau 7 : | Probabilité (Fpr) de l'analyse de la variance des génotypes pour les paramètres agro-morphologiques étudiés | 34 |
| Tableau 8 : | Probabilité (Fpr) de l'analyse de la variance des différents génotypes pour les paramètres de qualités étudiés | 38 |
| Tableau 9 : | Corrélation entre les paramètres pour le site Marchouch. | 40 |
| Tableau 10 : | Corrélation entre les paramètres pour le site Jemaat Shaim. | 40 |
| Tableau 11 : | Corrélation entre les paramètres pour le site Sidi El Aidi. | 41 |

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

| | |
|--|----|
| I. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU BLÉ TENDRE | 3 |
| 1. Historique du blé tendre | 3 |
| 2. Origine et répartition géographiques | 3 |
| 3. Origine génétique | 4 |
| II. BIOLOGIE ET CYCLE VÉGÉTATIF DU BLÉ TENDRE | 5 |
| 1. Morphologie du blé tendre | 5 |
| 2. Cycle végétatif du blé..... | 6 |
| 3. Environnement cible de la culture | 6 |
| 4. Contraintes de la culture du blé | 7 |
| A. Contraintes biotiques..... | 7 |
| B. Contraintes abiotiques | 7 |
| III. IMPORTANCE ÉCONOMIQUE DE LA CULTURE DU BLÉ TENDRE..... | 8 |
| 1. Production du blé dans le monde..... | 8 |
| 2. Production du blé en Afrique | 9 |
| 3. Production du blé au Maroc..... | 9 |
| IV. COMPOSITION DE LA FARINE DU BLÉ & CARACTÉRISTIQUES D'APPRÉCIATION | 10 |
| 1. Composition de la farine | 10 |
| A. Amidon | 10 |
| B. Lipides | 11 |
| C. Protéines..... | 11 |
| 2. Caractéristiques d'appréciation de la qualité de la farine du blé..... | 12 |
| A. Teneur en protéines totales | 12 |
| B. Teneur en gluten..... | 12 |
| C. Teneur en matières minérales | 13 |
| D. Teneur en eau..... | 14 |
| V. PROGRAMME D'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE DU BLÉ..... | 14 |
| 1. Définition d'un programme d'amélioration génétique et principes de base | 14 |
| 2. Descriptif du programme national d'amélioration génétique à l'inra | 14 |
| 3. Objectifs et critères de sélection..... | 15 |
| A. Objectifs de sélection..... | 15 |
| B. Critères de sélection..... | 15 |
| C. Contraintes de sélection | 16 |
| 4. Variétés du blé tendre au Maroc | 16 |

MATÉRIEL ET MÉTHODES

| | |
|---|----|
| I. ZONE D'ÉTUDE..... | 18 |
| 1. Station expérimentale de Marchouch | 18 |
| 2. Station expérimentale de Sidi El Aidi | 18 |
| 3. Station expérimentale de Jemaat Shaim | 19 |
| II. MATÉRIEL VÉGÉTAL..... | 20 |
| III. DISPOSITIF EXPERIMENTAL | 22 |
| IV. PARAMÈTRES MESURÉS & PROTOCOLES EXPÉRIMENTAUX | 22 |
| 1. Rendement en grains..... | 22 |
| 2. Poids de 1000 grains (PMG)..... | 23 |
| A. Principe | 23 |

| | |
|---|----|
| B. Mode opératoire | 23 |
| 3. Caractérisation agro-morphologique | 24 |
| 4. Taux de Protéines..... | 25 |
| 5. Force du gluten via le test SDS | 26 |
| A. Principe | 26 |
| B. Mode opératoire | 26 |
| 6. Poids spécifique..... | 27 |
| V. ANALYSES STATISTIQUES..... | 28 |
| 1. Analyse de la variance | 28 |
| 2. Corrélation entre les caractères | 28 |
| 3. Analyse en Composantes Principales (ACP) | 29 |
| 4. Analyse de la stabilité..... | 29 |
| 5. Indice de supériorité..... | 29 |

RÉSULTATS ET DISCUSSION

| | |
|--|----|
| I. ANALYSE DE LA VARIABILITÉ GÉNÉTIQUE DES DIFFÉRENTS CARACTÈRES ÉTUDIÉS..... | 30 |
| 1. Analyse de la variance des trois stations combinées et comparaison des moyennes par site | 30 |
| A. Caractères agro-morphologiques | 30 |
| B. Caractères de qualité..... | 32 |
| 2. Analyse de la variance et comparaison des moyennes par site | 34 |
| A. Caractères agro-morphologiques | 34 |
| B. Caractères de qualité..... | 37 |
| II. ANALYSE DE CORRÉLATION DE PEARSON ENTRE LES PARAMÈTRES AGRO-MORPHOLOGIQUES ET DE QUALITÉ ÉTUDIÉS..... | 39 |
| 1. Marchouch..... | 39 |
| 2. Jemaat Shaim | 40 |
| 3. Sidi El Aidi | 41 |
| III. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES..... | 42 |
| 1. Site de Marchouch | 42 |
| 2. Site de jemaat shaim | 43 |
| 3. Site de sidi elaidi | 44 |
| IV. ANALYSE DE STABILITÉ DES GÉNOTYPES..... | 45 |
| 1. Analyse GGE (Génotype et Interaction Génotype Environnement) | 45 |
| A. Rendement..... | 45 |
| B. Poids de mille grains | 46 |
| C. Taux de protéines..... | 46 |
| D. Force du Gluten (SDS)..... | 47 |
| E. Poids Spécifique | 48 |
| 2. Analyse par l'indice de supériorité | 48 |
| A. Rendement..... | 48 |
| B. Taux de protéines..... | 49 |
| C. SDS | 49 |
| D. Poids de mille grains | 49 |
| E. Poids Spécifique | 49 |

CONCLUSION GÉNÉRALE

| | |
|---|-----------|
| RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 53 |
| ANNEXES..... | 60 |

Le secteur agricole occupe une place privilégiée dans l'économie du pays. Par ailleurs, ce secteur a accompli de grands progrès en termes de modernisation et de diversification.

Or, les céréales sont considérées comme une ressource alimentaire importante dans la nutrition humaine en raison de leurs valeurs nutritives.

La demande en blé est présagée à une forte augmentation avec l'accroissement de la population mondiale estimée d'atteindre 9 milliards d'individus en 2050 (Hubert et *al.*, 2010). Ainsi, la production du blé aura un impact crucial sur la sécurité alimentaire et l'économie mondiale dans les prochaines décennies.

Le blé constitue la principale culture céréalière à l'échelle nationale et internationale, dont le blé tendre qui est très utilisé dans les industries agroalimentaires pour la production de farine, du pain, des biscuits, etc. La production mondiale du blé (tous blés confondus : dur et tendre) a atteint, selon le Conseil International du Grain (IGC, 2019), 763 millions de tonnes, dont 70 % destinés à la consommation humaine, 20 % pour l'alimentation animale et 10 % pour les semences et l'industrie

Le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) est une céréale pilier de la sécurité alimentaire et nutritionnelle. Cette denrée représente un aliment de base de plus de 35 % de la population mondiale et apporte plus de 20 % des calories consommées dans le monde (Braun et *al.*, 2010). Actuellement, le blé tendre occupe environ 95 % de la superficie emblavée en blés dans le monde entier, les 5 % restant sont représentés par le blé dur (Shewry, 2009).

Au Maroc, le blé tendre joue un rôle prépondérant dans les systèmes de production agricoles, sur le plan socio-économique. Durant la dernière décennie, cette culture céréalière occupe une superficie variant de 1,6 à 2,3 millions d'hectares, avec une production moyenne de 3,7 millions de tonnes (MADPRM, 2021) prenant ainsi la 1^{ère} place des productions céréalières au Maroc. Par conséquent il n'arrive pas à assurer son autosuffisance dans la production du blé et reste parmi les plus grands importateurs du blé au monde (ONICL, 2018).

Malgré cette importance, le rendement ainsi que la qualité du blé tendre restent en dessous des besoins nationaux sous l'influence de plusieurs facteurs à savoir les changements climatiques amplifiant les contraintes biotiques et abiotiques. La sécheresse constitue l'un des stress abiotiques les plus importants et les plus complexes. Elle affecte la production agricole et limite l'expression du potentiel du rendement et sa stabilité principalement dans les zones arides. Parmi les contraintes biotiques, les champignons, les nématodes, les virus et les ravageurs sont responsables d'une grande partie des dégâts subis par la culture du blé tendre au cours de son cycle de développement, ou lors du stockage de la production.

Pour faire face à ces différentes menaces et afin de pouvoir subvenir aux besoins des consommateurs en termes de qualité boulangère et industrielle, les scientifiques se sont mobilisés depuis plusieurs siècles pour améliorer la production et la productivité de cette culture par la mise en place des itinéraires techniques améliorés, de nouveaux procédés culturels, des produits chimiques, la lutte biologique et la sélection variétale.

La sélection variétale constitue une option privilégiée pour le développement de nouvelles variétés de plus en plus performantes. En effet les améliorateurs cherchent à créer de nouvelles variétés productives, résistantes aux stress de l'environnement et de meilleure qualité.

Cette étude a porté sur l'amélioration simultanée des caractères agromorphologiques, et les caractères qualitatifs. Elle a concerné des lignées avancées qui proviennent de différentes stations expérimentales. Ces derniers sont caractérisés par un climat variant du subhumide à l'aride. Le site Marchouch connu par son climat humide, Sidi El Aidi par un climat semi-aride et Jemaat Shaim par un climat aride.

L'ensemble de ces paramètres sont analysés via des analyses statistiques dont : l'ANOVA, les corrélations de Pearson, l'ACP, l'analyse de stabilité et l'indice de supériorité.

Dans ce sens, le présent travail est réalisé au sein du laboratoire de l'amélioration génétique du blé tendre au centre de recherche régional de Rabat, mené par l'équipe de l'amélioration génétique de l'INRA et s'inscrivant dans le programme de création variétale du blé tendre. Les objectifs s'articulent autour de trois points :

1. Evaluation agro-morphologique des lignées avancées de blé tendre sur la base du rendement, poids de mille grains et la surface des grains dans les trois sites expérimentaux contrastés.
2. Evaluation des paramètres de qualité de ces lignées sur la base de la teneur en protéines, la force du gluten (SDS) et le poids spécifique dans les trois sites expérimentaux.
3. Identification des lignées de blé tendre les plus prometteuses sur la base des différents paramètres étudiés et les plus stables dans les différents sites.

Le blé tendre revêt une importance particulière aux niveaux national et mondial. Il est répandu quasiment partout dans le monde et constitue l'aliment de base en Europe, en Afrique, en Amérique et en Australie et dans une grande partie de l'Asie en assurant les besoins nutritifs d'un tiers de la population mondiale.

Le blé tendre entre, également comme constituant, dans l'alimentation du bétail mais pourrait avoir d'autres utilisations dans d'autres secteurs tels que la cosmétique, l'industrie, ..., etc.

I. CARACTERISTIQUES GENERALES DU BLE TENDRE

1. HISTORIQUE DU BLE TENDRE

Le blé tendre (*Triticum aestivum*) est une céréale pilier de la sécurité alimentaire et nutritionnelle à l'échelle internationale. Cette denrée représente un aliment de base de plus de 35% de la population mondiale et apporte plus de 20% des calories consommées dans le monde (Braun et al., 2010). Le blé tendre est né il y a 10 000 ans, lors de la naissance de l'agriculture dans le "croissant fertile", qui permettra ensuite l'émergence de la civilisation occidentale (Lev-Yadun et al., 2000). Il résulte du croisement entre un blé tétraploïde et d'une graminée sauvage (Bonjean, 2001).

Leurs saveurs agréables, leurs longues durées de conservation et les différentes caractéristiques des produits du blé tendre, le rendent très attrayant parmi les autres céréales (Nelson, 1985).

L'ensemencement de graines provenant de graminées sauvages, la culture et la récolte répétées ont conduit à la domestication du blé. Ainsi que la sélection des formes mutantes avec des épis rigides qui restent intacts lors de la récolte, un nombre de grains plus important et une tendance pour les épillets à rester sur la tige jusqu'à la récolte était le déclenchement de l'agriculture moderne (Dubcovsky et al., 1997).

2. ORIGINE ET REPARTITION GEOGRAPHIQUES

Le blé est originaire de la vallée de la Somalie et des plaines Mésopotamiennes du Tigre et de l'Euphrate, dans la région (Figure 1) connue sous le nom du Croissant Fertile (Smith et Wayne, 1995). Cette zone constitue un vaste territoire comprenant la Syrie, la Jordanie, la Palestine, l'Iraq, l'Iran et la Turquie (Lev-Yadun et al., 2000).

De son centre primaire, le blé tendre s'est dispersé vers l'Europe *via* la Grèce et vers l'Asie *via* l'Inde (Lev-Yadun et al., 2000).

Par rapport à l'Afrique il y a eu plusieurs voies de diffusion des blés. La route la plus ancienne gagna l'Egypte et se poursuivit vers le Soudan et l'Ethiopie, au Sud, et vers la Libye à l'Est. D'autres voies d'introduction furent maritimes, à partir de la Grèce et de la Crète (Feldman, 2001).

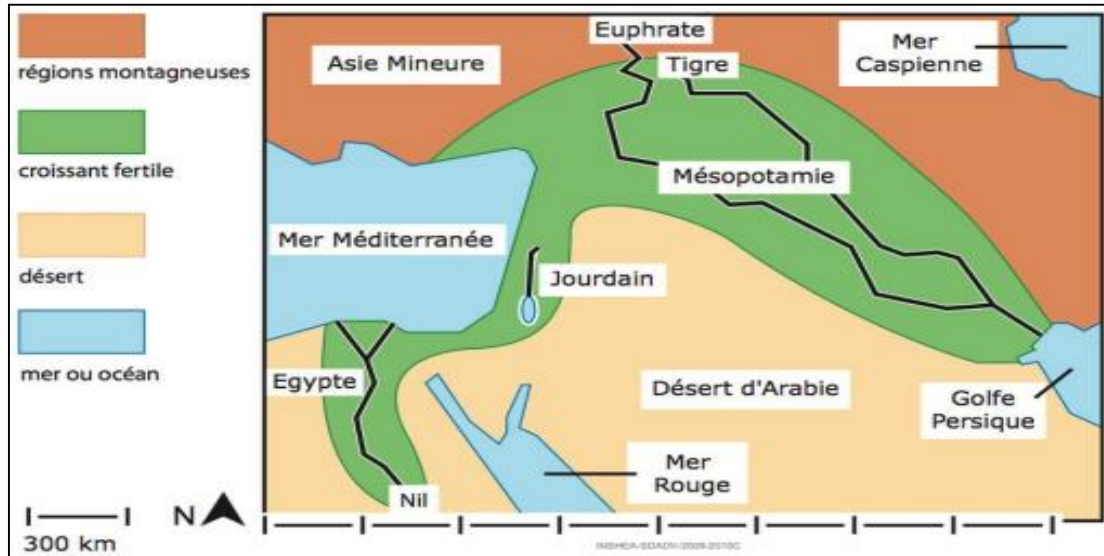


Figure 1 : Le croissant fertile (Sédentarisation - Liens - Univers social 2.0, n.d.)

3. ORIGINE GENETIQUE

La détermination de l'origine de chacun des génomes du blé est réalisée par des études cytogénétiques et par le développement des outils moléculaires (Brancourt-Humel et Lecomte, 1994).

Le blé tendre d'un point de vue phylogénétique est issu de deux hybridations interspécifiques suivi d'un doublement chromosomique (Figure 2). Le croisement entre *Triticum monococcum* (**A**) et un *Aegilops* (**B**) a donné un individu de structure génomique (AB) avec 14 chromosomes. Après doublement chromosomique est apparu *Triticum turgidum* ssp. *dicocoides* (**AA BB**). Le second croisement interspécifique, entre *Triticum turgidum* ssp. *dicocoides* et *Aegilops tauschii* (**D**), a donné un individu (ABD) possédant 21 chromosomes. Ce dernier a subi un doublement chromosomique (**AA BB DD**) et est l'ancêtre de *Triticum aestivum* (Figure 2).

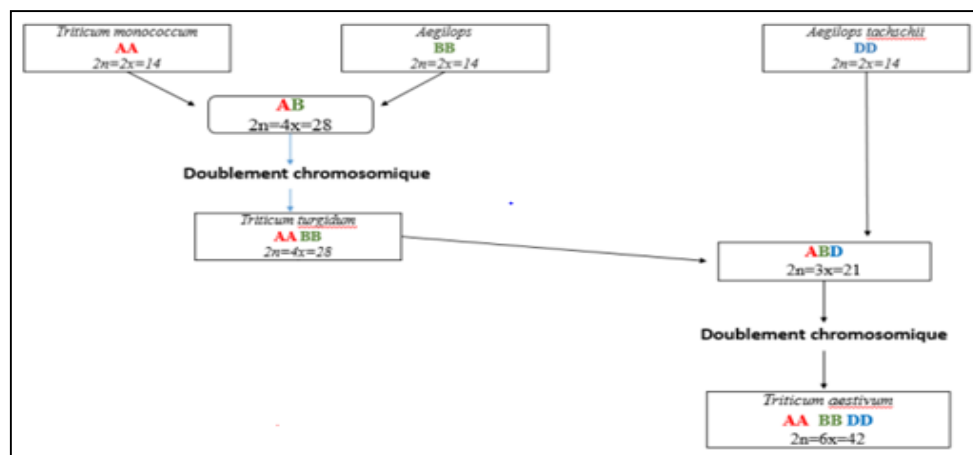


Figure 2 : Phylogénie schématique du blé dur et du blé tendre (Chen et al., 1984).

II. BIOLOGIE ET CYCLE VEGETATIF DU BLE TENDRE

1. MORPHOLOGIE DU BLE TENDRE

Le blé tendre est une graminée annuelle qui fait partie de la classe botanique des Monocotylédones et de la famille des *Poacées*. C'est une espèce autogame, dotée d'un appareil végétatif herbacée comprenant un système racinaire fasciculée assez développé (Figure 3), une tige creuse appelée chaume dont les entre-nœuds ne se sont allongés qu'à la montaison, et porte des feuilles engainantes à nervures parallèles issues chacune d'un nœud (Ahmadi et *al.*, 2002).

L'inflorescence est composée de 15 à 25 épillets constitués chacun de trois à quatre fleurs hermaphrodites (Figure 3). Cette caractéristique fait que le blé est une plante autogame dont la fécondation a lieu à l'intérieur des glumelles avant que les étamines n'apparaissent à l'extérieur assurant une conservation parfaite de la pureté variétale d'une génération à l'autre (Soltner, 2012).

Chaque fleur est portée par un court pédicelle et enfermée entre deux bractées appelées glumelles. La fleur hermaphrodite possède trois étamines se terminant chacune d'une anthère en X et le pistil qui comprend un seul ovaire et deux styles se terminant chacun par un stigmate plumeux (Ahmadi et *al.*, 2002).

Le blé possède un caryopse nu, indéhiscent dont les parois sont soudées à celle de la graine. Il est considéré à la fois graine et fruit. Le grain est composé en grande partie de l'albumen ou l'amande représentant 83 à 85% de son poids total. L'albumen est composé de 70% d'amidon et de 7% de gluten. Chez le blé tendre, l'albumen est farineux et sa coupe facile présente un aspect blanc et mat (Soltner, 2012).

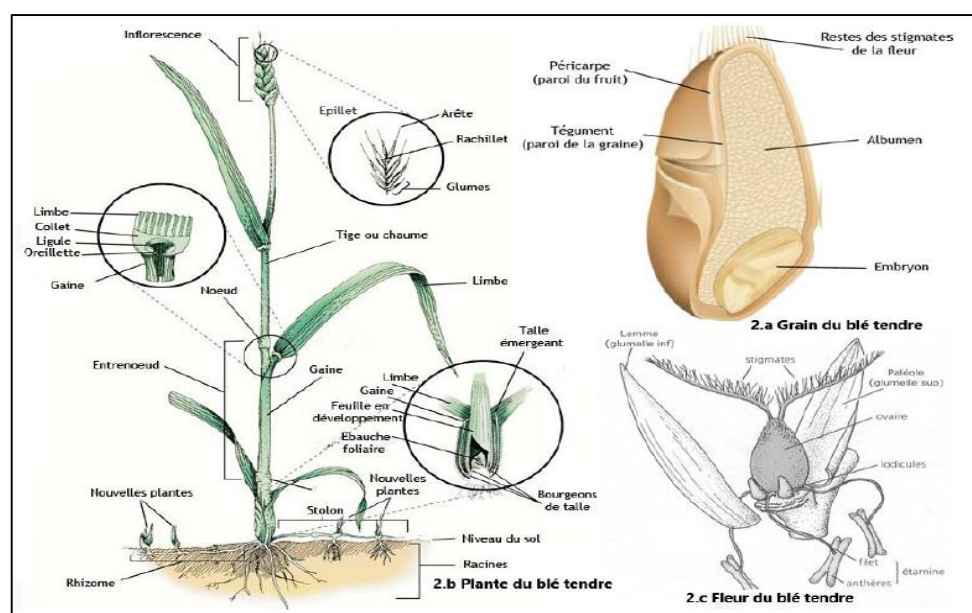


Figure 3 : Morphologie du blé tendre (Wikipédia, 2022).

2. CYCLE VEGETATIF DU BLE

Dans le cycle végétatif du blé tendre (Figure 4), une série d'étapes séparées par des stades repères, permettent de diviser sa vie en deux périodes :

- **La période végétative** : s'étalant de la germination à l'ébauche de l'épi, durant laquelle la plante ne différencie que des feuilles et des racines ;
- **La période reproductrice** : allant de l'ébauche de l'épi jusqu'à la maturation du grain, durant laquelle l'apparition de l'épi et la formation du grain sont réalisées (Soltner, 2012).

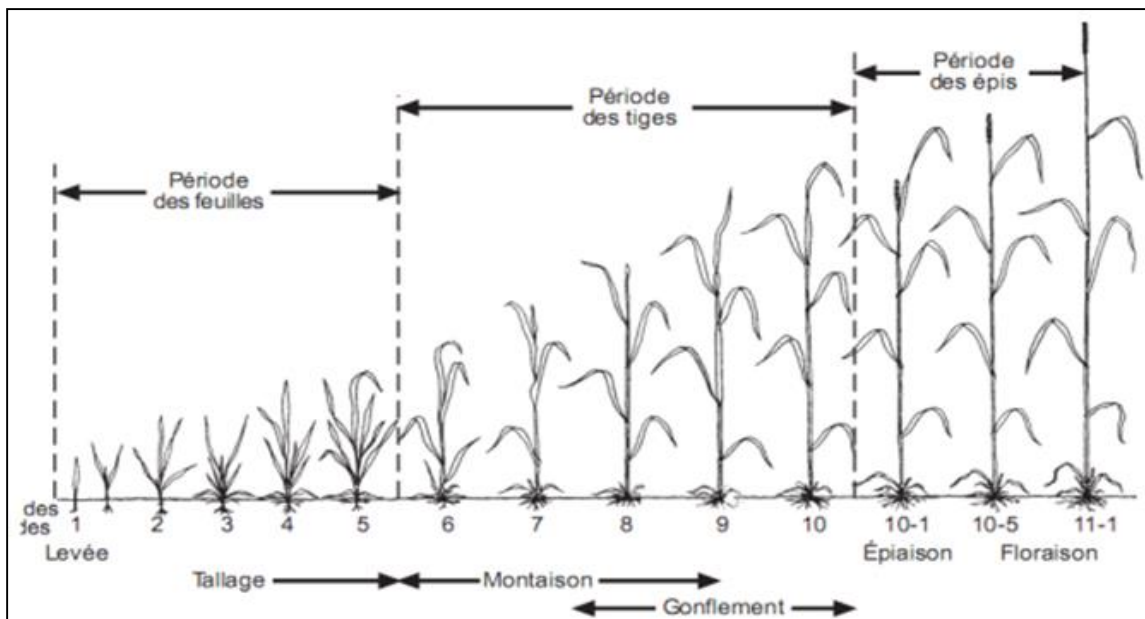


Figure 4 : Cycle de développement du blé (Zadoks et al., 1974).

3. ENVIRONNEMENT CIBLE DE LA CULTURE

L'environnement cible est pris dans son sens large, à savoir le milieu dans lequel la variété évolue le plus.

La culture du blé s'adapte à une large gamme de conditions climatiques (Leonard et Martin, 1963). Toutefois elle requiert un certain nombre d'exigences physiologiques et édapho-climatiques nécessaires à son développement aux différentes phases de sa croissance.

Concernant les conditions géographiques, le blé peut croître au-delà de ses limites au niveau du cercle arctique jusqu'aux hautes altitudes près de l'équateur. Il peut même réussir dans les latitudes allant de 30° à 60° Nord et 27° à 40° Sud (Nuttonson, 1955).

La température est considérée comme un facteur important dans la croissance et le développement de la culture du blé. La fourchette optimale de températures pour la croissance du blé est de 10-24 °C, avec

des minimas de 3-4 °C et des maximas de 30-32 °C. Une température moyenne d'environ 18°C est optimale en termes de rendement. Des températures supérieures à 35°C interrompent la photosynthèse et la croissance, et à 40°C la chaleur tue la plante (Belay, 2006).

Le blé nécessite en culture pluviale entre 400 à 500mm de précipitations pendant son cycle. Ces dernières peuvent varier de 250 à 1750mm annuellement selon la longueur du cycle de la variété, la date de semis et des conditions agro-climatiques de la culture (Ouattar et Ameziane, 1989).

4. CONTRAINTES DE LA CULTURE DU BLE

A. Contraintes biotiques

Plusieurs agents biotiques sont responsables d'une grande partie des dégâts subis par la culture de blé tendre au cours de son cycle de développement, ou lors du stockage de la production. La plante subit des infections par un grand nombre de maladies dues notamment aux champignons et aux virus. Elle peut être également attaquée par plusieurs espèces de ravageurs, des pucerons et des insectes. Les plantes sauvages ou adventives peuvent également constituer une contrainte pour cette culture (Jlibene, 2011).

Les principales maladies et ravageurs au Maroc pour le blé tendre (Annexe 1) sont : la rouille brune (*Puccinia striicincta*), la rouille jaune (*Puccinia striiformis*), la septoriose (*Septoria tritici*) et la cécidomyie ou mouche de Hesse (*Mayetiola destructor*). D'autres maladies comme la rouille des tiges (*Puccinia graminis*), le mildiou (*Erysiphe graminis*) et la pourriture racinaire (complexe de champignons) et d'autres ravageurs notamment les pucerons et les nématodes causent également de lourds dégâts (Ourgha, 2016).

B. Contraintes abiotiques

Sous les conditions agro-climatiques de culture, le blé tendre subit tout au long de son cycle de nombreuses contraintes influençant de manière variable le potentiel de production. La variation des rendements de blé tendre des zones semi-arides tire son origine en grande partie des effets de ces contraintes abiotiques.

Le stress abiotique inclut toutes les conditions environnementales affectant négativement l'expression du potentiel génétique pour la croissance, le développement et la reproduction (Jones et Quaslet, 1984).

Les principaux stress abiotiques influençant le blé sont la sécheresse, la chaleur, les faibles températures, la faible fertilité surtout azotée et la salinité du sol (Acevedo et al., 1998).

III. IMPORTANCE ECONOMIQUE DE LA CULTURE DU BLE TENDRE

1. PRODUCTION DU BLE DANS LE MONDE

Le blé est la deuxième céréale la plus produite au monde, derrière le maïs et devant le riz. Il est considéré comme une culture vivrière importante cultivée sur une grande superficie du monde entier dépassant les 270 millions d'hectare.

La production mondiale du blé est passée de 748 Mt en 2016 à 760Mt entre 2016 et 2020, pour une superficie récoltée de 219 Millions d'hectares qui a relativement diminuée d'à peu près 150 000 hectares (FAOSTAT, 2020).

Selon les prévisions de la FAO, la **production** mondiale de céréales est en légère hausse, en ce mois de Mai 2022, et s'établit à présent à 2799 millions de tonnes, soit 0,8% de plus que la production enregistrée en 2020(Figure 5).



Figure 5 : Production mondiale des Céréales (FAOSTAT, 2022).

Les cinq premiers pays mondiaux producteurs de blé (Figure 6) sont : La Chine, l'union européenne, l'Inde, la Russie et les Etats-Unis (Statista, 2022).Leurs productions dépassent de loin leurs besoins (FAO, 2022). Les plus grands exportateurs sont les Etats-Unis avec plus de 25Mt, ensuite, le Canada, la France, l'Australie et la Russie (FAOSTAT, 2022).

Par contre, l'Egypte, l'Italie, le Brésil, le Japon et l'Algérie sont les pays les plus importateurs du blé (FAOSTAT, 2020).

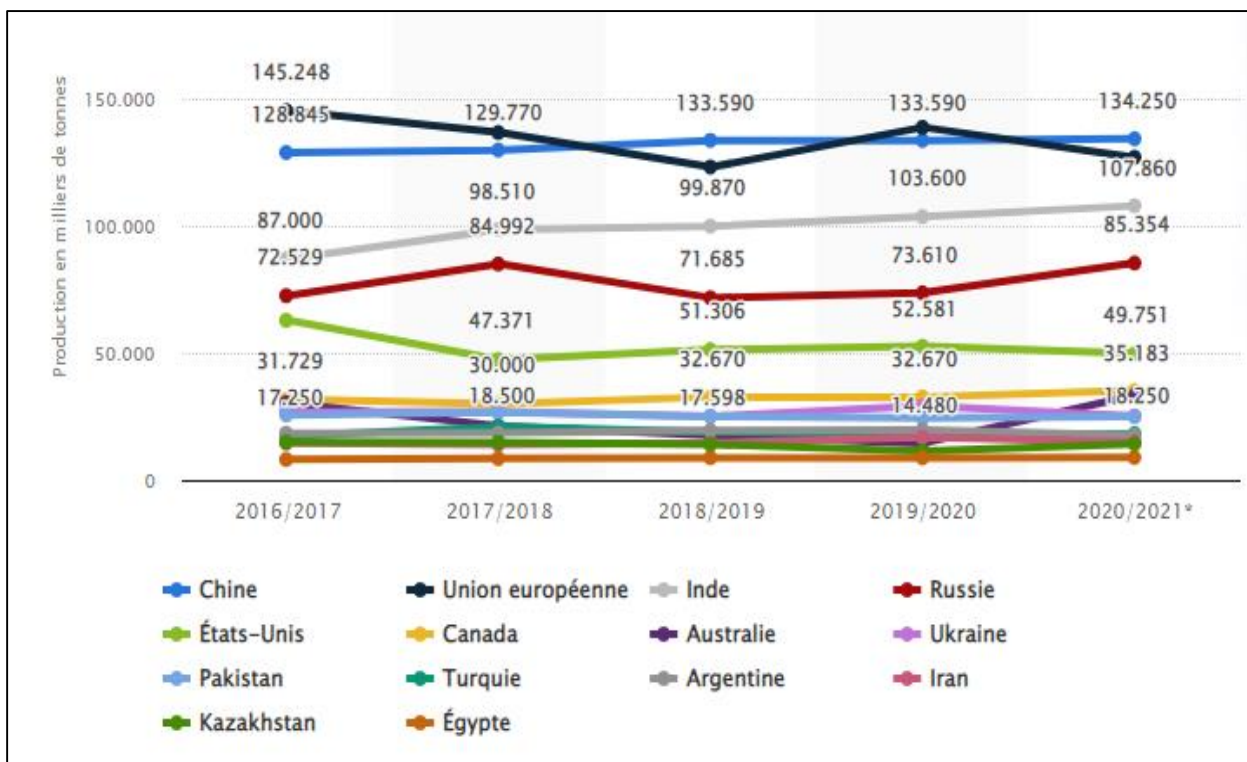


Figure 6 : Pays producteurs du blé au monde (FAOSTAT, 2022).

2. PRODUCTION DU BLE EN AFRIQUE

L'Afrique est confrontée à des défis très divers pour la production du blé. Il s'agit d'une culture de base majeure pour plusieurs pays et d'un produit importé dans toute l'Afrique. Dans l'ensemble des pays africains, la consommation de blé n'a cessé d'augmenter, ces vingt dernières années, suite à une croissance démographique flamboyante, à l'évolution des préférences alimentaires et à l'évolution socio-économique associée à l'urbanisation (CGIAR, 2021).

Les pays africains sont les plus grands importateurs mondiaux de blé. En Afrique du Nord, il y'aura certainement une baisse des récoltes cette année, en raison du temps sec au Maroc, dans l'ouest de l'Algérie et au centre de la Tunisie (FAOSTAT, 2022).

Les rendements céréaliers en Afrique sont inférieurs à la moitié de la moyenne mondiale. La transformation agricole en Afrique sera encouragée par l'augmentation de la productivité des petits agriculteurs et le comblement des écarts de rendement en apportant des intrants adaptés et en améliorant les technologies, telles que des variétés résistantes au stress et aux rendements élevés (Sakumona et al, 2014).

3. PRODUCTION DU BLE AU MAROC

Le blé tendre étant considéré comme un indispensable de la ration alimentaire de la population marocaine. Il occupe le premier rang dépassant de loin les autres espèces de la même famille. La production du blé au Maroc reste modérée, quoiqu'elle ait connu des augmentations

significatives depuis les années 1980, atteignant les 5.6 millions de tonnes en 2014-15 (Figure 7).

Selon les statistiques de la FAO (2021), le Maroc a produit 10,3 millions de tonnes de céréales en 2021, soit près du triple du volume enregistré en 2020(Figure 7).

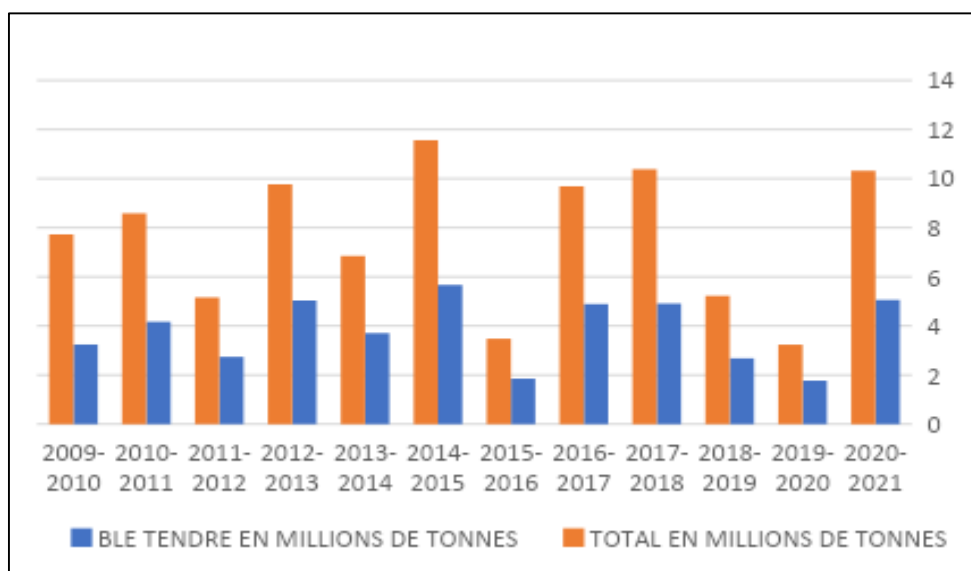


Figure 7 : Production du blé au Maroc (ONICL, 2022).

IV. COMPOSITION DE LA FARINE DU BLE & CARACTERISTIQUES D'APPRECIATION

1. COMPOSITION DE LA FARINE

L'importance de la culture du blé découle en grande partie de son rôle primordial dans l'alimentation humaine. Toutes les plantes récoltées peuvent être pleinement utilisées, à la fois comme alimentation humaine, comme alimentation du bétail, et même dans les industries cosmétiques et diététiques.

Selon Malik (2009), la farine du blé se compose principalement d'amidon (70-75%), d'eau (14%) et de protéines (10-12%). Les polysaccharides non amidonnés (2-3%) et les lipides (2%) sont des constituants mineurs de la farine importants pour la production et la qualité du pain (Goesaert et *al.*, 2005).

A. Amidon

L'amidon est le polysaccharide de réserve le plus important de nombreuses céréales (Parker et Ring, 2001). Chez le blé, l'amidon est le composant le plus abondant dans l'endosperme du grain. Il se compose des polymères de glucose, de l'amylose et de l'amylopectine (Lineback et Rasper, 1988).

Le grain de blé et l'albumen en contiennent respectivement 67-68 % et 78-82 %. C'est l'un des polymères fonctionnels les plus importants des aliments en raison de son pouvoir gélifiant, viscosifiant et fixateur d'eau (Feillet, 2000).

L'amidon joue un rôle important dans la panification puisqu'il assure la dilution du gluten, fixe l'eau et constitue une source de sucres fermentescibles (Feillet, 2000).

B. Lipides

Dans le grain de blé, les lipides sont présents en petites quantités (2%). Les acides gras essentiels (acides palmitique et linoléique), les vitamines liposolubles et les phytostérols sont des composants importants des lipides du grain de blé (Ruibal-Mendieta et *al.*, 2004).

Les principales matières grasses du blé, du germe et de la farine sont des acides gras (acide palmitique, stéarique, oléique, linoléique et linoléique), des glycérides simples (principalement des triglycérides, mais également des mono et des diglycérides), des glycolipides (galactoglycérides) et des phospholipides. Elles sont inégalement distribuées dans le grain : le germe et la couche à aleurone sont particulièrement riches ; l'albumen amylicé contient la plus grande part des lipides polaires du grain (82 % des lipides du grain se retrouvent dans l'albumen, 15 % dans les sons et 3 % dans le germe) (Feillet, 2000).

Le volume du pain est affecté négativement par les acides gras libres dans les lipides NP alors que les glycolipides dans les lipides polaires ont un impact positif sur le volume du pain (MacRitchie, 1983 ; McCormack et *al.*, 1991). Le volume, la douceur du pain cuit et la structure (morphologie) des biscuits sont également influencés par les lipides (Pomeranz et *al.*, 1991 ; Papantoniou et *al.*, 2004).

C. Protéines

Ce sont des composés azotés que l'on rencontre sous forme simple (acides aminés) et sous forme plus complexe (protéines). La teneur en protéines des céréales et des protéagineux varie suivant les espèces, elle est de 12% pour le blé, 11% pour l'orge et seulement 10% pour le maïs. Certains de ces acides aminés, telle la lysine, sont indispensables pour l'alimentation animale (substance nécessaire à la croissance) (Feillet, 2000).

Les protéines du blé sont classiquement réparties en quatre classes en fonction de leur solubilité : les albumines, solubles dans l'eau, et les globulines solubles dans les solutions salines neutres souvent regroupées sous terme de protéines solubles, d'albumines-globulines ou de protéines cytoplasmiques ou métaboliques ; les gliadines, solubles dans les alcools dilués (éthanol 70 %), et les gluténines, protéines résiduelles insolubles dans les solvants précédents, partiellement solubles dans les solutions acides diluées et dans l'urée.

Les gliadines et les gluténines, principaux constituants du gluten, constituent les protéines de réserve dans lesquelles la jeune plantule puisera les acides aminés dont elle a besoin au moment de la germination du grain (Feillet, 2000).

2. CARACTERISTIQUES D'APPRECIATION DE LA QUALITE DE LA FARINE DU BLE

A. Teneur en protéines totales

La teneur en protéines du grain de blé est un facteur critique dans la fabrication du pain. En effet, une teneur élevée en protéines est toujours associée à une bonne qualité de pain (Tipples et *al.*, 1994 ; Marinciu et Saulescu, 2008).

De nombreuses recherches ont affirmé que la teneur en protéines est génétiquement contrôlée (Stoddard et Marshall, 1990 ; Johnson, 1985 ; Tayyar et Gül, 2008 ; Tayyar, 2010) et que les variations de l'absorption de l'azote causent des fluctuations remarquables dans la teneur en protéines des grains et dans d'autres effets considérables des propriétés de la pâte (Wrigley, 1994 ; Campbell et *al.*, 1997 ; Ozturk et Aydin, 2004). Selon Feillet (2000), la teneur en protéines des grains varie entre 8 et 14% de la matière sèche, mais peut varier considérablement selon la variété, les conditions climatiques et la fertilité du sol ainsi que les interactions complexes entre ces facteurs (Tayyar, 2010).

En effet, Johansson et Svensson (1999) ont confirmé que la variation saisonnière, les différences dans l'application des engrais et la variation des cultivars furent très importantes pour déterminer la teneur en protéines.

Ainsi, les farines à forte teneur en protéines sont beaucoup plus convoitées car elles disposent d'un fort potentiel en volume de pain et une importante capacité d'absorption de l'eau (Feillet, 2000).

B. Teneur en gluten

Le gluten est une fraction protéique élastique-plastique (caoutchouteuse) de la farine responsable des propriétés physiques de la pâte (Perten et *al.*, 1992). Le gluten comprend 80 à 85% de protéines et 5% de lipides, le reste est constitué de l'amidon et des glucides non amidonnés (Wieser, 2007).

Les protéines de gluten sont présentes dans l'endosperme du grain de blé mature, où elles forment une matrice continue autour des granules d'amidon. Le gluten contient des centaines de protéines présentes sous forme de monomères (gliadines), liés par des liaisons disulfure inter et intra-chaîne (forme oxydée par la cystéine), comme oligo-polymères de glétinunes (Wrigley et Bietz, 1988). D'après Curic et *al.* (2001) la quantité et la qualité du gluten sont considérées comme les paramètres les plus

importants de la qualité de la farine de blé, cet avis est bien soutenu par Shewry et Halford (2002). Il a été généralement accepté que toute augmentation de la teneur en protéine de la farine entraînerait une augmentation de la teneur en gluten (Perten et *al.*, 1992).

Il est important aussi de noter que les teneurs en protéines ou en gluten ne soient pas une mesure de la qualité du gluten. En effet, la qualité du gluten est caractérisée par le degré d'extensibilité et d'élasticité de la pâte (Curic et *al.*, 2001). Les technologues considèrent le gluten comme la partie fonctionnelle de la pâte qui influence de nombreuses qualités du produit. Les propriétés physiques de la pâte préparée à partir de la farine de blé, attribuées principalement au gluten, peuvent être décrites par des mesures farino-graphiques et extenso-graphiques utilisant le Brabender farino-graphe et extenso-graphe (OMAS, 1988).

En général, la teneur élevée en gluten ressemble beaucoup à l'absorption d'eau de la farine. Il existe également des corrélations positives entre la teneur en protéines et la teneur en gluten. Si la teneur en gluten de la farine est de 20% et moins, celle-ci est acceptée comme une valeur faible, Si elle dépasse la valeur de 27%, alors elle est élevée (Elgün et *al.*, 2002).

C. Teneur en matières minérales

D'après Feillet (2000), la connaissance de la teneur en matières minérales (ou teneur en cendres) permet aux meuniers de régler leurs moulins et de déterminer le taux d'extraction des farines. Elle est utilisée pour déterminer le degré de pureté réglementaire des farines.

Fine a conclu dans un travail réalisé en 1972, que la teneur en cendres des grains est influencée par la variété et les éléments nutritifs disponibles dans le sol mais non affecté par les conditions climatiques. Les blés tendres contiennent environ 1.20-2.30% de cendres sur la base d'un grain entier, bien que les farines à teneur élevée en cendres soient indésirables (Fine, 1972 ; Pittman et Tipples, 1978).

La mesure du taux de cendres est souvent utilisée pour désigner le type de farine et son utilisation. D'après Feillet (2000) les farines du premier passage proviennent du cœur de l'albumen, celles isolées en fin de mouture contiennent des proportions importantes de couche à aleurone et de péricarpe. Elles sont de ce fait beaucoup plus riches en matières minérales que les premières.

D. Teneur en eau

La teneur en eau du blé ou d'une farine est la quantité d'eau éliminée après maintien du produit dans une atmosphère où la pression de vapeur d'eau est égale à zéro pendant un temps suffisant pour atteindre un équilibre en poids (Feillet, 2000).

Selon Tayyar (2010), l'humidité du grain de blé revêt une importance vitale pour le stockage, l'industrie de meunerie et le marché du blé (importation et exportation). En effet, l'humidité élevée du grain entraîne une activité microbienne plus élevée et une plus faible matière sèche qui n'est pas souhaitable dans le marché du blé.

Randall et Moss (1990) ont trouvé que la résistance maximale de la pâte, la qualité et le volume du pain ont considérablement diminué sous stress hydrique en post-anthèse. Ils ont conclu que la sécheresse a accéléré la sénescence et a augmenté le taux de perte d'eau des grains.

Altenbach et *al.* (2003) ont rapporté que l'irrigation influe l'accumulation des protéines pendant le remplissage des grains, puisqu'elle peut diminuer la teneur en protéines de la farine par dilution d'azote avec les hydrates de carbone (Ozturk et Aydin, 2004). De ce fait, la teneur en humidité du grain de blé se rapporte négativement à la polymérisation des protéines de stockage du grain (Johansson et *al.*, 2008).

V. PROGRAMME D'AMELIORATION GENETIQUE DU BLE

1. DEFINITION D'UN PROGRAMME D'AMELIORATION GENETIQUE ET PRINCIPES DE BASE

Un programme d'amélioration peut être défini comme une composante fondamentale du progrès technique dans le domaine agricole. Il a pour but d'œuvrer pour la diversification des cultures introduites et la mise au point de nouveaux cultivars productifs pouvant s'adapter aux conditions agro-climatiques du pays et visant, ainsi, à la promotion d'une agriculture compétitive menant à une autosuffisance et sécurité alimentaire.

2. DESCRIPTIF DU PROGRAMME NATIONAL D'AMELIORATION GENETIQUE A L'INRA

Ce programme d'amélioration vise à répondre aux différents facteurs contraignant la production de la culture de blé tendre annuellement, dont les principaux sont l'influence des facteurs climatiques principalement la sécheresse, la chaleur, le froid et la gelée. D'autre part, l'incidence des ravageurs biotiques réagissant eux aussi avec l'environnement.

Au Maroc, le programme d'amélioration génétique de blé tendre, développé au niveau de l'INRA est l'un des programmes les plus

prometteurs pour le développement de nouvelles variétés de blé tendre nationales adaptées aux conditions agro climatiques du pays.

Actuellement, et du fait de l'instabilité du climat d'une année à l'autre dans l'environnement favorable, l'approche de sélection tend vers une adaptation variétale plus large à une grande gamme d'environnements.

3. OBJECTIFS ET CRITERES DE SELECTION

A. Objectifs de sélection

Des efforts sont déployés pour améliorer génétiquement la culture du blé tendre dans les zones arides et semi-arides. Parmi les objectifs de sélection visés par le programme d'amélioration génétique on trouve :

- ❖ L'adaptation et la sélection de nouvelles variétés performantes dans ces zones ;
- ❖ Création d'un germoplasme diversifié comme source de résistance et tolérance aux différents stress biotiques et abiotiques ;
- ❖ Identification des critères de sélection ;
- ❖ Amélioration des qualités boulangères et technologiques de l'espèce (Jlibene, 2009).

B. Critères de sélection

Actuellement les programmes de sélection des céréales, en général, et du blé, en particulier, cherchent en priorité l'adaptation aux changements climatiques dans ces cultures.

Tous les critères sont liés au potentiel élevé de rendement, une tolérance à la sécheresse et aux hautes températures ainsi qu'une grande résistance aux maladies, en particulier à l'Oïdium, la rouille, la cécidomyie, la septoriose et les pourritures racinaires. Par ailleurs, il y'en a d'autres caractéristiques liées à la qualité technologiques et nutritionnelles dans l'objet de sélection dans le programme d'amélioration.

D'après Jlibene (2011), les programmes de sélection portant sur l'amélioration de la productivité du blé tendre ont plusieurs objectifs. Des paramètres de performances sont décomposés en plusieurs critères :

- Productivité à l'hectare : Rendement, Nombre d'épi/m², semi nanisme, ..., etc ;
- Stabilité du Rendement : Précocité, Résistance à la sécheresse, Tallage moyen, ..., etc ;
- Résistance aux parasites : Rouille, septoriose, Cécidomyie...
- Qualité technologique : Grain dur à semi dur pour le pain ; Grain tendre pour le biscuit ; Grain de couleur clair ; taux de protéine de moyen à élevé ; bonne qualité des protéines de types Gluténine...

C. Contraintes de sélection

Les contraintes que connaît la majorité des programmes de sélection au niveau mondiale et national sont le temps et le coût. Le temps que prend la plupart des programmes est assez long allant jusqu'à 15ans. Les méthodes conventionnelles, comme le Pedigree est remplacé par le Bulk qui économise plus de temps et efficace.

Des restrictions budgétaires de ressources entravent aussi la réussite de la sélection, mais actuellement la diversité des programmes spécifiques a permis une adaptation vis à vis la situation.

4. VARIETES DU BLE TENDRE AU MAROC

Après de longues années de travail dur, de différentes méthodes de sélection, des années de vérifications menées sur les différentes zones pédoclimatiques du Maroc, l'Institut National Des Recherches Agronomiques arrive enfin à créer de nouvelles variétés pouvant résister aux maladies, aux changements climatiques, et répondant aussi aux exigences du consommateur (Figure 8).

On compte actuellement une soixantaine de variétés de blé Tendre inscrites au catalogue officiel dont environ la moitié développée par l'INRA. (Jlibene, 2009c). Le tableau 1 regroupe quelques-unes des variétés créés et inscrites au catalogue officiel.

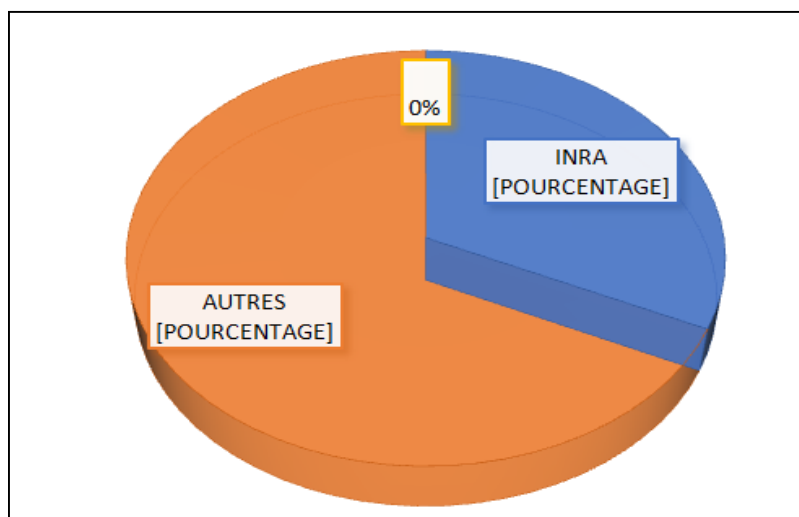


Figure 8 : Part des obtentions INRA inscrites au catalogue officiel (INRA 2022).

Tableau 1 : Variétés Créées par l'INRA (ONSSA, 2022).

| Nom Variété | Année inscription | Caractéristiques | Zone d'adaptation |
|---------------------|--------------------------|---|--|
| KHADIJA H150 | 2010 | Résistance à la Cécidomyie, et qualité boulangère moyenne | Semi-aride et Bour Favorable |
| KHARROUBA | 2010 | Résistance à la Cécidomyie, qualité boulangère moyenne. Variété hautement productive | Semi-aride, Bour Favorable et irrigué |
| ARREHANE | 1996 | Valeur boulangère assez bonne & adaptation au semis tardif. | Large, Bour, Irrigué et Semi-aride |
| ACHTAR | 1988 | Variété commercialisée au sein de SONACOS. Très bonne qualité boulangère et pâtissière & haute productivité | Irrigué et Bour Favorable |
| KANZ | 1987 | Tolérance au stress hydrique. Hauts rendements. | Bour Favorable et Semi-aride |
| MALIKA | 2016 | Bonne qualité technologique | Bour Favorable, Semi-aride et Irrigué. |
| SNINA | 2017 | Très bonne qualité technologique & durée de cycle de 143 jours | Zones Aride et Semi-aride |
| LINA | 2020 | Résistance aux différentes maladies & bonne qualité technologique | Bour Favorable, Semi-aride et Irrigué |

Afin d'effectuer un criblage et une sélection de lignées de blé tendre sur la base des caractères agro-morphologiques et des caractères de qualité, une série d'expérimentations et des analyses sont effectuées au sein du laboratoire de l'amélioration génétique de la qualité du blé. Ces activités sont réalisées, dans le cadre d'un programme d'amélioration génétique du blé tendre conduit par l'INRA au Maroc.

Le présent travail exploite la récolte de la campagne 2020-2021. Dans le cadre de ce programme d'amélioration, cette récolte va être analysée, interprétée dans le but de répondre ainsi aux objectifs fixés par cette étude.

I. ZONE D'ETUDE

La caractérisation du matériel végétal est effectuée moyennant des essais, menés dans trois localités, correspondant à différentes régions géographiques. Ces sites expérimentaux sont caractérisés par un climat variant du subhumide à l'aride, correspondent à des stations expérimentales relevant de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). Ce sont les stations de Marchouch, Sidi El Aidi et Jemaat Shaim (Figure 9) :

1. STATION EXPERIMENTALE DE MARCHOUCH

Cette station appartient au Centre International de la Recherche Agronomique dans les Milieux Arides (ICARDA), se à 60 km au Sud de Rabat sur la route secondaire 106 reliant Rommani-Marchouch. Elle a comme coordonnées géographiques 30°60'0 de latitude Nord, 6°42'35 de longitude Ouest et 446 mètres d'altitude (Tableau 2).

Le type de sol dans cette station est argileux limoneux. Son climat appartient à un bioclimat subhumide marocain. La station est caractérisée par une pluviométrie annuelle moyenne de l'ordre de 514 mm, avec des températures moyennes annuelles de l'ordre de -1.7 °C 8.3 °C (minima) et de 19.5 °C 37.6°C (maxima).

2. STATION EXPERIMENTALE DE SIDI EL AIDI

Cette station appartient au Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settât, se situe à 16 Km Nord-Ouest de la ville de Settât, à 55 Km de l'océan atlantique à une altitude de 240 m (Tableau 2). Elle se localise à la latitude 33°90'0 Nord et la longitude 7° 24' 48' Ouest, et se caractérise d'un climat semi-aride et une précipitation annuelle d'environ à 300 mm, avec des températures moyennes annuelles de 20°C.

Le sol est de nature calci-magnésique à texture argileuse, influencé par la présence abondante de carbonate de calcium et de magnésium (fournis par la roche mère).

3. STATION EXPERIMENTALE DE JEMAAT SHAIM

Elle appartient au Centre Régional de la Recherche Agronomique de Marrakech, se situe à 40 Km de la ville de Safi.

La station se localise à la latitude 32° 40' 0" Nord et la longitude 10° 14' 0" Ouest, et se caractérise d'un climat aride et une précipitation annuelle d'environ à 232.4 mm, avec des températures moyennes annuelles de 21.5°C, dont le sol est vertisol (Tableau 2).

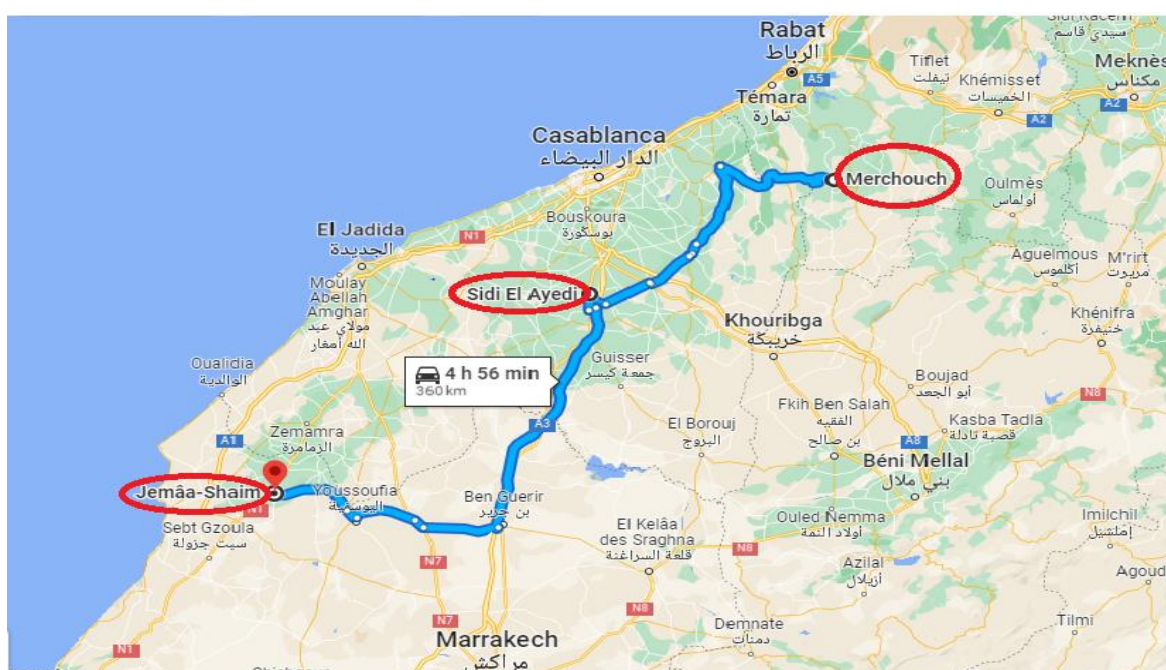


Figure 9 : Situation géographique des trois sites expérimentaux.

Tableau 2 : Caractéristiques pédoclimatiques des stations expérimentales (Campagne 2020-2021).

| Site | Marchouch | Sidi El Aidi | Jemaat Shaim |
|---------------------------------|----------------|---------------|-----------------|
| Coordonnées | 30°60'N/6°42'W | 33°9'N/7°24'W | 32°40'N/10°14'W |
| Climat | Humide | Semi-aride | Aride |
| Type de sol | Vertisol | Vertisol | Vertisol |
| Cumul des précipitations | 514 mm | 300 mm | 232.4 mm |
| Températures moyennes | 19.5 °C | 20°C | 21.5°C |

Sur la base du type de l'agrosystème, les environnements (Sites de tests) sont classés selon le tableau 3.

Tableau 3 : Environnements utilisés par le programme de sélection.

| Agro-système | Région | Province | Site | Stress majeur |
|---------------------|---------------|-----------------|---------------------|--|
| Humide | Gharb | Kenitra | ALLAL TAZI | <ul style="list-style-type: none"> • Séptoriose ; • Rouille brune ; • Cécidomyie ; • Helminthosporiose. |
| | Zaer | Khemissat | MARCHOUCH | <ul style="list-style-type: none"> • Séptoriose ; • Rouille brune ; • Cécidomyie ; • Sécheresse & Chaleur |
| Sub-Humide | Sais | Fès | DOUIYET | <ul style="list-style-type: none"> • Rouille Jaune ; • Rouille Brune ; • Chaleur ; • Séptoriose ; • Cécidomyie |
| | Abda | Safi | JEMAAT SHAIM | <ul style="list-style-type: none"> • Cécidomyie ; • Sècheresse ; • Chaleur ; • Rouille brune ; • Séptoriose |
| Semi Aride | Doukkala | El Jadida | KHMISS ZEMAMRA | <ul style="list-style-type: none"> • Cécidomyie ; • Sècheresse ; • Chaleur ; • Rouille brune ; • Séptoriose ; • Sècheresse |
| | Chaouia | Settat | SIDI EL AIDI | <ul style="list-style-type: none"> • Cécidomyie ; • Sècheresse ; • Rouille brune ; • Séptoriose |

II. MATERIEL VEGETAL

L'étude a porté sur 24 lignées avancées de blé tendre (Tableau 4), en dernier stade de sélection et 6 variétés témoins, au niveau du programme d'amélioration génétique du blé, à l'INRA de Rabat. Ces lignées sont issues des programmes d'amélioration d'organismes internationaux (ICARDA, CIMMYT, INRA), gérant les collections du matériel génétique au nom de la communauté mondiale (Annexe 2).

Tableau 4 : Origine du matériel végétal utilisé.

| Code | Origine | Type du germoplasme |
|-----------------|-----------------|---------------------|
| ACHTAR | INRA Maroc | Témoin |
| ARREHANE | | |
| MALIKA | | |
| NAJIA | | |
| LINA | | |
| SNINA | | |
| GC2 | ICARDA / CIMMYT | Lignées élites |
| GC3 | | |
| GC5 | | |
| GC8 | | |
| GC9 | | |
| GC11 | | |
| GC13 | | |
| GC14 | | |
| GC17 | | |
| GC-17 | | |
| GC19 | | |
| GC20 | | |
| GC22 | | |
| GC-22 | | |
| GC23 | | |
| GC24 | | |
| GC25 | | |
| GC31 | | |
| GC-31 | | |
| GC35 | | |
| GC37 | | |
| GC45 | | |
| GC66 | | |
| GC68 | | |

Au total, nous avons effectué l'analyse de 30 échantillons (Tableau 4), dont :

- **Six variétés témoins** (ACHTAR, ARREHANE, MALIKA, NAJIA, LINA, SNINA), correspondant à des variétés déjà inscrites, par l'INRA, au catalogue officiel national de l'ONSSA.
- **24 lignées élites** de la CIMMYT et de l'ICARDA.

Ces lignées subiront, au cours du présent travail, une dernière évaluation de plusieurs paramètres agro-morphologiques et de qualités, avant l'identification des meilleures lignées et la soumission au catalogue national.

III. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les variétés testées ont été semées à l'aide d'un semoir expérimental dans des essais de rendement selon un dispositif en Bloc Aléatoire Complets à trois répétitions. Les parcelles élémentaires comportaient six lignes de 5 m de long, espacés de 20 cm (Figure 10).



Figure 10 : Parcelles élémentaires des essais.

La densité est de 300 graines/m². Les parcelles ont reçu une fertilisation par engrais NPK avant semis puis au cours de stade montaison qui est de 1,5ql/ha pour le bour favorable (Marchouch), et de 1ql/ha pour Jemaat Shaim et Sidi El Aidi avant semis et 1ql/ha ammonitrate au cours du stade montaison. Les adventices ont été contrôlés chimiquement aux doses et stades recommandés. La récolte des essais a été effectuée mécaniquement à maturité de récolte.

IV. PARAMETRES MESURES & PROTOCOLES EXPERIMENTAUX

Afin d'évaluer ces différentes lignées, nous procédons à l'appréciation de la qualité technologique, en mesurant les paramètres suivants : rendement en grains, poids de mille grains, dimensions du grain, taux de protéines, analyse de la force du gluten et le poids spécifique.

1. RENDEMENT EN GRAINS

Après la récolte et dans chaque station expérimentale et chaque essai, le poids des grains est mesuré dans chaque parcelle élémentaire.

Le rendement en grains est calculé selon la formule :

$$\text{Rendement en grains (t/ha)} = \frac{\text{Poids des grains par parcelle (kg)}}{\text{Superficie de la parcelle élémentaire (9m}^2\text{)}} \times 100$$

2. POIDS DE 1000 GRAINS (PMG)

C'est la masse de 1000 grains entiers, sans grains cassés ni d'impuretés.

A. Principe

Le principe de la méthode repose sur le comptage automatique ou manuel de 1000 grains entiers contenus dans une prise d'essai de masse connue (Godon & Loisel, 1984) et la peser à l'aide d'une balance.

B. Mode opératoire

Prélever d'une manière aléatoire une quantité de grains de l'échantillon considéré de blé tendre. Ensuite, sélectionner des grains entiers, puis compter ces derniers (1000 grains) à l'aide du compteur automatique des grains (Figure 11a). Enfin, peser la masse de 1000 grains à l'aide d'une balance (Figure 11b).

Les résultats sont déterminés en (g) : $\text{PMG(g)} = P$

P étant la Masse en grammes de 1000 grains entiers (g) (affiché sur la balance).

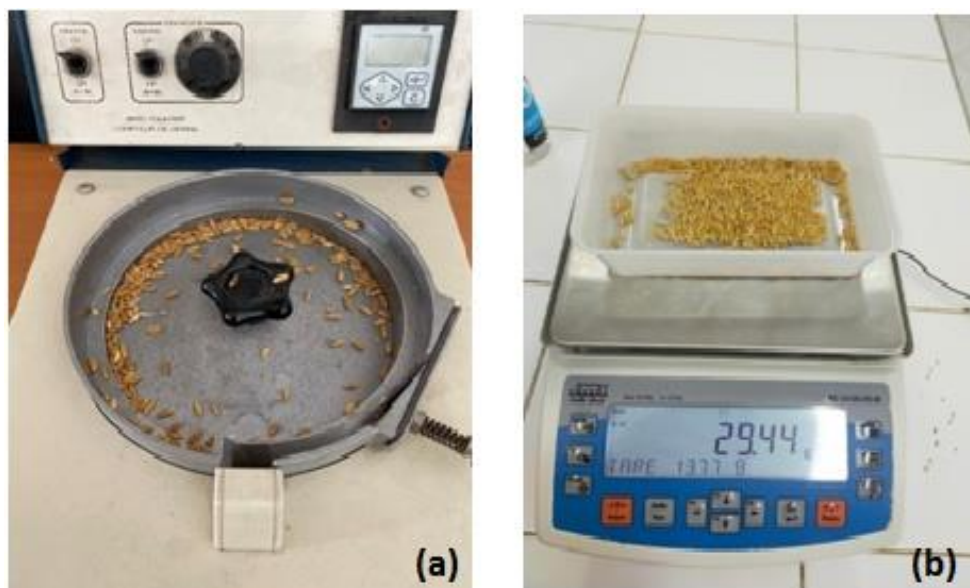


Figure 11 : Méthode de calcul de PMG.

(a) Compteur des Grains Numigral' (b) Balance.

3. CARACTERISATION AGRO-MORPHOLOGIQUE

Cette caractérisation passe par la mesure de la taille du grain, *via* la longueur, la largeur et le périmètre du grain. Ces paramètres sont mesurés à l'aide d'un scanner à plat grand public (Figure 12). Le "GrainScan" est une méthode logicielle.



Figure 12 : Scanner à plat

L'exactitude et la précision de la méthode sont démontrées par le dépistage des variations de taille et de couleur des grains de blé provenant de différents génotypes.

Une quantité de grains, de l'échantillon considéré de blé tendre, est prélevée au hasard. Puis, elle est déposée sur le scanner pour obtenir une photo de grains.

Les dimensions de la graine sont fortement utilisées lors de l'étude de la variabilité génétique notamment la largeur et la longueur car ils sont des caractères fortement héréditaires. Par la suite, et en utilisant le logiciel 'grainscan', on obtient des grains en différentes couleurs (Figure 13).

Un résultat Excel avec des valeurs de la longueur, la largeur dont on déduit la surface, ainsi que le périmètre du grain est donc fourni par le logiciel.



Figure 13 : Echantillon de blé tendre analysé par le logiciel « Grainscan ».

Ces caractères représentent un majeur composant du rendement. Ils contribuent à la vigueur des semis (Lafond et *al.*, 1986) et ont une forte corrélation, d'une part, avec le rendement en farine (Marshall et *al.*, 1986 ; Berman et *al.*, 1996) et d'autre part, avec le poids spécifique caractère critique, utilisé par les moulins avant la mouture.

Ces caractères sont aussi associés avec différentes caractéristiques de la farine tels que le contenu en protéines et les activités des enzymes hydrolytiques ; ce qui a un effet sur l'utilisation finale de la farine en termes de panification (Millar et *al.*, 1997 ; Evers, 2000).

4. TAUX DE PROTEINES

Ce paramètre est évalué par la spectroscopie proche infrarouge (Near InfraRed Spectroscopy) (Figure 14).



Figure 14 : Dispositif de l'analyse infrarouge proche (Near InfraRed Spectroscopy).

La spectrométrie proche infrarouge (NIRS) repose sur la mesure de la réflectance d'un rayonnement émis à une longueur d'onde donnée dans le visible ou l'infrarouge. Les différentes liaisons chimiques du matériel étudié (type O-H, N-H, C-H) absorbent à des longueurs d'onde spécifiques égales à leur fréquence de vibration et passent ainsi d'un état fondamental à un état excité. L'ensemble de ces fréquences (ou longueurs d'onde) d'absorption constituent le spectre d'absorption.

Il suffit de remplir la trémie par les grains de blé, puis nommer l'échantillon et déclencher l'analyse.

Les résultats sont tirés sous forme d'un tableau Excel.

5. FORCE DU GLUTEN VIA LE TEST SDS

L'indice de sédimentation au Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) est un test physico-chimique utilisé pour apprécier la force du gluten à travers la capacité de solubilisation et de polymérisation des protéines dans un solvant polaire. C'est le nombre indiquant le volume exprimé en millilitres, du dépôt obtenu, dans les conditions spécifiées, à partir d'une suspension de mouture entière ou de farine expérimentale de blé tendre, dans une solution de SDS et d'acide lactique. Cet indice donne une mesure de la force du blé.

A. Principe

Le principe de ce test est la mesure de la hauteur de sédimentation basée sur le gonflement de la fraction protéique d'une quantité de farine, en présence du SDS et de l'acide lactique (Pena et *al.*, 1990).

La mouture entière ou la farine expérimentale préparée à partir du blé tendre (Figure 15), dans des conditions spécifiées de broyage (des grains entiers, un tamis de 0,5mm, une température ambiante), et de tamisage est mise en suspension dans une solution de SDS-acide lactique. Après des temps d'agitations et des temps de repos définis, on lit le volume du dépôt résultant de la sédimentation des particules de farine.

B. Mode opératoire

Ce paramètre est évalué au sein du Laboratoire de qualité de l'INRA de Rabat, selon le mode opératoire de la norme internationale.

En premier temps, nous préparons les quatre réactifs nécessaires. (Annexe 3). Ensuite, la mouture entière des grains (Figure 15) est préparée à l'aide du broyeur (1g de la farine est pesé dans une éprouvette graduée de 25 ml), puis ajout de 6 ml du réactif 1 à l'échantillon. Une agitation manuelle pendant 10 secondes est nécessaire pour homogénéiser la solution.



Figure 15 : Dispositif de broyage.

(a) Broyeur du blé.

(b) Mouture obtenue.

Après le déclenchement du chronomètre, nous laissons l'échantillon sédimenter pendant 2 min 30, puis nous effectuons une agitation rapide pendant 10 secondes avant de laisser les échantillons sédimenter durant 4 et 30 secondes.

Plus tard, nous ajoutons 19 ml de la solution SDS-acide lactique et par la suite, l'échantillon est mis dans l'agitateur pendant 2 minutes afin de l'homogénéiser. Finalement, nous laissons sédimenter les échantillons (Figure 16) pendant 14 minutes et nous lisons le volume de sédimentation (en ml), comme dernière étape.

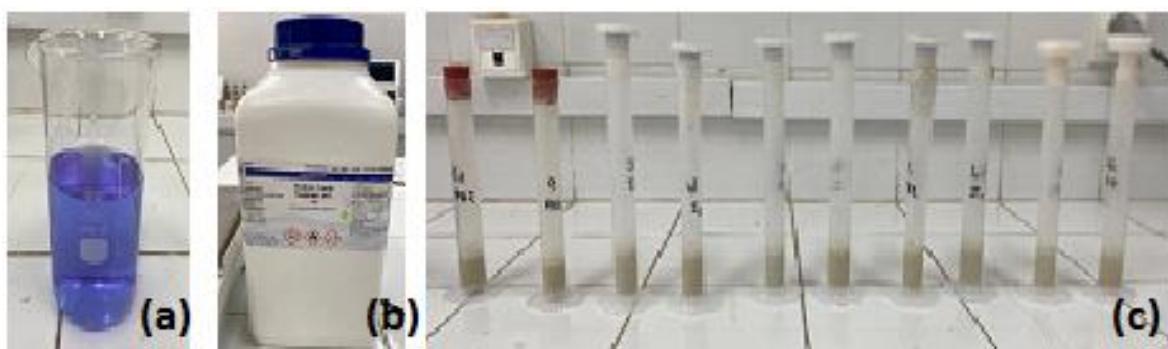


Figure 16 : Mode opératoire du test de sédimentation SDS.

(a) Bleu de coomassie, (b) Sodium Dodecyl Sulphate,
(c) Eprouvettes en repos 14 min.

Le nombre indiquant le volume du dépôt, représente l'indice de sédimentation par SDS. Ce résultat est la moyenne arithmétique de deux déterminations, à condition qu'elles ne s'écartent pas de plus de 2 unités (ml).

6. POIDS SPECIFIQUE

Le poids spécifique permet de mesurer la masse des grains pour un volume donnée en (kg/hl). C'est la masse volumique dite masse à l'hectolitre.

Cette masse est considérée comme un indicateur de la valeur de la farine en relation avec le rapport enveloppe sur amande.

Il est déterminé à partir d'un échantillon de 100ml puis peser par une balance en gramme (Figure 17), et le résultat est ensuite converti à kg/hl.

$$100 \text{ ml} * 10^{-5} \text{ ---} \rightarrow 1 \text{ hl}$$

$$X \text{ g} * 10^{-3} \text{ --} \rightarrow Y \text{ kg/hl}$$

Avec :

- X est le numéro affiché sur la balance en g.
- Y est le résultat obtenu ($X * 10^{-3} * 1 / 100 * 10^{-5}$).



Figure 17 : Calcul du poids spécifique.

V. ANALYSES STATISTIQUES

L'ensemble des données collectées, pour les caractères évalués, est soumis à différents types d'analyses, à l'aide du logiciel statistique Genstat-édition 18.

1. ANALYSE DE LA VARIANCE

Pour chaque paramètre étudié, une analyse de la variance (ANOVA) est effectuée, pour chaque site, afin d'apprécier la variabilité génétique entre les différentes lignées étudiées.

La comparaison des moyennes permet de déterminer les groupes de génotypes les plus performants sur la base du test de Duncan (Olive Jean Dunn (1915–2008)).

Une analyse de la variance combinant les trois stations pour chaque paramètre nous aiderait à apprécier l'effet du génotype, de l'environnement (site) et de l'interaction "Génotype X Environnement" (G X E) sur les paramètres étudiés.

2. CORRELATION ENTRE LES CARACTERES

Le coefficient de corrélation est le paramètre usuel pour quantifier l'association entre deux variables. La connaissance des relations existantes entre caractères est d'un grand intérêt pour le sélectionneur.

Dans le cadre de ce travail, des corrélations entre les caractères sont calculées en se basant sur le coefficient de Pearson.

La formule pour calculer le coefficient de corrélation de Pearson :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

La valeur de r obtenue est une estimation de la corrélation entre deux variables continues dans la population. Dès lors, sa valeur fluctuera d'un échantillon à l'autre. On veut donc savoir si, dans la population ces deux variables sont réellement corrélées ou pas.

3. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)

Cette analyse a pour objectif de condenser l'essentiel des informations données par les variables et un nombre plus restreint de variables fondamentalement indépendantes, qu'on ne peut observer directement (Dagnelie, 1977).

Les nouvelles variables ou composantes principales sont des combinaisons linéaires des variables d'origine. Elles ne sont pas corrélées entre elles et sont classées par le pourcentage décroissant de la variabilité expliquée.

4. ANALYSE DE LA STABILITE

La stabilité est approchée par le calcul de plusieurs indices pour déterminer les génotypes les plus stables ayant montré une large adaptation dans des environnements variés.

5. INDICE DE SUPERIORITE

L'indice P de supériorité génotypique de Lin et *al.* (1988) est calculé par la formule suivante :

$$P_i = [\sum (Y_{ij} - M_j)]^2 / 2n$$

Avec :

- Y_{ij} = rendement du génotype i dans l'environnement j.
- M_j = rendement du génotype le plus performant dans l'environnement j.
- n = nombre d'environnements testés.

Pour mieux répondre à l'objectif fixé pour cette étude, liée d'une part, à l'évaluation des paramètres agro-morphologiques et des paramètres de qualité, de quelques génotypes de blé tendre ; et d'autre part, à la sélection des lignées les plus prometteuses et performantes, des échantillons de grain de blé tendre issus des essais avancés du programme d'amélioration génétique de l'INRA et, testés sous les mêmes conditions de culture dans les trois stations : Marchouch, Sidi El Aidi et Jemaât Shaim, ont fait l'objet d'une analyse de cinq caractères agro-morphologiques et trois paramètres de qualité.

Il s'agit de la détermination du rendement, du poids de mille grains (PMG), de la superficie des grains, de la longueur et la largeur du grain, du taux de protéines, de la force du gluten (SDS) et enfin du poids spécifique. Les résultats obtenus sont exposés et traités dans ce chapitre.

I. ANALYSE DE LA VARIABILITE GENETIQUE DES DIFFERENTS CARACTERES ETUDIES.

1. ANALYSE DE LA VARIANCE DES TROIS STATIONS COMBINEES ET COMPARAISON DES MOYENNES PAR SITE

Le but de cette analyse est de déceler s'il existe des différences entre les environnements et le comportement des génotypes d'une station à une autre (interaction GxE) pour les différents paramètres étudiés.

A. Caractères agro-morphologiques

a. Rendement

L'analyse de la variance des trois stations combinées montre que l'environnement et le génotype (Tableau 5) ont un effet très hautement significatif ($P < 0.001$), alors que l'interaction GxE révèle des différences significatives ($P = 0.011$)

Tableau 5 : Probabilité (Fpr) de l'analyse de la variance combinée pour les caractères agro-morphologiques étudiés.

| Caractères | Environnement | Génotype | G x E |
|---------------------------|----------------------|-----------------|--------------|
| Rendement | 31960,71*** | 124,82*** | 68,03* |
| PMG | 2160,229*** | 75,856*** | 18,225*** |
| Surface des grains | 2,6832* | 0,9910* | 0,7495 |
| Longueur du grain | 0,03828 | 0,10168*** | 0,05587 |
| Largeur du grain | 0,13950** | 0,02477 | 0,02529 |

* < 0,05 Significative ** < 0,01 hautement significative
 *** < 0,001 très hautement significative.

La plus grande variation se manifeste au niveau de l'environnement avec un carré moyen de 31960.71 confirmant les diversités des agro-écosystèmes du Maroc (Tableau 5) comme rapporté par Jlibene (2009).

La comparaison multiple des moyennes réalisée par le test de Duncan a différencié entre les trois stations pour le rendement. La station Marchouch a le meilleur rendement égal à 63.09 qx/ha suivie de la station Sidi El Aidi 33.32 qx/ha et finalement la station de Jemaat shaim avec un rendement très faible de 16.76 qx/ha (Annexe 4). De ce fait ces environnements sont différents en termes de rendement. Et donc aucun environnement ne ressemble à l'autre.

La dominance de l'effet de l'environnement pour ce paramètre a été observée dans une autre étude effectuée par Kara (2014).

b. Poids de mille grains

L'analyse de la variance des trois stations combinées a montré que l'environnement ainsi que le génotype et l'interaction GxE révèlent un effet très hautement significatif ($P < 0.001$) (Tableau 5).

La plus grande variation se manifeste au niveau de l'environnement avec un carré moyen de 4320.457 confirmant les diversités des agro-écosystèmes du Maroc comme rapporté par Jlibene (2009).

La comparaison multiple des moyennes réalisée par le test de Duncan sur tous les génotypes dans les trois stations a donné 3 classes distinctes pour le poids de mille grains, la station Marchouch avec le meilleur poids qui est égale à 40.61 g suivis de la station Jemaat shaim 32.44 g et finalement Sidi El Aidi avec un PMG de 28.67g (Annexe 4). De ce fait ces environnements sont différents en termes de PMG.

c. Surface des grains

L'analyse de la variance des trois stations combinées montre que le génotype ainsi que l'environnement ont un effet significatif avec des valeurs respectives $F_{pr} = 0.012$, $F_{pr} = 0.032$, contrairement au facteur l'interaction Génotype x Environnement qui n'a pas été significatif (Tableau 5). Ces résultats évoquent que cette variable est exposée à des effets génétiques et environnementales.

La comparaison multiple des moyennes réalisée par le test de Duncan sur tous les génotypes dans les trois stations donne deux classes similaires pour la surface des grains pour les trois stations : Marchouch et Sidi El Aidi qui se regroupent dans une seule classe et Jemaat shaim dans une autre classe (Annexe 4).

d. Longueur du grain

L'analyse de la variance des trois stations combinées montre que le génotype a un effet très hautement significatif ($P < 0.001$), contrairement au facteur environnement et l'interaction Génotype x Environnement qui sont non significatifs (Tableau 5). Ces résultats évoquent que cette variable est exposée à des effets génétiques.

La comparaison multiple des moyennes réalisée par le test de Duncan sur tous les génotypes dans les trois stations donne trois classes similaires pour la longueur des grains pour ce caractère : Marchouch, Sidi El Aidi, et Jemaat shaim avec des valeurs respectivement égales à 4.649 cm, 4.639 cm, 4.601 cm (Annexe 4).

e. Largeur du grain

L'analyse de la variance des trois stations combinées montre que l'environnement a un effet hautement significatif ($P = 0.006$), contrairement au facteur génotype et l'interaction Génotype x Environnement qui n'ont pas été significatifs. Ces résultats évoquent que cette variable est exposée à des effets environnements et concordent avec les travaux de Yan et Hunt (2001).

La comparaison multiple des moyennes réalisée par le test de Duncan sur tous les génotypes dans les trois stations a donné trois classes distinctes pour la largeur des grains, la station Marchouch suivi de la station Sidi El Aidi, ensuite Jemaat shaim avec des valeurs respectivement égales à 2.476 cm, 2.422 cm, 2.378 cm (Annexe 4).

Pour l'ensemble des caractères agro morphologique, la différence entre les sites peut être expliquée par la différence agro écologique entre les sites. Ces derniers sont caractérisés par un climat variant du subhumide à l'aride.

B. Caractères de qualité

a. Taux de protéines

L'analyse de la variance des trois stations combinées montre que l'environnement ainsi que le génotype et l'interaction GxE révèlent un effet très hautement significatif ($P < 0.001$).

La plus grande variation se manifeste au niveau de l'environnement avec un carré moyen de 4320.457 confirmant les diversités des agro-écosystèmes du Maroc (Tableau 6) comme rapporté par Jlibene (2009).

La dominance de l'effet de l'environnement a été aussi observée dans l'étude effectuée par Kara (2014), sans qu'on néglige l'importance de l'effet de l'interaction GxE sur la variation.

La station Sidi El Aidi et Jemaat shaim sont classées dans un seul groupe (Annexe 4) avec des valeurs respectivement égales à 16.38 % et 16.32 % suivies de la station Marchouch (12.04 %). De ce fait, ces

environnements sont différents en termes de taux de protéines, et donc l'environnement humide ne ressemble pas à l'environnement aride.

En effet, sur le plan quantitatif, la teneur en protéines dépend essentiellement des conditions agronomiques du développement de la plante (Tran et Tremblay, 2000 ; Manna *et al.*, 2007). Ce qui confirme la variation au niveau des sites puisqu'ils sont caractérisés par des climats différents.

On déduit que la richesse en protéines est un facteur très dépendant de l'environnement. Van Lill *et al.* (1995) ont montré que les conditions climatiques durant la phase de remplissage des grains affectent significativement la teneur en protéines.

Tableau 6 : Probabilité (Fpr) de l'analyse de la variance combinée pour les caractères de qualité étudiés.

| Caractères | Environnement | Génotype | G x E |
|--------------------------|----------------------|-----------------|--------------|
| Taux de protéines | 359.6915*** | 6.5541*** | 2.2757*** |
| SDS | 220.921*** | 15.950*** | 10.917*** |
| Poids spécifique | 419,9937*** | 19,9702*** | 5,2538*** |

*<0,05 Significative **<0,01 hautement significative

***<0,001 très hautement significative.

b. Force du gluten (SDS)

L'analyse de la variance des trois stations combinées montre que l'environnement ainsi que le génotype et l'interaction GxE révèlent des effets très hautement significatifs ($P < 0.001$). La plus grande variation se manifeste au niveau de l'interaction génotype x environnement avec un carré moyen de 589.492 (Tableau 6). Ces résultats sont en accord avec ceux de Kara (2014) qui prouve que ce paramètre est influencé par l'environnement et que l'interaction GxE a aussi un effet très hautement significatif.

La station Sidi El Aidi a enregistré la plus grande valeur de 15.16 ml suivie de la station Jemaat shaim (13.41 ml) et finalement Marchouch 11.26 ml (Annexe 4). De ce fait ces environnements sont différents en termes de Force du gluten.

c. Poids spécifique

L'analyse de la variance des trois stations combinées montre que l'environnement ainsi que le génotype et l'interaction GxE révèlent un effet très hautement significatif ($P < 0.001$).

La plus grande variation se manifeste au niveau de l'environnement avec un carré moyen de 839.9874 confirmant les diversités des agro-écosystèmes du Maroc (Tableau 6) comme rapporté par Jlibene (2009).

Les stations sont différentes l'une de l'autre. La station Marchouch enregistre le meilleur poids spécifique de 80.12 kg/hL suivie la station Jemaat shaim (76.94 kg/hL) et finalement celle de Sidi El Aidi avec un poids spécifique de 74.77 kg/hL (Annexe 4). De ce fait ces environnements sont différents en termes de poids spécifique. Et donc aucun environnement ne ressemble à l'autre.

Ceci peut être expliqué par la différence agro écologique entre les sites. Ces derniers sont caractérisés par un climat variant du subhumide à l'aride, ce qui influence directement le poids spécifique.

2. ANALYSE DE LA VARIANCE ET COMPARAISON DES MOYENNES PAR SITE

A. Caractères agro-morphologiques

a. Rendement

Ce paramètre a pour but de déceler la productivité des différentes variétés cultivées au niveau des différents environnements.

Le résultat du test d'ANOVA à un seul facteur vise à vérifier l'existence ou l'absence de différences significatives entre les génotypes dans chaque site.

Il en ressort que pour les sites Marchouch et Sidi El Aidi, il existe des différences significatives entre les génotypes avec des probabilités inférieures à 0,05 (Fpr = 0.017 et Fpr = 0.011 respectivement). Contrairement au site de Jemaat Shaim où on a des différences non significatives (Fpr = 0.633) (Tableau 7).

Tableau 7 : Probabilité (Fpr) de l'analyse de la variance des génotypes pour les paramètres agro-morphologiques étudiés

| Station | MCH | JSH | SEA |
|---------------------------|--------------|--------------|------------|
| Rendement | 0,017 | 0,633 | 0,011 |
| PMG | <,001 | 0,002 | <,001 |
| Surface des grains | 0,088 | 0,013 | 0,405 |
| Longueur du grains | 0,003 | 0,127 | 0,188 |
| Largeur du grain | 0,135 | 0,441 | 0,831 |

L'absence de variabilité génétique en termes de rendement sur le site de Jemaat Shaim peut être expliquée par l'influence des mauvaises conditions climatiques du climat aride au cours de la campagne durant

laquelle les essais ont été conduits. Ceci a empêché les génotypes d'exprimer leurs potentiels génétiques.

La comparaison des rendements moyens des génotypes par site à l'aide du test de Dancun a permis d'identifier les groupes de génotypes similaires (Annexe 5).

Pour le site de Marchouch, il s'est avéré que les génotypes sont divisés en sept groupes homogènes. Les génotypes ayant les meilleurs rendements sont : G17, G-22, G19, G22 avec des valeurs respectives égales à 80.25 qx/ha, 78.38 qx/ha, 77.38 qx/ha, 72.96 qx/ha (Annexe 5). Quant aux génotypes témoins, leur rendement varie de 60 pour Snina, à 33 pour Malika.

Pour Sidi El Aidi, l'analyse met en évidence neuf groupes de génotypes homogènes. Les génotypes ayant les meilleurs rendements sont G3, G9, G66, G5 avec des valeurs respectivement égales à 41.15 qx/ha, 38.85 qx/ha, 37.65 qx/ha, 37.65 qx/ha (Annexe 5). Ces derniers sont plus productifs que les cinq variétés témoins à savoir : Snina, Lina, Najia, Achar, Malika.

Enfin pour le site Jemaat Shaim, il s'est avéré que l'ensemble des génotypes sont similaires avec un rendement moyen de 15.334 qx/ha (Annexe 5).

On peut expliquer ces différences de rendement par la quantité de pluies observée dans chaque station surtout au niveau de la station Marchouch qui a reçu la plus grande quantité de pluies (514 mm) alors que Jemaat Shaim a eu les faibles précipitations (232.4 mm) ce qui explique le faible rendement. On peut donc dire que c'est le déficit hydrique qui est le principal facteur limitant les rendements en céréales. La longueur des séquences et leur distribution par rapport au cycle végétatif montrent que le stress hydrique constitue un risque pratiquement présent à tous les stades de croissance et développement de la céréale et affecte à des degrés divers le rendement (Benseddik et Benabdelli, 2000).

b. Poids de mille grains

Le test ANOVA montre qu'il existe des différences très hautement significatives entre les génotypes pour les deux sites : Marchouch et Sidi El Aidi avec des valeurs inférieures à 0.001, et des différences hautement significatives pour le site de Jemaat Shaim avec $F_{pr}=0.002$ (Tableau 7).

Le PMG est un paramètre physique qui nous renseigne sur la dimension des grains et par conséquent, il constitue un bon indicateur du rendement agronomique.

La comparaison des moyennes du PMG des différents génotypes par site permet d'identifier les groupes de génotypes similaires.

En effet, pour le site de Marchouch, les génotypes ayant le meilleur poids de mille grains sont : G11, G8, G31 et G68 avec des valeurs respectivement égales à 49.18 g, 46.77 g, 46.18 g et 44.78 g dépassant les témoins Achar (41.05 g) et Snina (33.90 g) (Annexe 6).

Pour Sidi El Aidi, les génotypes ayant le meilleur poids de mille grains sont : G11, G68, G3 et G9 avec des valeurs respectivement égales à 36.52 g, 35.19 g, 34.56 g et 33.34 g (Annexe 6). Ces valeurs sont supérieures à celles des témoins Lina, Snina, Malika, Najia et Achar.

Enfin, pour le site Jemaat Shaim, les génotypes ayant le meilleur poids de mille grains sont : G23, G68, G-31 et G8 avec des valeurs respectivement égales à 40.48 g, 39.72 g, 39.71 g et 38.06 g (Annexe 6).

D'après Grignac (1981), le poids de milles grains dépend fortement des conditions climatiques et de la nutrition azotée durant la maturation. De ce fait, il subit des fluctuations liées, en particulier, à l'échaudage.

Selon Abecassis (1990), les blés ayant un PMG situé entre 24 et 34 g sont considérés comme étant composés de petits grains. Ceux de PMG situé entre 35 et 45 g sont des blés moyens et enfin ceux qui ont un PMG compris entre 46 et 56 g représentent un blé formé de gros grains. Sur la base de cette classification, les génotypes étudiés sont classés en 3 catégories, ceux de Marchouch dans la catégorie de gros grains, les génotypes de Sidi El aidi sont classés entre les petits et les moyens grains, et finalement ceux de Jemaat Shaim dans la catégorie des moyens grains.

c. Surface des grains

Pour la surface des grains, les résultats du test ANOVA montrent qu'il existe des différences significatives entre les génotypes pour le site Jemaat Shaim avec une probabilité inférieure à 0,05 (Fpr = 0.013) (Tableau 7). En outre, l'ANOVA ne révèle pas un effet génotype pour les deux sites : Marchouch et Sidi El Aidi (Fpr = 0.088 et Fpr = 0.405 respectivement).

Les génotypes ayant les plus grandes surfaces à Marchouch sont : G35, G37, G68 et G22 avec des valeurs respectivement égales à 9.890 cm, 9.865 cm, 9.850 cm et 9.690 cm (Annexe 7).

Pour Sidi El Aidi, il s'est avéré que l'ensemble des génotypes sont similaires avec une surface moyenne de 9.304 cm (Annexe 7).

Enfin pour le site Jemaat Shaim, l'analyse met en évidence onze groupes de génotypes homogènes. Les génotypes G66, G31, G45 et G8 ont les surfaces les plus importantes avec des valeurs égales à 10.096 cm, 9.790 cm, 9.671 cm et 9.425 cm respectivement (Annexe 7).

d. Longueur du grain

Pour la longueur du grain, les résultats du test ANOVA montrent qu'il existe des différences significatives entre les génotypes pour le site Marchouch avec une probabilité inférieure à 0,05 (Fpr = 0.003).

Par contre, les sites Jemaat Shaim et sidi El Aidi, révèlent des différences non significatives (Fpr = 0.127 et Fpr = 0.188 respectivement), (Tableau 7).

Pour le site de Marchouch, les génotypes ayant les plus grandes longueurs sont : G35, G23, G17 et G22 avec des valeurs respectivement égales à 4.925cm, 4.925 cm, 4.895 cm et 4.855 cm (Annexe 7). Quant aux génotypes témoins leur longueur varie de 4.808 cm pour Malika à 4.430 cm pour Snina.

Pour Sidi El Aidi, les génotypes ayant les grains les plus longs sont : G23, G5, G22, G66 avec des valeurs respectivement égales à 5.219 cm, 4.871 cm, 4.848 cm, 4.840 cm, valeurs comparatives à celle du témoin Malika dont la longueur est égale à 4.586 cm (Annexe 7).

Enfin pour le site Jemaat Shaim, les génotypes ayant les longueurs les plus importantes sont : G31, G35, G68 et G37 avec des valeurs respectivement égales à 5.200 cm, 5.054 cm, 4.884 cm et 4.834 cm.

Ceci coïncide avec les travaux de Mekliche et *al.* (2003), qui ont montré que l'effet du déficit hydrique est très néfaste sur la longueur du grain du blé.

e. Largeur du grain

Pour la largeur du grain, les résultats du test ANOVA montrent qu'il existe des différences non significatives pour tous les sites : Marchouch, Jemaat Shaim et Sidi El Aidi (Tableau 7) avec des valeurs de Fpr de 0.135, 0.441 et 0.831 respectivement.

Pour le site de Marchouch, les génotypes ayant les largeurs les plus importantes sont : G68, G37, G14 et G13 avec des valeurs respectivement égales à 2.595 cm, 2.595 cm, 2.580 cm et 2.570 cm (Annexe 7). Ces valeurs sont supérieures à celles des témoins Najia (2.820 cm) et Lina (2.390 cm).

Pour Sidi El Aidi et Jemaat Shaim, il s'est avéré que l'ensemble des génotypes sont similaires avec une largeur du grain moyenne de 2.460 cm du génotype G23 (Annexe 7).

B. Caractères de qualité

a. Taux de protéines

Vu que c'est une propriété importante du grain qui influence le plus sur la qualité culinaire des pâtes alimentaires, l'analyse de ce paramètre est importante sur le plan technologique et même nutritionnel. Généralement, cette teneur provient de la quantité d'Azote disponible au

niveau du sol et est influencée par les conditions climatiques (Taghouti et *al.*, 2010 ; Rharrabti et *al.*, 2003 ; Halla, 2018).

Pour le taux de protéines, les résultats du test ANOVA montrent qu'il existe des différences très hautement significatives entre les génotypes pour les trois sites avec un Fpr inférieur à 0.001 (Tableau 8).

Tableau 8 : Probabilité (Fpr) de l'analyse de la variance des différents génotypes pour les paramètres de qualités étudiés

| Station | MCH | JSH | SEA |
|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Taux de protéines | <,001 | <,001 | <,001 |
| SDS | <,001 | <,001 | <,001 |
| Poids Spécifique | <,001 | <,001 | <,001 |

Pour le site de Marchouch, les génotypes ayant les meilleures teneurs en protéines sont : G25, G22, G23 et G3 avec des valeurs respectivement égales à 14.35 %, 13.80 %, 13.65 % et 13.25 %. Quant aux génotypes témoins, leur teneur en protéine varie de 14.70 % pour Achtar, à 13.00 % pour Lina (Annexe 8).

Pour Sidi El Aidi, les génotypes ayant la meilleure teneur en protéines sont : G17, G37, G19 et G35 avec des valeurs respectivement égales à 18.55 %, 18.25 %, 17.40 % et 17.10 %, similairement au témoin Najia (18.10 %) (Annexe 8).

Enfin, pour le site Jemaat Shaim, les génotypes ayant la meilleure teneur en protéines sont : G23, G3, G68 et G9 avec des valeurs respectivement égales à 17.90 %, 17.85 %, 17.55 % et 17.45 % (Annexe 8), similaires au témoin Malika (17.80 %). Les génotypes G23 et G3 se trouvent dans le même groupe que le témoin Malika.

b. Force du gluten (SDS)

Le gluten par l'existence de ses deux protéines : Gliadines et gluténines nous permet d'avoir une idée sur l'extensibilité et l'élasticité de la farine.

Pour ce test de sédimentation permettant de mesurer la force du gluten, les résultats du test ANOVA montrent qu'il existe des différences très hautement significatives entre les génotypes pour les trois sites avec un Fpr inférieur à 0.001 (Tableau 8).

Pour le site de Marchouch, les génotypes ayant la meilleure force du gluten sont : G19, G22 et G37 avec des valeurs respectivement égales à 15.75 ml, 14.25 ml et 13.75 ml similaires au témoin Lina (13.50 ml) (Annexe 9).

Pour Sidi El Aidi, les génotypes ayant la meilleure force du gluten sont : G17, G37, G66 et G22 avec des valeurs respectivement égales à

20.00 ml, 19.25 ml, 19.00 ml et 18.75 ml (Annexe 9). Ces génotypes ont donc des niveaux de teneur en gluten plus élevés que les témoins.

Enfin pour le site Jemaat Shaim, les génotypes ayant la meilleure force du gluten sont : G37, G5, G20 et G9 avec des valeurs respectivement égales à 20.50 ml, 17.25 ml, 16.50 ml et 16.25 ml (Annexe 9).

c. Poids spécifique

Pour le poids spécifique, les résultats du test ANOVA montrent qu'il existe des différences très hautement significatives entre les génotypes pour les trois sites avec un Fpr inférieur à 0.001 (Tableau 8).

Pour le site de Marchouch, l'analyse met en évidence seize groupes de génotypes homogènes. Les génotypes ayant le meilleur poids spécifique sont : G68, G20, G5 et G13 avec des valeurs respectivement égales à 82.77 Kg/hL, 82.31 Kg/hL, 82.22 Kg/hL et 81.86 Kg/hL (Annexe 10).

Pour Sidi El Aidi, les génotypes ayant le meilleur poids spécifique sont : G8, G9, G11 et G68 avec des valeurs respectivement égales à 79.08 Kg/hL, 78.35 Kg/hL, 78.02 Kg/hL et 77.98 Kg/hL. Ces génotypes ont donc un poids spécifique plus élevés que les témoins (Annexe 10).

Enfin pour le site Jemaat Shaim, les génotypes ayant le meilleur poids spécifique sont : G9, G-31, G8 et G45 avec des valeurs respectivement égales à 80.60 Kg/hL, 79.86 Kg/hL, 79.84 Kg/hL, 79.08Kg/hL (Annexe 10).

II. ANALYSE DE CORRELATION DE PEARSON ENTRE LES DIFFERENTS PARAMETRES ETUDIES

1. SITE DE MARCHOUCH

La matrice de corrélations entre les paramètres traités sur le site de Marchouch est illustrée par le tableau 9. L'analyse révèle une corrélation positive significative entre le rendement et le Poids de mille grains ($r^2 = 0,32$). Ceci s'expliquerait par les conditions climatiques contraignantes qu'a reconnues le Maroc l'année dernière. En effet, en conditions de stress surtout au début du cycle, le nombre réduit de grain initial est partiellement compensé par un remplissage adéquat des graines dépendamment des ressources disponibles (Bennani, 2019).

Le taux de protéines est négativement corrélé aux PS et PMG, ce qui est en accord avec plusieurs études antérieures (Dexter et *al.*, 1987 ; Cubadda, 1988 ; Tkatchuk & Kuzina, 1987 ; Amamou et *al.*, 2017). L'augmentation de la teneur en protéines des grains de blé dans des conditions d'eau limitées a déjà été rapportée par plusieurs auteurs (Gooding et *al.*, 2003; Shahzad et *al.*, 2018; Barutcular et *al.*, 2016).

Tableau 9 : Corrélation entre les paramètres pour le site Marchouch.

| | PMG | Rendement | Surface du grain | SDS | Poids spécifique | Taux de protéines |
|--------------------------|------------|------------------|-------------------------|------------|-------------------------|--------------------------|
| PMG | 1 | | | | | |
| Rendement | 0.36** | 1 | | | | |
| Surface du grain | 0.10 | -0.20 | 1 | | | |
| SDS | -0.22 | -0.01 | 0.20 | 1 | | |
| Poids Spécifique | 0.22 | 0.25 | -0.06 | -0.19 | 1 | |
| Taux de Protéines | -0.57*** | -0.26 | 0.13 | 0.26 | -0.39** | 1 |

*<0,05 Significative **<0,01 hautement significative

***<0,001 très hautement significative.

2. SITE DE JEMAAT SHAIM

La matrice de corrélations entre les paramètres traités sur le site de Jemaat Shaim est illustrée par le tableau 10. L'analyse révèle une corrélation positive significative entre le rendement et le Poids de mille grains ($r^2 = 0.32$) d'une part, et d'autre part une corrélation significative entre le PS et le PMG ($r^2 = 0.33$). Ceci est en accord avec l'étude de Aucamp *et al.* (2006) et Amamou *et al.* (2017). Ces auteurs expliquent que la relation entre le PMG et le PS est de type physique (elle s'explique par la forme et le poids des grains dans un volume donné).

Une autre corrélation significative a été observée entre le PMG et la surface du grain (Tableau 10).

Tableau 10 : Corrélation entre les paramètres pour le site Jemaat Shaim.

| | PMG | Rendement | Surface du grain | SDS | Poids spécifique | Taux de protéines |
|--------------------------|------------|------------------|-------------------------|------------|-------------------------|--------------------------|
| PMG | 1 | | | | | |
| Rendement | 0.34* | 1 | | | | |
| Surface du grain | 0.30* | 0.26 | 1 | | | |
| SDS | 0.09 | -0.02 | -0.02 | 1 | | |
| Poids Spécifique | 0.33* | 0.10 | 0.13 | 0.16 | 1 | |
| Taux de Protéines | -0.15 | -0.22 | -0.24 | 0.07 | -0.10 | 1 |

*<0,05 Significative **<0,01 hautement significative

***<0,001 très hautement significative.

3. SITE DE SIDI EL AIDI

La matrice de corrélations entre les paramètres traités sur le site de Sidi El Aidi est illustrée par le tableau 11. L'analyse révèle une corrélation négative très hautement significative entre le rendement et le taux de protéines ($r^2 = -0.59$), cette relation négative entre le rendement et le taux des protéines a été rapportée par plusieurs auteurs (Oury et Godin, 2007, LeGouis *et al.*, 2010).

Dans le but d'expliquer le paradoxe de cette relation, certains auteurs (Pepe et Robert, 1975 ; McNeal et Berg, 1978 (cité par Bogard *et al.* 2011)) ont montré que le facteur génétique est responsable de cette relation. De plus, ces corrélations peuvent être expliquées par le fait qu'à Sidi El Aidi on a apporté des suppléments d'irrigation. Ce qui a influencé le rapport entre le rendement et la qualité. De même, une corrélation négative très hautement significative a été observée entre le taux de protéines et le poids de mille grains ($r^2 = -0.56$).

Une autre corrélation positive très hautement significative entre le poids spécifique et le PMG ($r^2 = 0.57$) observées, comme révélée par l'étude de Amamou *et al.*, (2017). Bien que le PMG et le PS soient des caractéristiques génétiquement contrôlées, les conditions environnementales affectent considérablement leurs expressions. L'étude d'Aucamp *et al.* (2006) a également montré l'effet environnemental sur le PMG et le PS.

Le poids spécifique est négativement corrélé au taux de protéines ($r^2 = -0.64$). Plusieurs auteurs ont rapporté l'existence de telles relations (Dexter *et al.*, 1987 ; Cubadda, 1988 ; Tkatchuk & Kuzina, 1987).

Tableau 11 : Corrélation entre les paramètres pour le site Sidi El Aidi.

| | PMG | Rendement | Surface du grain | SDS | Poids spécifique | Taux de protéines |
|-------------------|----------|-----------|------------------|-------|------------------|-------------------|
| PMG | 1 | | | | | |
| Rendement | 0.49*** | 1 | | | | |
| Surface du grain | 0.31* | 0.11 | 1 | | | |
| SDS | 0.32* | 0.07 | 0.27* | 1 | | |
| Poids Spécifique | 0.57*** | 0.45*** | 0.13 | -0.09 | 1 | |
| Taux de Protéines | -0.56*** | -0.59*** | -0.19 | -0.01 | -0.64*** | 1 |

*<0,05 Significative **<0,01 hautement significative

***<0,001 très hautement significative.

III. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

L'analyse en composantes principales permet d'explorer les liaisons entre les variables et les ressemblances entre individus. Elle regroupe les paramètres mesurés en composantes, selon leur contribution à la variabilité observée.

1. SITE DE MARCHOUCH

La plus grande variabilité observée est expliquée par les deux premiers axes ou composantes principales (Figure 18) qui ont cumulé 94.53 % de la variance totale.

La première composante (Axe 1) explique 86.27 % de la variabilité. Les variables contribuant le plus à la formation de l'axe 1 sont : SDS, taux de protéines, le rendement.

La seconde composante (Axe 2) explique 8.257 % de la variabilité des caractères se rapportant aux paramètres agro-morphologiques : surface du grain, PMG et PS.

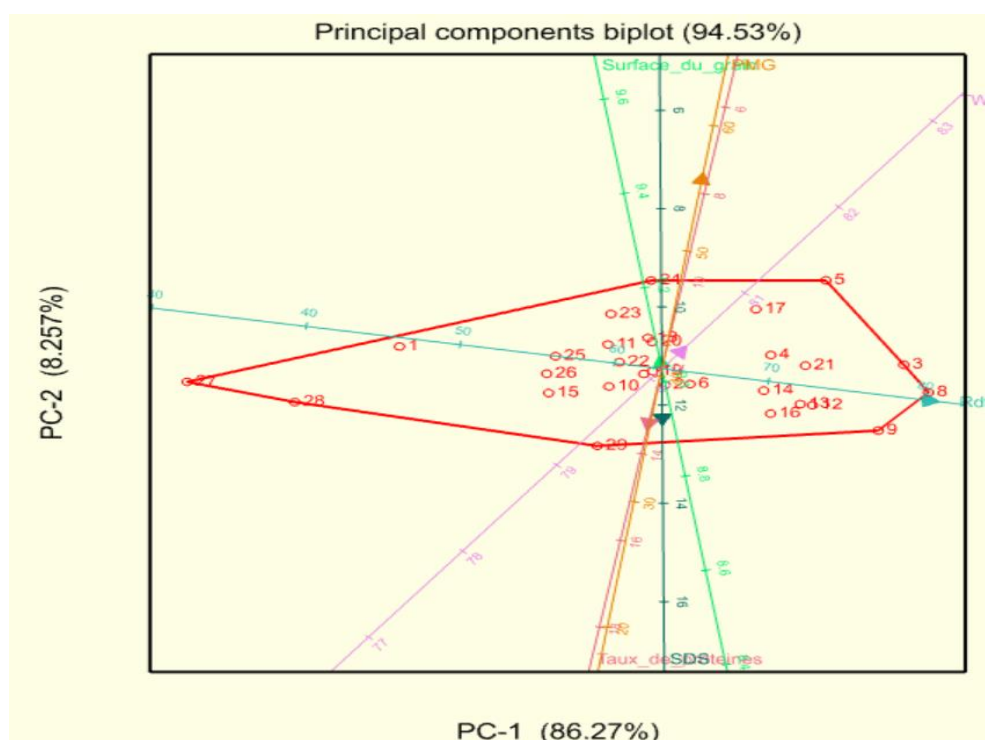


Figure 18 : ACP pour les génotypes du blé tendre pour le site de Marchouch.

La représentation graphique de l'ACP (Figure 18) a classé les génotypes en 6 groupes principaux selon leur positionnement par rapport aux axes. Ceci reflète une diversité génétique non négligeable des différents génotypes étudiés. Les génotypes les plus intéressants sont ceux qui présentent une corrélation positive avec le premier axe. Ces génotypes sont G8, G3, G9, G5 et à moindre degré G4, G21, G12, G13, G14, G16 et G17.

2. SITE DE JEMAAT SHAIM

La plus grande variabilité observée est expliquée par les deux premiers axes ou composantes principales (Figure 19) qui ont cumulé 79.32% de la variance totale.

La première composante (Axe 1) explique 63.27% de la variabilité, les variables contribuant le plus à la formation de l'axe 1 sont : SDS, taux de protéines, PS.

La seconde composante (Axe 2) explique 16.05% de la variabilité des caractères se rapportant aux paramètres agro-morphologique, surface du grain, PMG et rendement.

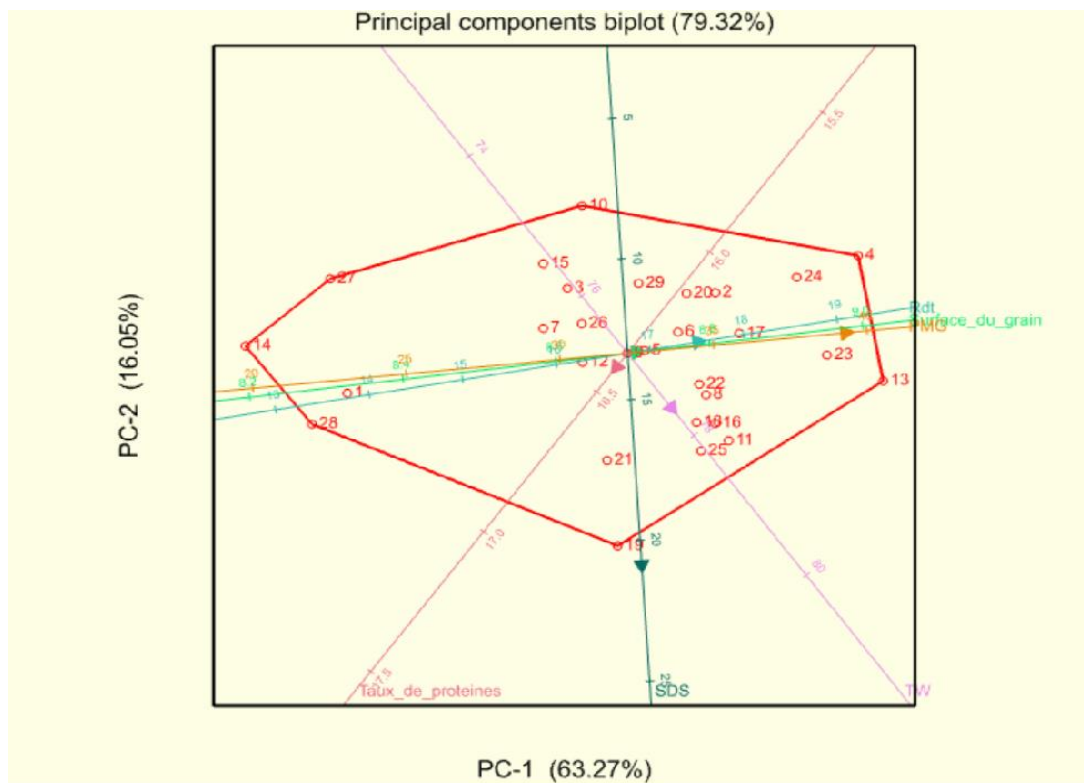


Figure 19 : ACP pour les génotypes du blé tendre pour le site de Jemaat Shaim.

La représentation graphique de l'ACP (Figure 19) a classé les génotypes en 6 groupes principaux selon leur positionnement par rapport aux axes, ce qui reflète une diversité génétique non négligeable des différents génotypes étudiés. Les génotypes les plus intéressants sont ceux qui présentent une corrélation positive avec le premier axe représentant le taux de protéines, SDS et le rendement. Ces génotypes sont G4, G13, G17 et G23 et à moindre degré G2, G8, G11, G16 et G18. Les génotypes G6, G22, et G25 ont aussi des valeurs positives mais faibles en relation avec leur positionnement sur l'axe 2.

3. SITE DE SIDI EL AIDI

La plus grande variabilité observée est expliquée par les deux premiers axes ou composantes principales (Figure 20) qui ont cumulé 80.47 % de la variance totale.

La première composante (Axe 1) explique 60.08 % de la variabilité, les variables contribuant le plus à la formation de l'axe 1 sont : le PS, le rendement, et le PMG.

La seconde composante (Axe 2) explique 20.38 % de la variabilité des caractères, la surface du grain, le SDS et le taux de protéines.

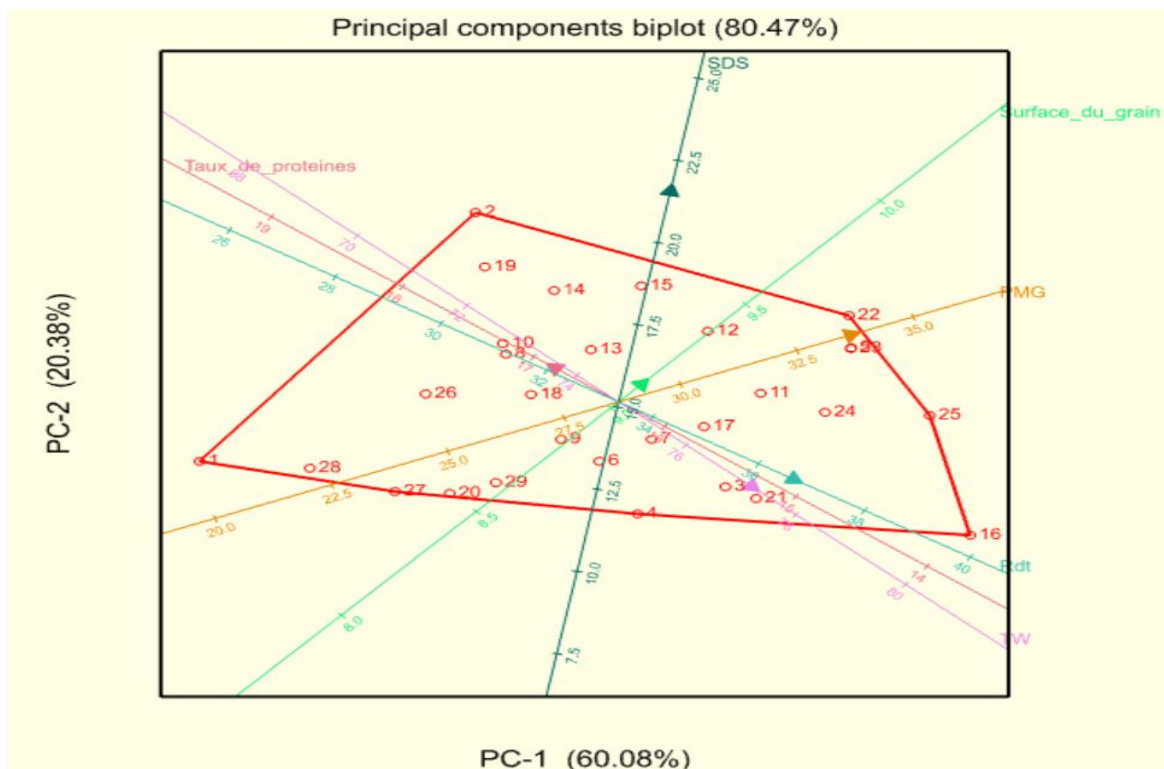


Figure 20: ACP pour les génotypes du blé tendre pour le site de Sidi El Aidi.

La représentation graphique de l'ACP a classé les génotypes en 6 groupes principaux selon leur positionnement par rapport aux axes, ce qui reflète une diversité génétique non négligeable des différents génotypes étudiés. Les génotypes les plus intéressants sont ceux qui présentent une corrélation positive avec le premier axe représentant le PS, le rendement et le PMG. Ces génotypes sont G5, G16, G22, G23, G24 et G25 et à moindre degré G3, G11, G17 et G21. Les génotypes G4, G7 et G15 ont aussi des valeurs positives mais faibles en relation avec leur positionnement sur l'axe.

IV. ANALYSE DE STABILITE DES GENOTYPES

1. ANALYSE GGE (GENOTYPE ET INTERACTION GENOTYPE ENVIRONNEMENT)

Cette analyse porte sur les caractères suivants : Rendement, poids de mille grains, taux de protéines, force du gluten (SDS) et poids spécifique.

A. Rendement

Le polygone du GGE biplot de cette étude est présenté par la figure 21. Les sommets du polygone représentent les génotypes qui marquent une distance importante par rapport au centre du biplot. Les lignes divisant le biplot en secteurs représentent un ensemble d'environnements éventuels.

Si un génotype se trouve sur l'un des sommets du polygone et tombe dans un environnement, cela signifie que la capacité de rendement de ce génotype est la plus élevée dans cet environnement.

Les meilleurs génotypes de chaque secteur sont ainsi pour les sites qui sont dans ce même secteur, de sorte que les sites qui se trouvent sur le même secteur partagent le même ou les mêmes meilleurs génotypes (Yan et al., 2000). En plus, le biplot indique des groupements environnementaux, ce qui suggère l'existence possible de différents méga-environnements.

Notre GGE biplot regroupe les sites d'essai en deux zones ou méga-environnements :

- La zone 1 représentée par Jemaat Shaim et Sidi El Aidi.
- La zone 2 représentée par Marchouch.

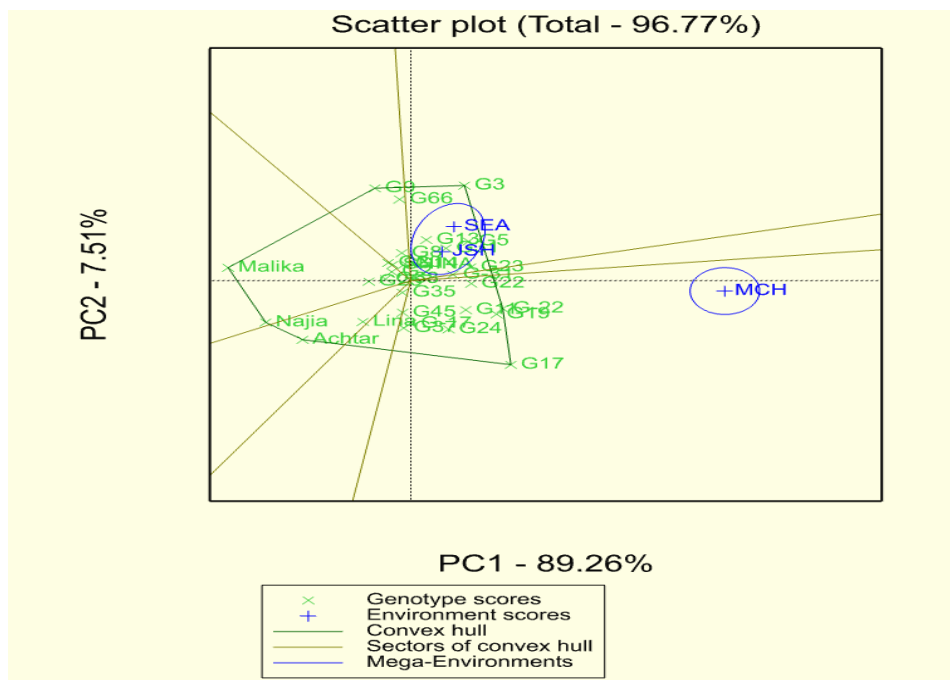


Figure 21 : GGE biplot représentant les génotypes performants en termes de rendement dans chaque méga environnement

Les géotypes les plus performants par zone se situent aux têtes du polygone. En effet, G3, G22 et G17 montrent les valeurs les plus élevées en termes de rendement.

B. Poids de mille grains

Le GGE biplot, présenté par la figure 22, groupe les sites en deux zones ou méga-environnements :

- La zone 1 représentée par Sidi El Aidi et Marchouch.
- La zone 2 représentée par JSH.

Les géotypes ayant un Poids de milles grains élevé par zone se situent aux têtes du polygone. En effet, G11, G68, et G23 sont les meilleurs géotypes dans la zone 1 et 2 respectivement.

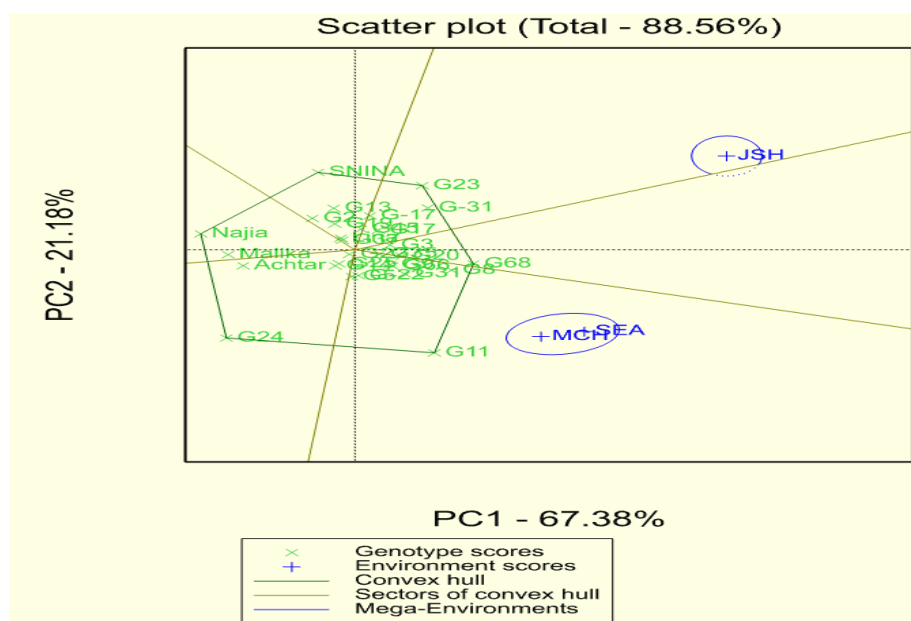


Figure 22 : GGE biplot représentant les géotypes performants en termes de PMG dans chaque méga environnement

C. Taux de protéines

Le GGE biplot, présenté par la figure 23, divise les sites d'essai en trois zones ou méga-environnements :

- La zone 1 représentée par Marchouch.
- La zone 2 représentée par Jemaat Shaim.
- La zone 3 représentée par Sidi El Aidi.

Les géotypes ayant les valeurs les plus importantes du taux de protéines sont : G3, G25, G22, G37 et G-17 dans les zones 1, 2 et 3 respectivement.

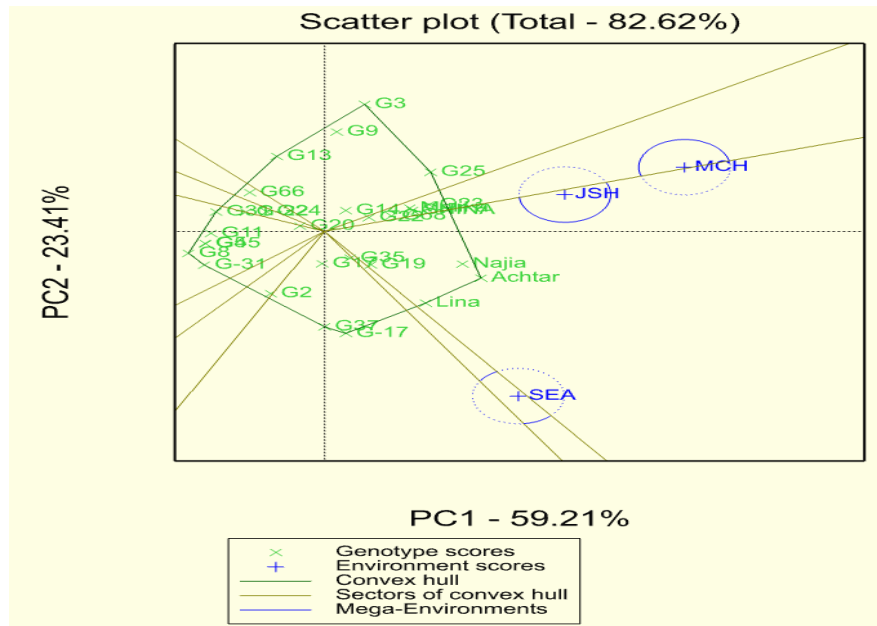


Figure 23 : GGE biplot représentant les génotypes performants en termes de taux de protéines dans chaque méga environnement

D. Force du Gluten (SDS)

Le GGE biplot, présenté par la figure 24, groupe les sites en deux zones ou méga-environnements :

- La zone 1 représentée par Jemaat Shaim et Marchouch.
- La zone 2 représentée par Sidi El Aidi.

Les génotypes ayant la plus grande force du gluten par zone se situent aux têtes du polygone. En effet, G5, G37, G-17 et G2 sont les meilleurs génotypes dans la zone 1 et 2 respectivement.

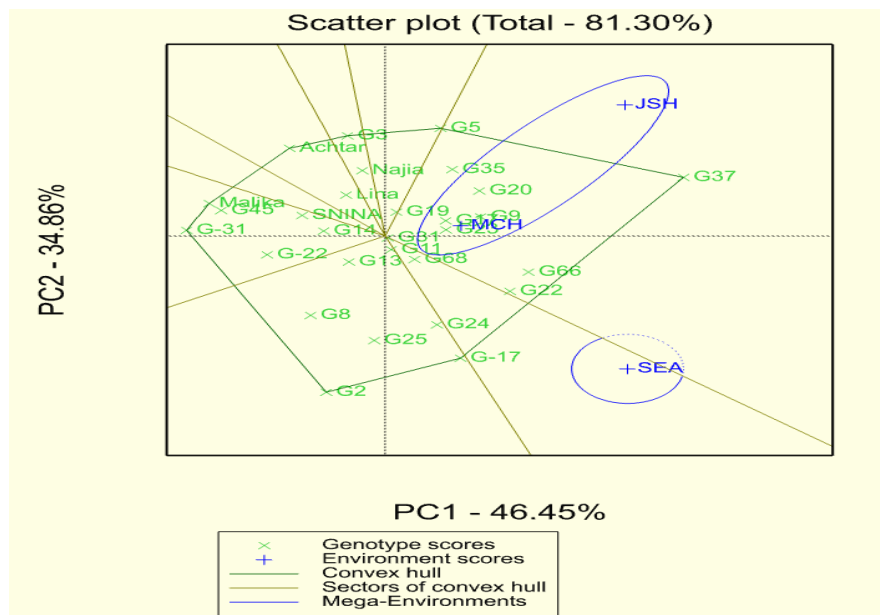


Figure 24 : GGE biplot représentant les génotypes performants en termes de SDS dans chaque méga environnement

E. Poids Spécifique

Le GGE biplot, présenté par la figure 25, regroupe les sites en deux zones ou méga-environnements :

- La zone 1 représentée par SEA et MCH
- La zone 2 représentée par JSH

Les génotypes ayant un poids spécifique élevé par zone se situent aux têtes du polygone. En effet, G31, G9 et G23 sont les meilleurs génotypes dans la zone 1 et 2 respectivement.

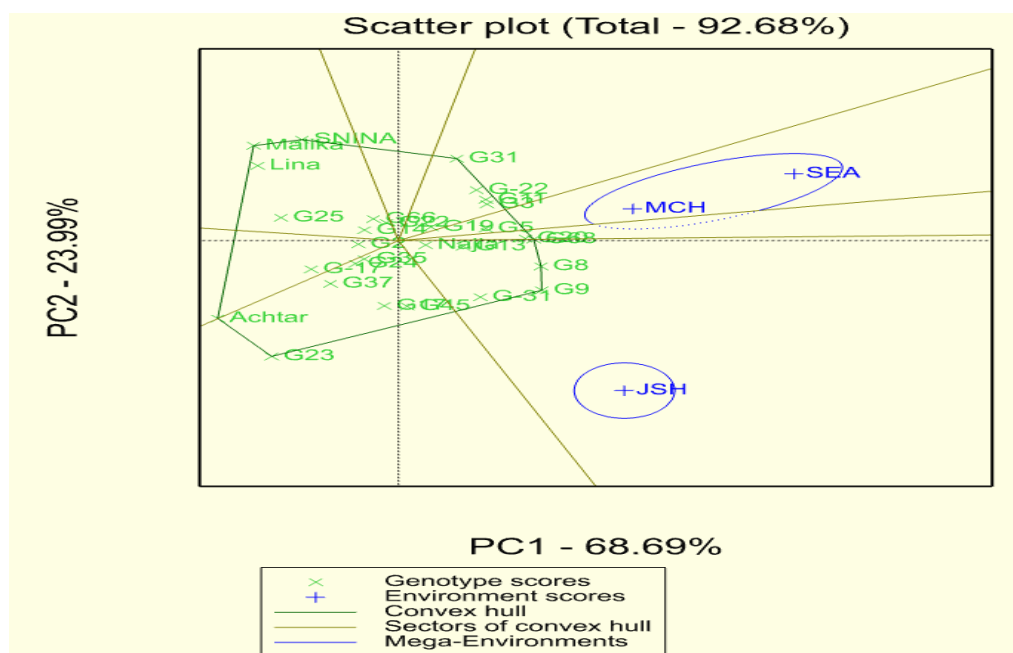


Figure 25 : GGE biplot représentant les génotypes performants en termes de poids spécifique dans chaque méga environnement.

Plusieurs paramètres de stabilité sont calculés pour les différents génotypes afin d'identifier les génotypes les plus stables pour chaque paramètre dans la plupart des agro écosystèmes marocains. Les annexes présentent les paramètres calculés pour les 30 génotypes testés pour le rendement, le poids de mille grains, le taux de protéines, la force du gluten (SDS) et le poids spécifique respectivement.

2. ANALYSE PAR L'INDICE DE SUPERIORITE

A. Rendement

L'indice de supériorité indique la stabilité des génotypes dans la haute performance. Cet indice mesure la distance qui sépare la performance du génotype d'intérêt de la meilleure performance réalisée dans l'environnement considéré, on ajoute que plus l'indice est faible plus la capacité du génotype à s'adapter à plusieurs environnements est grande.

Les résultats de cet indice calculé pour chaque génotype montrent que le G3 est le génotype le plus stable en termes du rendement suivi de G5 et G19 avec des moyennes de 17.29, 17.32, 17.54 respectivement, et des rendements respectives égales à : 43.73 qx/ha, 42.53 qx/ha, 42.50qx/ha. Ces génotypes précités valorisent nettement mieux les environnements favorables et se comportent autant sinon mieux que les génotypes instables dans les environnements défavorables.

B. Taux de protéines

Les résultats de l'indice de supériorité calculé pour chaque génotype montrent que les génotypes G23, G25, G68 sont les plus performants avec des Pi faible, suivis par les génotypes G19 et G35 avec des moyennes respectives de 1.025, 1.544, 1.604, 2.122, 2.682 et un taux de protéines de 16.08 %, 15.95 %, 15.68 %, 15.50 %, 15.23 % respectivement. La sélection des faibles valeurs de Pi identifie donc les génotypes performants et stables.

C. SDS

Les résultats de l'indice de supériorité calculé pour chaque génotype montrent que les génotypes G37 et G66 sont les plus performants avec des Pi faible, suivis par les génotypes G22 et G20 avec des moyennes respectives de 0.77, 8.14, 8.21, 8.98, 9.55 et des valeurs de force de gluten égales à 17.82 ml, 15.17 ml, 15.60 ml, 14.52 ml respectivement. La sélection des faibles valeurs de Pi identifie donc les génotypes performants et stables. Selon Crossa et *al.*, (2002), cet indice intègre les notions de performance et de stabilité.

D. Poids de mille grains

Les résultats de l'indice de supériorité calculé pour chaque génotype montrent que les génotypes G68 et G8 sont les plus performants avec des Pi faible, suivis par les génotypes G11 et G31 avec des moyennes respectives de 3.63, 5.04, 11.40, 15.60 et un poids de mille grains d'une valeur de 39.90g, 39.01g, 39.30g, 36.74g respectivement. La sélection des faibles valeurs de Pi identifie donc les génotypes performants et stables.

E. Poids Spécifique

Les résultats de l'indice de supériorité calculé pour chaque génotype montrent que les génotypes G9 et G68 et G20 sont les plus performants avec des Pi faible, suivis par les génotypes G8 et G-31 avec des moyennes respectives 0.629, 0.762, 0.889, 1.023, 2.119 et des poids spécifiques égales à 79.97 kg/hL, 79.84 kg/hL, 79.64 kg/hL, 79.78 kg/hL, 79.01 kg/hL. La

sélection des faibles valeurs de Pi identifie donc les génotypes performants et stables.

En gros, le recours à l'étude de la stabilité des performances permet de classer les génotypes selon leurs degrés de stabilité et de performance. De nombreuses méthodes d'analyse de la stabilité sont proposées dans la littérature (Lin et *al.*, 1986 ; Becker et *al.*, 1988 ; Sabaghnia et *al.*, 2006 ; Rose et *al.*, 2008). Dans notre étude l'indice de stabilité Pi a permis de fournir une sélection génotypique, cette dernière diffère selon chaque formule de chaque indice pour chaque caractère. Cet indice est de type agronomique c'est-à-dire qu'il permet d'identifier les génotypes dont les performances varient en fonction des conditions du milieu (Becker et *al.*, 1988). Toutefois, l'indice de supériorité (Pi) se base sur le calcul de la différence entre la performance du génotype et la meilleure performance dans chaque environnement. Il répond plus aux résultats attendus par le sélectionneur comme démontré dans plusieurs études antérieures notamment Bennani et *al.* (2017) et Farshadfar et *al.* 2013.

La présente étude a pour but d'identifier les lignées de blé tendre les plus prometteuses et les plus stables dans les différents sites à travers l'analyse d'une série de données sur la base des caractères agro-morphologiques (rendement, poids de milles grains et surface) et de qualité (teneur en protéines, force du gluten (SDS) et poids spécifique). L'étude est menée sur 24 génotypes améliorés, en comparaison avec 6 variétés commerciales de blé tendre, testés dans trois sites expérimentaux (Marchouch, Sidi El Aidi, Jemaat Shaim) durant la campagne agricole 2020/2021.

L'étude de la variabilité génétique a montré une variabilité génétique importante, dans les trois sites d'étude, pour les différents caractères étudiés, excepté pour la surface des grains. Le site Marchouch, représentant la zone agro-écologique favorable, a enregistré le rendement le plus élevé (63,09 qx/ha). Toutefois, le site de Jemaat Shaim a noté le plus faible rendement, étant donné que le potentiel génétique est limité par les contraintes climatiques. En revanche, le site de Sidi El Aidi est marqué par des teneurs en protéines les plus élevées en comparaison avec le site de Marchouch, confirmant les associations défavorables entre le rendement et les protéines.

L'analyse de la variance, des trois stations combinées, a démontré des effets très hautement significatifs du génotype, du site et de l'interaction "Génotype X Environnement", pour la majorité des caractères étudiés ($P < 0,001$). La plus grande variation se manifeste au niveau de l'environnement confirmant les grandes différences entre les agroécosystèmes marocains associées aux conditions climatiques, en particulier les précipitations et les niveaux de températures. Par conséquent, les génotypes ont présenté des performances différentes pour chaque environnement.

Bien que la sélection se fasse principalement sur les données de rendement et le taux des protéines, d'autres paramètres peuvent servir de critères secondaires à la sélection. L'analyse des corrélations réalisée a révélé des différences de résultats entre les sites considérés dans notre étude. Une corrélation positive très hautement significative est notée entre le poids de mille grains et le rendement pour les deux stations Marchouch et Jemaat Shaim. Une corrélation s'est avérée également positive pour les paramètres " poids spécifique" et "poids de mille grains" au niveau des sites Jemaat Shaim et Sidi El Aidi. Par contre une corrélation négative très hautement significative est observée entre le poids spécifique et le taux de protéines ($r^2 = -0.64$) dans la station Sidi El Aidi.

Afin de considérer la combinaison de plusieurs caractères, l'étude de l'analyse en composantes principales des variables combinées a permis de valider les associations entre les différents caractères et de faire ressortir les meilleurs génotypes présentant un rendement élevé et une bonne qualité pour chaque site.

Compte tenu des effets du changement climatique et de la variabilité de l'environnement d'une année à une autre, en plus des associations défavorables entre les traits ciblés ; la sélection des lignées stables et performantes, en terme de productivité et de qualité au niveau des différents environnements, demeure un défi pour le sélectionneur.

L'analyse du GGE biplot a permis de grouper, pour chaque paramètre, les sites d'essai en méga-environnements et d'identifier les géotypes les plus performants par méga-environnement. En effet le site Marchouch, appartenant à l'agroécosystème humide, se dissocie des deux autres sites étudiés pour le rendement. Quant au site de Sidi El Aidi, il se regroupe avec Marchouch dans la même zone du polygone pour le poids de mille grains et le poids spécifique. Pour le paramètre teneur en protéines, chaque site constitue un méga-environnement à part entière, alors que pour la qualité des protéines, le site de Marchouch et de Jemaat Shaim appartiennent au même groupe.

L'analyse de stabilité, approchée par l'indice de supériorité (Pi) a permis d'identifier les lignées performantes et stables. Cet indice se base sur le calcul de la différence entre la performance du géotype et la meilleure performance dans chaque environnement.

Les résultats obtenus, sur la base des différentes analyses réalisées dans la présente étude, concordent sur la performance de productivité et de stabilité des géotypes G3, G5 et G19. Ces trois lignées identifiées, seraient réévaluées dans d'autres environnements et d'autres années pour confirmer leurs performances.

D'autres perspectives de recherche pourraient être également considérées pour compléter le présent travail, notamment :

- ✓ Considérer d'autres traits physiologiques et agronomiques, liés à la productivité, pour approcher avec plus de détails la tolérance à la sécheresse.
- ✓ Considérer d'autres traits plus précis de qualité donnant plus de détails sur les propriétés rhéologiques de la variété.
- ✓ Accompagner la sélection par des outils moléculaires.

Abecassis J., Autran J.C., Adda J. (1990) - La qualité technologique des blés. Le blé à l'INRA : Recherches et innovations. Revue mensuelle INRA, (4) : 6-9.

- **Acevedo E., Silva P. & Silva H. (1998)** - Wheat growth and physiology, development. Improvement and production. Edited by Curtis BC, Rajaram S, Gomez Macpherson H: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) :567 p.
- **Ahmadi N., Chantereau J., Hekimian L.C., Marchand J.L. & Ouendeba B. (2002)** - Agriculture spéciale. Les plantes comestibles : les céréales In *Mémento de l'agronome*. Montpellier : CIRAD : 777-829.
- **Altenbach S.B., Dupont F.M., Kothari K.M., Chan R., Johnson E.L. & Lieu D. (2003)** - Temperature, Water and Fertilizer Influence the Timing of Key Events During Grain Development in US Spring Wheat. *Journal of Cereal Science*, 37: 9-20.
- **Aucamp, U., Labuschagne, M. T., & Deventer, C. S. (2006)** - Stability analysis of Kernel and milling characteristics in winter and facultative wheat. *South African Journal Of Plant and Soil*, 23 (3) : 152-156.
- **Benseddik B. et Benabdelli K. (2000)** - Impact du risqué climatique sur le rendement du blé dur en zone semi-aride. Approche éco-physiologique, sécheresse, 11 (1) : 45-51.
- **Berman M, Bason ML, Ellison F, Peden G, Wrigley CW, (1996)** - Image analysis of whole grainsto screen for flour-milling yield in wheat breeding. *Cereal Chem*, 73 : 323-327.
- **Bogard M, Jourdan M, Allard V, Martre P, Perretant MR, Ravel C, Heumez E, Orford S, Snape J, Giffiths S, Oorbessy G, Foulkes J, Le Gouis J (2011)** - Anthesis date mainly explained correlations between post-anthesis leaf senescence, grain yield and grain protein concentration in a winter wheat population segregating for flowering time QTLs. *J.Exp Bot*, 62 : 3621-3636.
- **Bonjean A. & Picard E. (1990)** - Les céréales à paille (Origine, histoire, Économie, sélection) 1-205, Soft Word/Groupe ITM, France.
- **Brancourt- Hulmel M. & Lecomte C.(1994)** - Sélection et stabilité du rendement chez leblé tendre d'hiver. *Agronomie*, 14 : 611-625
- **Braun H.J., Altin G. & Payne T. (2010)** - Multi-Location testing as a tool to identify plant response to global climate change. In: Reynolds, M. P. (Eds.), *climate change and crop production*. CABI Climate Change Series, U.K. : 115-138.
- **Campbell C.A., Selles F., Zentner R.P., McConkey B.G., McKenzie R.C. & Brandt S.A. (1997)** - Factors influencing grain N

concentration of hardred spring wheat in the semiarid prairie. *Can. J. Plant Sci.*, 77 : 53-61.

- **CGIAR (2021)** - The challenge of building resilience to shocks and stresses. *Africa Regional Overview of Food Security and Nutrition*, FAO. Accra.
- **Cubadda R. (1988)** - Evaluation de la semoule et des pâtes de blé dur en Europe, p. 217-228. Dans : Blé dur : chimie et technologie. G. Fabriani & C. Lintas (Eds.). Amer. Assoc. Cereal Chem., St. Pl, MN, États-Unis.
- **Curic D., Karlovic D., Tusak D., Petrovic B. & Dugum J. (2001)** - Gluten asa standard of wheat flour quality. *Food Technol. Biotechnol.*, 39 (4) : 353-361.
- **Dagnelie, P. (1977)** - Analyses statistiques à plusieurs variables. Les presses agronomiques de Gembloux : 165-219.
- **Dexter J E, Matsuo R R, Kosmolak F G, Leisle D, Marchylo B A (1987)** - The suitability of the SDS-sedimentation test for assessing gluten strength in durum wheat. *Can. J. Plant Sci.* 60 : 25-29.
- **Dubcovsky J., Echaide M., Giancola S., Rousset M., Luo M.C., Joppa L.R. & Dvorak J. (1997)** - Seed-storage-protein loci in RFLP maps of diploid,tetraploid, and hexaploid wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 95: 1169-1180.
- **Elgün A., Ertugay Z., Certel M. & Kotancilar H.G. (2002)** -Tahıl ve ürünlerinde analitik kalite kontrolü ve laboratuvar uygulama klavuzu. Atatürk Üniversitesi Yayın No: 867, Ziraat Fakültesi Yayın No: 335, Ders Kitapları Serisi, 82: 245-251.
- **Evers, A.D. (2000)** - Grain size and morphology: Implications for quality. In *Wheat Structure, Biochemistry and Functionality*, D. Schofield, ed (London: Royal Society of Chemistry) :19-24.
- **FAO (2022)** - Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales.
- **FAOSTAT (2022)** - Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- **Feillet P. (2000)** - Le grain de blé. Composition et utilisation. Mieux comprendre. INRA. ISSN : 1144-7605. ISBN : 2-738060896-8. 308p.
- **Feldman M. (2001)** - The world wheat book: a history of wheat breeding. Edited by: Bonjean, A.P. & Angus, W.J. ; 3-53.
- **Fine L.O. (1972)** - Mineral content of South Dakota bread wheats: extent andNature. *Agron. J.*, 64: 769-772.
- **Godon, B., & Loisel, W. (1984)** - Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Coll. Scien. Et Tech. Agro-Alimentaires. APRIA : 47-50.

- **Goesaert H., Brijs K., Veraverbeke W.S., Courtin C.M., Gebruers K. & Delcour J.A. (2005)** - Wheat flour constituents: how they impact bread quality and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 16 : 12-30.
- **Grignac P. (1981)** - Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen français. Séminaire scientifique. Bari (Italie) :185-194.
- **Jlibene M. (2009)** - Amélioration génétique du blé tendre au Maroc à l'aube du 21^{ème} siècle, division de l'information et la communication. Editions INRA : 80 p.
- **Jlibene M. (2011)** -Options Génétiques d'adaptation du blé tendre aux changements climatiques : Variétés résistantes multiples : sécheresse, cécidomyie, septoriose, rouille brune et jaune.
- **Johansson E. & Svensson G. (1999)** - Influences of yearly weather variation and fertilizer rate on bread-making quality in Swedish grown wheats containing HMW glutenin subunits 2+12 or 5+10 cultivated during the period1990-96. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 132 : 13-22.
- **Johansson E., Prieto-Linde M.L. & Gissén C. (2008)** - Influences of weather, cultivar and fertilizer rate on grain protein polymer accumulation in field grown winter wheat, and relations to grain water content and falling number. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88: 2011-2018.
- **Johnson V.A., Mattern P.J., Peterson C.T. & Kurh S.L. (1985)** - Improvement of wheat protein by traditional breeding and genetic techniques. *CerealChem.*, 62 : 350-355.
- **Jones R.A. & C.O. Qualset (1984)**- Breeding crops for environmental stress tolerance. In: Collins, G. B. & J. F., Petolino (Eds), Application of genetic engineering to crop improvement. Nijhoff/Junk Publishers, Holland : 305-340.
- **Kara K. (2014)** - Interaction du génotype x environnement de variétés de blé tendre sous stress hydrique (Thèse).
- **Lafond GP, Baker RJ. (1986)** - Effects of genotype and seed size on speed of emergence andseedling vigor in nine-spring wheat cultivars.Crop Sci, 26 : 341.
- **Le Gouis J, Béghin D, Heumez E, Pluchard P (2010)** - Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilization efficiencies in winter wheat. *Eur. J. Agron.*12 : 163–173.
- **Leonard, W. H. & J. H. Martin (1963)** - Cereal crops. Maize pp. 133-141. The MacMillan Publishing Co., New York.
- **Lev-Yadun S., Gopher A. & Abbo S. (2000)** - The cradle of agriculture. *Science*, 288 : 1602-1603.

- **Lev-Yadun S., Gopher A., Abbo S. (2000)** - The cradle of agriculture. *Science*, 288 : 1602-1603.
- **Lin C.S and Binns M.R. (1988)** - A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Can. J. Plant Sci.*, 68 : 193-198.
- **Lineback D.R. & Rasper V.F. (1988)** - *Wheat, Chemistry and Technology* St Paul, MN: AACC. Ghana. 39p.
- **MacRitchie F. (1983)** - Role of lipids in baking. *Lipids in cereal technology*, ed. Barnes H.A., London: Academic Press.
- **Malik A.H. (2009)** - *Nutrient uptake, transport and translocation in cereals: Influences of environmental and farming conditions*. Technical Report. Alnarp: Introductory paper at the Faculty of Landscape Planning, horticulture and Agricultural Science Swedish University of Agricultural Sciences : 46p.
- **Manna M.C., Swarup A., Wanjari R.H., Mishra B. and Shahi D.K. (2007)**. - Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields. *Soil Tillage Res.* 94 (4) : 397-409.
- **Marinciu C. & Saulescu N.N. (2008)** - Cultivar effects on the relationship between grain protein concentration and yield in winter wheat. *Romanian Agricultural Research*, 25 : 19-27.
- **Marshall DR, Mares DJ, Moss HJ, Ellison FW, (1986)** - Effects of grain shape and size on milling yields in wheat. 2. experimental studies. *Aust J Agric Res*, 37 : 331-342.
- **McCormack G., Panozzo J.F., Bekes F. & MacRitchie F. (1991)** - Contributions to bread-making of inherent variations in lipids content and composition of wheat cultivars. I. Results of survey. *Journal of Cereal Science*, 13 : 255-261.
- **Mc-Neal FH, Berg MA (1978)** - Recurrent selection for grain protein content in spring wheat. *Crop Science*. 18 : 779-782.
- **Mekliche, H. L. (2003)**. Etude agronomique, analyses diallèles et cytogénétiques des variétés de blé tendre. Thèse de Magister. I.N.A. El-Harrach, 150 p.
- **Millar, S.J. Whitworth, M.B. and Evers, A.D. (1997)** - Image analysis: The prediction and assessment of wheat quality and milling properties. In *Proceedings of the International Wheat Quality Conference*, J.L. Steele and K.O. Chung, eds (Manhattan, KS: Grain Industry Alliance) : 141-151.
- **Nelson J.H. (1985)** - Wheat: its processing and utilization. *American Journal of Clinical Nutrition*, 41: 1070-1076.
- **Nuttonson, M. Y. (1955)** - Wheat climate relationships and the use of phenology in ascertaining the thermal and photothermal

requirements of wheat. Washington, D.C: American Institute of Crop Ecology : 388p.

- **Olive Jean Dunn (1959)** - Confidence intervals for the means of dependent, normally distributed variables, *Journal of the American Statistical Association*, 54 (287) : 613–621.
- **OMAS (1988)** - Official Methods of Analysis, *Slùbeni list SFRJ* 74: 1854–1887.
- **ONICL (2022)** - Office National Interprofessionnel des Céréales et légumineuses. Consulté le 20, 2022, Production des trois céréales principales et importations du blé tendre de 2009-2021 : www.onicl.org.ma
- **ONSSA (2022)** -Office National de Sécurité Sanitaires des produits Alimentaires. Liste des variétés de blé tendre inscrites sur la liste A du catalogue officiel.
- **Ourgha N. (2016)** - Mémoire master : Evaluation d'un set de génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum*) vis-à-vis de la tolérance à la sécheresse au stade végétatif, 79 p.
- **Oury FX, Godin C (2007)** - Yield and grain protein concentration in bread wheat: how to use the negative relationship between the two characters to identify favorable genotypes. *Euphytica* 157: 45-57.
- **Ozturk A. & Aydin F. (2004)** - Effect of Water Stress at Various Growth Stages on Some Quality Characteristics of Winter Wheat. *J. Agronomy and Crop Science*, 190 : 93- 99.
- **Papantoniou E., Hammond E.W., Scriven F., Gordon M.H. & Schofield J.D. (2004)** - Effects of endogenous flour lipids on the quality of short-dough biscuits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84 : 1371-1380.
- **Parker R. & Ring S.G. (2001)** - Aspects of the Physical Chemistry of Starch. *Journal of Cereal Science*, 34 : 1-17.
- **Pena, R. J., Amaya, A., Rajaram, S., & Mujeeb-Kazi, A. (1990)** - Variation in quality characteristics associated with some spring 1B/1R translocation wheats. *Cereal Science*, 12 : 105-112.
- **Pepe JF, Heiner RE (1975).** - Plant height, protein percentage and yield relationships in spring wheat. *Crop Science*. 15:793-797
- **Perten H., Bondesson K. & Mjorndal A. (1992)** - *Cereal Foods World*, 37: 655-660.
- **Pittman U.J. & Tipples K.H. (1978)** - Survival, yield, protein content and baking quality of hard red winter wheat's grown under various fertilizer practices in Southern Alberta. *Can. J. Plant Sci.*, 58 : 1049-1060.

- **Pomeranz Y., Huang M. & Rubenthaler G.L. (1991)** – Steamed bread. III.Role of lipids. *Cereal Chemistry*, 68: 353-356.
- **Randall P.J. & Moss H.J. (1990)** - Some effects of temperature regimeduring grain filling on wheat quality. *Aust. J. Agric. Res.*, 41 : 603—617.
- **Rharrabti, Royo Y, Villegas C, Aparicio D, Garica Del Moral N, L.F., (2003)** - Durumwheat quality in mediterranean environments I. Quality expression under different zones, latitude and water regimes across Spain. *Field Crops Research*, 80 : 123 – 131.
- **Ruibal-Mendieta N.L., Rozenberg R., Delacroix D.L., Petitjean G., Dekeyser A., Baccelli C., Marques C., Delzenne N. M., Meurens M. & Habib-Jiwan J.L. (2004)** - Spelt (*Triticumspelta*L.) and Winter Wheat(*Triticum aestivum* L.) Whole meals Have Similar Sterol Profiles, As Determined by Quantitative Liquid Chromatography and Mass Spectrometry Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 : 4802-4807.
- **Sakumona M., Lungu D.M. & Munyinda K. (2014)** - Evaluation of Twelve Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes for Water Use Efficiency under Varying Water Regimes. *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 4(8) : 63-70.
- **Shewry P.R. & Halford N.G. (2002)** - Cereal seed storage proteins : Structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany*, 53 : 947-958.
- **Smith C. & Wayne A. (1995)** - Crop Production. John Wiley & Sons : 60-62.
- **Soltner D. (2012)** - Phytotechnie spéciale : les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sciences et techniques agricoles, 21^{ème} Edition. Angers, 472 p. (Collection Sciences et techniques agricoles).
- **Taghouti, M., Gaboun, F., Nsarellah, N., Rhrib, R., El-Haila, M., Kamar, M., Abbad, F., Udupa, S.M., n.d. (2010)** - Genotype x Environment interaction for quality traits in durum wheat cultivars adapted to different environments 9.
- **Tayyar Ş (2010)** - Variation in grain yield and quality of Romanian bread wheatvarieties compared to local varieties in northwestern Turkey. *RomanianBiotechnological Letters*, 15(2): 5189-5196.
- **Tayyar Ş. & Gül M.K. (2008)** -Evaluation of 12 bread wheat varieties forseed yield and some chemical properties grown in Northwestern Turkey.*Asian Journal of Chemistry*, 20 (5) : 3715-3725.

- **Tipples K.H., Kilborn R.H. & Preston K.R. (1994)** - Bread-wheat quality defined In: *Wheat, Production, Properties and Quality*, (ed Bushuk & Rasper), Blackie Academic and Professional : 25-36.
- **Tkatchuk R.& F.D. Kuzina (1987)** - Wheat: relations between some physical and chemical properties. *Cano J. Plant Sei.* 59: 15 - 20.
- **Tran T.S. and Tremblay G. (2000)** - Recovery of ¹⁵N-labeled fertilizer by spring bread wheat at different N rates and application times. *Canadian Journal of Soil Science.* 74 : 279-285.
- **Van Lill D, Purchase 1L, Smith MF, Agenbag De Villiers OT. (1995)** - Multivariate assessment of environmental effects on hard red winter wheat. Canonical correlation and canonical variate analysis on yield and breadmaking characteristics. *S.A.J plant & Soil.* 12 : 164-169.
- **Wieser H. (2007)** - Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, 24 : 115-119.
- **Wrigley C.W. & Bietz J.A. (1988)** - Proteins and amino acids. St. Paul American Association of Cereal Chemistry. Ghana : 39p.
- **Wrigley C.W. (1994)** - Developing better strategies to improve grain quality forwheat. *Aust. J. Agric. Res.*, 45 : 1-17.
- **Yan W. and N.A. Tinker. (2006)** - Biplot analysis of multi-environment trial data: Principales and applications. *Can. J. Plant Sci.*, 86 : 623-645.
- **Yan W. et Hunt W.A. (2001)** - Interpretation of Genotype x Environment Interaction for Winter Wheat Yield in Ontario. *Crop Science*, 41 : 19-25.
- **Yan W., Hunt L.A., Sheng Q. and Z. Szlavnics. (2000)** - Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.*, 40 : 597-605.

Annexe 1
Maladies du blé tendre (CECAMA, 2016).



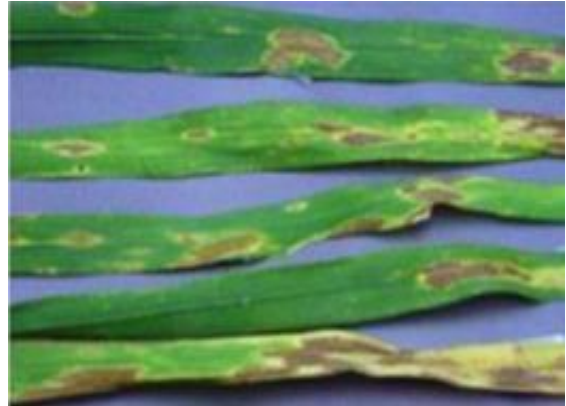
Rouille Jaune sur Feuilles.



Rouille Brune sur Feuilles/



Rouille Noire des Tiges.



Helminthosporiose sur Feuilles.



Tache Septorienne.



Septoriose des glumes.

Annexe 2

Centre internationaux et nationaux pour l'amélioration des céréales

- **CIMMYT** : Centre international pour l'amélioration du maïs et du blé à Mexico ; est une organisation sans but lucratif dont la mission est de contribuer à l'amélioration des moyens de subsistance des populations des pays émergents par l'amélioration des semences de blé et de maïs, principales cultures vivrières du monde. Cette organisation est issue d'un programme pilote menée au Mexique en 1943 sous le parrainage conjoint du gouvernement mexicain et de la Fondation Rockefeller.
- **ICARDA** : Centre international de recherche agricole sur les régions arides ; est créé en 1977 à Alep en Syrie, actuellement basé à Rabat, Maroc. Ce centre comporte une banque de gène adapté à la conservation à long terme et a cours terme d'un nombre énorme des populations et ligné des céréales (blé tendre, blé dure, orge et maïs) et légumes (pois chiche, lentilles, féverole, fève et petit pois).
- **INRA** : Institut National de la Recherche Agronomique au Maroc, est une institution de recherche agricole créée en 1980. Il comprend des centres régionaux de recherches et des stations expérimentales réparties à travers tout le royaume conservent près de 23 594 accessions de lignées de blé en tant que stock génétique en collection de base en petites quantités à la banque de gènes de Settat. La caractérisation du germoplasme maintenu dans ces banques de gènes est cruciale afin d'exploiter la variabilité génétique existante pour des caractères d'importance économique tels que : le rendement et sa stabilité, la qualité Du grain et la tolérance aux stress biotiques et abiotiques (Aguiriano et *al.*, 2006).

Annexe 3

Test de la sédimentation de Dodécyl sulfate de sodium (SDS)

Réactif 1 :

Le bleu de Coomassie ou Brilliant Blue (CBB), R-250 solution colorante : 10 mg de CBB + l'eau distillée.



Réactif 2 :

Solution d'acide lactique (1 : 8, v/v) : 10 ml d'acide lactique (85%) + 80 ml de l'eau distillée.



Réactif 3 :

Le Dodécyl sulfate de sodium (SDS), est connu aussi par le nom, lauryl sulfate de sodium : 30g de SDS dissous dans l'eau distillée jusqu'à 1l.

La solution de SDS est d'une concentration 3%.



Réactif 4 :

La solution d'acide lactique + la solution préparée de SDS (3%) :

Pour le blé tendre : 17 ml du réactif 2 + 480 ml du réactif 3



Annexe 4

L'analyse de la variance des génotypes pour les paramètres agromorphologiques et de qualité étudiés dans les 3 stations combinées

| | | | |
|---------------------------|-----|-------|----|
| Rendement | JSH | 16.76 | a |
| | SEA | 33.32 | b |
| | MCH | 63.09 | c |
| PMG | SEA | 28.67 | A |
| | JSH | 32.44 | B |
| | MCH | 40.61 | C |
| Surface des grains | JSH | 8.691 | A |
| | SEA | 9.029 | B |
| | MCH | 9.091 | B |
| Longueur du grain | SEA | 4.601 | A |
| | MCH | 4.639 | A |
| | JSH | 4.649 | A |
| Largeur du grain | JSH | 2.378 | A |
| | SEA | 2.422 | ab |
| | MCH | 2.476 | B |

MCH : Marchouch **JSH** : Jemaat Shaim **SEA** : Sidi El Aidi

| | | | |
|--------------------------|-----|-------|---|
| Taux de protéines | MCH | 12.04 | A |
| | JSH | 16.32 | B |
| | SEA | 16.38 | B |
| SDS | MCH | 11.26 | A |
| | JSH | 13.41 | B |
| | SEA | 15.16 | C |
| Poids Spécifique | SEA | 74.77 | A |
| | JSH | 76.94 | B |
| | MCH | 80.12 | C |

MCH : Marchouch **JSH** : Jemaat Shaim **SEA** : Sidi El Aidi

Annexe 5
Rendement moyen et comparaison des moyennes des géotypes dans
chaque site (en qx/ha)

| Géotype | MCH | Géotype | SEA |
|----------------|------------|----------------|------------|
| Malika | 33.33a | Najia | 28.45a |
| Najia | 40.13ab | Achtar | 28.55a |
| Achtar | 46.25abc | G-17 | 28.85a |
| Lina | 55.79bcd | Lina | 29.35ab |
| G9 | 56.17bcd | Malika | 29.45ab |
| G25 | 56.25abcd | G37 | 30.45abc |
| G68 | 58.96bcd | G17 | 30.55abc |
| G20 | 59.21bcd | G45 | 30.55abc |
| G2 | 59.92bcd | G24 | 31.05abc |
| SNINA | 60.00bcd | G35 | 31.10abc |
| G66 | 60.25bcd | G11 | 31.65abcd |
| G8 | 61.29bcd | G25 | 32.40abcd |
| G35 | 61.79bcd | G19 | 33.35abcd |
| G14 | 61.96bcd | G20 | 33.35abcd |
| G45 | 62.09bcd | G68 | 33.45abcd |
| G37 | 62.54bcd | G2 | 33.50abcd |
| G-17 | 63.50bcd | G31 | 33.75abcd |
| G13 | 65.08cd | G-31 | 34.10abcde |
| G31 | 68.29cd | SNINA | 34.10abcde |
| G24 | 69.79cd | G23 | 34.85abcde |
| G-31 | 69.83cd | G14 | 35.30abcde |
| G3 | 70.67d | G8 | 35.30abcde |
| G5 | 72.00d | G-22 | 35.50abcde |
| G11 | 72.33d | G13 | 35.70abcde |
| G23 | 72.58d | G22 | 36.45bcde |
| G22 | 72.96d | G5 | 37.65cde |
| G19 | 77.38d | G66 | 37.65cde |
| G-22 | 78.38d | G9 | 38.85de |
| G17 | 80.25d | G3 | 41.15e |

MCH : Marchouch

JSH : Jemaat Shaim

SEA : Sidi El Aidi

Annexe 6
PMG moyen et comparaison des moyennes des génotypes dans
chaque site (en g)

| Génotype | MCH | Génotype | SEA | Génotype | JSH |
|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| SNINA | 33.90a | Achtar | 21.16a | G24 | 18.27a |
| Najia | 34.11a | Najia | 21.45a | Najia | 22.21ab |
| Malika | 35.00a | Malika | 24.72b | Malika | 22.90ab |
| G3 | 36.84b | G2 | 24.76b | Achtar | 23.80abc |
| G25 | 38.03c | SNINA | 24.80b | G14 | 29.87bcd |
| G2 | 38.11c | G13 | 24.98bc | G25 | 30.08bcd |
| G19 | 38.53c | G45 | 25.43bcd | G5 | 30.55bcde |
| G13 | 38.59c | G37 | 26.61bcde | G2 | 30.99bcde |
| G-17 | 38.99cd | G19 | 26.63bcde | G-22 | 31.09bcde |
| G23 | 39.80de | Lina | 27.14bcdef | G22 | 31.53bcde |
| G24 | 39.89de | G17 | 27.42cdef | Lina | 31.89bcde |
| Lina | 39.90de | G35 | 27.87def | G37 | 31.94bcde |
| G14 | 39.94de | G24 | 27.93def | G11 | 32.21bcde |
| G9 | 40.08de | G-17 | 28.11ef | G19 | 32.21bcde |
| G22 | 40.11de | G23 | 28.47ef | G13 | 33.07cde |
| G66 | 40.74ef | G-31 | 28.95efg | G9 | 33.65cde |
| G37 | 40.78efg | G22 | 29.17efg | SNINA | 33.72cde |
| Achtar | 41.05efgh | G14 | 29.34fg | G66 | 33.78cde |
| G20 | 41.65fghi | G-22 | 29.44fgh | G35 | 33.92cde |
| G17 | 41.82fghi | G31 | 29.44fghi | G45 | 34.02cde |
| G-31 | 41.98ghi | G5 | 29.64fghij | G3 | 34.50de |
| G5 | 42.03hi | G25 | 31.26ghijk | G31 | 34.61de |
| G45 | 42.42i | G20 | 31.92hjk | G17 | 35.07de |
| G-22 | 42.69i | G8 | 32.21kl | G20 | 35.07de |
| G35 | 43.85j | G66 | 33.01klm | G-17 | 35.09de |
| G68 | 44.78j | G9 | 33.34klm | G8 | 38.06de |
| G31 | 46.18k | G3 | 34.56lmn | G-31 | 39.71de |
| G8 | 46.77k | G68 | 35.19mn | G68 | 39.72de |
| G11 | 49.18l | G11 | 36.52n | G23 | 40.48e |

MCH : Marchouch

JSH : Jemaat Shaim

SEA : Sidi El Aidi

Annexe 7
Surface moyenne et comparaison des moyennes des génotypes dans
chaque site (en cm)

| Génotype | MCH | Génotype | SEA | Génotype | JSH |
|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|-------------|
| G3 | 7.945a | G2 | 7.904a | SNINA | 7.780a |
| G25 | 8.405ab | Achtar | 7.940a | Achtar | 7.909a |
| G2 | 8.585abc | G3 | 8.194a | G22 | 8.016ab |
| G66 | 8.605abcd | G14 | 8.207a | G5 | 8.038abc |
| G19 | 8.660abcd | G-17 | 8.283a | G14 | 8.040abc |
| G9 | 8.670abcd | Najia | 8.290a | G-17 | 8.105abcd |
| G-22 | 8.700abcd | SNINA | 8.332a | Najia | 8.193abcd |
| G5 | 8.795abcd | G13 | 8.485a | G17 | 8.234abcd |
| SNINA | 8.835abcd | G25 | 8.512a | G2 | 8.238abcd |
| G20 | 8.860abcd | G8 | 8.537a | G20 | 8.297abcd |
| G11 | 8.865abcd | G35 | 8.595a | G25 | 8.423abcde |
| G-17 | 8.885abcd | Lina | 8.660a | Malika | 8.514abcde |
| G24 | 8.895abcd | G45 | 8.668a | G-31 | 8.522abcde |
| G23 | 8.930abcd | G31 | 8.708a | G35 | 8.563abcde |
| G8 | 8.981abcd | Malika | 8.717a | G13 | 8.662abcde |
| G45 | 9.055abcd | G-31 | 8.798a | G11 | 8.694abcde |
| G17 | 9.150abcd | G11 | 8.912a | G19 | 8.694abcde |
| G13 | 9.160abcd | G17 | 8.970a | G9 | 8.780abcdef |
| G31 | 9.275bcd | G-22 | 9.295a | G24 | 8.874abcdef |
| G-31 | 9.335bcd | G37 | 9.304a | G3 | 8.891abcdef |
| Achtar | 9.350bcd | G20 | 9.568a | G37 | 8.930abcdef |
| G14 | 9.515bcd | G19 | 9.667a | G23 | 8.956abcdef |
| Najia | 9.565bcd | G22 | 9.851a | G-22 | 9.030abcdef |
| Lina | 9.610bcd | G9 | 9.888a | G68 | 9.353bcdef |
| G22 | 9.690bcd | G66 | 10.116a | G8 | 9.395cdef |
| Malika | 9.701bcd | G5 | 10.237a | Lina | 9.425def |
| G68 | 9.850cd | G24 | 10.254a | G45 | 9.671ef |
| G37 | 9.865cd | G23 | 10.425a | G31 | 9.790ef |
| G35 | 9.890d | G68 | 10.522a | G66 | 10.096f |

MCH : Marchouch

JSH : Jemaat Shaim

SEA : Sidi El Aidi

Annexe 8
Taux de protéines moyen et comparaison des moyennes des génotypes dans chaque site (en %)

| Génotype | MCH | Génotype | SEA | Génotype | JSH |
|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| G8 | 9.00a | G3 | 14.25a | G31 | 14.00a |
| G11 | 9.45ab | G13 | 14.55ab | G5 | 14.50ab |
| G-31 | 9.95bc | G9 | 14.55ab | G66 | 14.65ab |
| G45 | 10.20bc | G66 | 15.05abc | G45 | 14.85ab |
| G5 | 10.45cd | G31 | 15.15abcd | G-31 | 14.95abc |
| G2 | 10.55cd | G-22 | 15.30bcd | G17 | 14.95abc |
| G-22 | 10.65cd | G11 | 15.40bcd | G24 | 15.25bcd |
| G20 | 10.80cde | G24 | 15.50cd | G22 | 15.45bcde |
| G37 | 11.15def | G8 | 15.60cd | G2 | 15.85cdef |
| G-17 | 11.30def | G45 | 15.60cd | G13 | 15.85cdef |
| G31 | 11.35def | G5 | 15.65cde | G8 | 15.95defg |
| G24 | 11.70efg | G-31 | 16.05def | G-22 | 16.10defg |
| G66 | 11.85fgh | G20 | 16.05def | G35 | 16.10defg |
| G13 | 12.05fghi | G14 | 16.10def | G37 | 16.20defg |
| G14 | 12.05fghij | G25 | 16.10def | G11 | 16.36efg |
| G35 | 12.50ghijk | G22 | 16.55efg | G19 | 16.36efg |
| G17 | 12.60ghijk | G68 | 16.60fg | G-17 | 16.55fgh |
| G9 | 12.60ghijk | Malika | 16.60fg | SNINA | 16.65fghi |
| G19 | 12.70hijk | G23 | 16.70fg | Achtar | 16.90ghij |
| G68 | 12.95ijkl | SNINA | 16.70fg | Lina | 16.95ghij |
| Najia | 13.00ikl | G17 | 17.05g | G14 | 17.35hij |
| Lina | 13.20klm | G2 | 17.10g | G25 | 17.45hij |
| G3 | 13.25klm | G35 | 17.10g | G20 | 17.45hij |
| Malika | 13.25klm | G19 | 17.40gh | G9 | 17.45hij |
| G23 | 13.65lmn | Najia | 18.10hi | G68 | 17.55ij |
| G22 | 13.80lmn | G37 | 18.25hi | Malika | 17.80j |
| SNINA | 14.00mno | G-17 | 18.55i | G3 | 17.85j |
| G25 | 14.35no | Achtar | 18.65i | G23 | 17.90j |
| Achtar | 14.70o | Lina | 18.65i | Najia | 19.15k |

MCH : Marchouch

JSH : Jemaat Shaim

SEA : Sidi El Aidi

Annexe 9
Force du gluten moyen et comparaison des moyennes des génotypes
dans chaque site en (ml)

| Génotype | MCH | Génotype | SEA | Génotype | JSH |
|-----------------|-------------|-----------------|---------------|-----------------|--------------|
| G3 | 6.75a | Achtar | 10.75a | G2 | 7.75a |
| G13 | 8.25ab | Malika | 10.75a | G-31 | 9.75ab |
| G8 | 8.25ab | G-31 | 11.25ab | G25 | 10.25abc |
| G9 | 9.00abc | G45 | 11.25ab | G8 | 10.25abc |
| G31 | 9.25abcd | G3 | 12.25abc | G-22 | 10.75bcd |
| G-22 | 9.75abcde | Najia | 12.75abcd | G45 | 10.75abcd |
| G-31 | 10.00bcde | SNINA | 12.75abcde | Malika | 10.75abcd |
| G11 | 10.00abcde | Lina | 13.00abcdef | G-17 | 11.50bcde |
| G68 | 10.25bcdef | G5 | 13.25abcdef | G24 | 11.75bcdef |
| Malika | 11.00bcdefg | G-22 | 13.50abcdefg | SNINA | 12.00bcdef |
| G-17 | 11.25bcdefg | G14 | 13.75bcdefgh | G14 | 12.25bcdefg |
| G14 | 11.25bcdefg | G19 | 14.25cdefghi | G13 | 12.50bcdefg |
| G20 | 11.25bcdefg | G35 | 14.50cdefghi | Lina | 13.25cdefgh |
| G23 | 11.25bcdefg | G13 | 15.50dfghij | G11 | 13.35cdefghi |
| G25 | 11.25bcdefg | G31 | 15.50defghij | G19 | 13.35cdefghi |
| G45 | 11.25bcdefg | G11 | 15.75fghijk | G68 | 13.50defghi |
| G66 | 11.25bcdefg | G17 | 15.75fghijk | Achtar | 13.75defghi |
| Achtar | 11.75cdefg | G20 | 15.75fghijkl | G22 | 13.75defghi |
| G2 | 11.75cdefg | G23 | 16.25ghijklm | G31 | 13.75defghi |
| G24 | 12.25cdefg | G8 | 16.25ghijklm | Najia | 14.50efghij |
| G5 | 12.25cdefg | G68 | 16.50hijklmno | G17 | 14.75fghij |
| Najia | 12.25cdefg | G9 | 16.75ijklmnop | G23 | 14.75fghij |
| G17 | 12.50defg | G25 | 17.75jklmnopq | G66 | 15.25ghij |
| SNINA | 12.50defg | G2 | 18.25jklmnopq | G3 | 16.25hij |
| G35 | 12.75efgh | G24 | 18.50kmnopq | G35 | 16.25hij |
| Lina | 13.50fgh | G22 | 18.75mnopq | G9 | 16.25hij |
| G37 | 13.75gh | G66 | 19.00mopq | G20 | 16.50ij |
| G22 | 14.25gh | G37 | 19.25pq | G5 | 17.25j |
| G19 | 15.75h | G-17 | 20.00q | G37 | 20.50k |

MCH : Marchouch

JSH : Jemaat Shaim

SEA : Sidi El Aidi

Annexe 10

Poids Spécifique moyen et comparaison des moyennes des génotypes dans chaque site (en kg/hL)

| Génotype | MCH | Génotype | SEA | Génotype | JSH |
|-----------------|---------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| G23 | 75.71a | Achtar | 69.19a | Malika | 71.71a |
| Malika | 76.18a | G23 | 70.75a | SNINA | 72.12a |
| Achtar | 76.39a | G-17 | 71.34bc | Lina | 72.29a |
| G37 | 78.60b | Lina | 71.77bcd | G25 | 74.33b |
| G25 | 78.67bc | G25 | 71.94bcde | G31 | 75.07bc |
| G35 | 78.80bcd | G37 | 72.48cdef | G66 | 75.76cd |
| Lina | 79.20bcde | G24 | 72.82cdefg | G14 | 75.96cde |
| SNINA | 79.55bcdef | G2 | 73.07cdefg | G22 | 76.04cde |
| G45 | 79.81bcdefg | G17 | 73.14defg | G2 | 76.30cde |
| G66 | 79.81bcdefg | SNINA | 73.58efgh | G-22 | 76.37cdef |
| G-17 | 79.89bcdefgh | Malika | 73.71fgh | G-17 | 76.40cdef |
| G17 | 80.02bcdegh | G14 | 73.78fgh | Achtar | 76.67defg |
| G14 | 80.12bcdefgh | G35 | 73.99fgh | G11 | 76.82defg |
| G24 | 80.19bcdefgh | G45 | 74.05fgh | G19 | 76.82defg |
| G8 | 80.41bcdefghi | G22 | 74.19fgh | G24 | 76.90defg |
| G2 | 80.54bcdefghi | G66 | 74.47ghi | G35 | 76.94defg |
| G31 | 80.91bcdefghi | Najia | 75.09hi | G3 | 76.98defg |
| G22 | 80.97bcdefghi | G19 | 75.19hij | G37 | 77.22efg |
| G9 | 80.97bcdefghi | G13 | 75.91ij | Najia | 77.35efgh |
| G11 | 81.04cdefghi | G-31 | 75.98ij | G5 | 77.70fghi |
| Najia | 81.07cdefghi | G5 | 76.83jk | G13 | 77.94ghij |
| G-22 | 81.16defghi | G-22 | 77.81kl | G20 | 78.63hijk |
| G-31 | 81.18defghi | G3 | 77.82kl | G17 | 78.70ijk |
| G3 | 81.32efghi | G31 | 77.84kl | G23 | 78.75ijk |
| G19 | 81.80fghi | G20 | 77.97kl | G68 | 78.77ijk |
| G13 | 81.86fghi | G68 | 77.98kl | G45 | 79.08jk |
| G5 | 82.22ghi | G11 | 78.02kl | G8 | 79.84kl |
| G20 | 82.31hi | G9 | 78.35kl | G-31 | 79.86kl |
| G68 | 82.77i | G8 | 79.08l | G9 | 80.60l |

MCH : Marchouch

JSH : Jemaat Shaim

SEA : Sidi El Aidi