الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Dr Yahia Fares de Médéa
Faculté des Sciences

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة يحيى فارس
كلية العلوم

Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de Master

En Sciences agronomiques

Département : Sciences de la nature et de la vie

Spécialité: Phytopathologie

Présenté par :

TANI Hadjer **GUIR Nessrine**

Thème

Comportement variétal de quelque variétés marocaines de blé dur (*Triticum turgidum* L.var.*durum*) sous un étage climatique semi-aride, zone de Beni-Slimane

Devant le Jury

Mr Kirouani Abderrezzak	MCB	Promoteur
Mme OUTTAR Fahima	MCB	Présidente
Mr KIRDI Billel	MAA	Examinateur
Mme NABI Fahima	MCA	Examinatrice

Année universitaire 2019/2020

Remerciements

Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le four sans le soutien

que nous avons reçu de la part de nombreuses personnes.

C'est avec un grand plaisir que nous tenons donc à

Remercier :

Mr kirouani.A qui nous a fait preuve une grande

Patience et ses orientations, ses encouragements ainsi que

Son soutien scientifique et moral

Mme Outtar qui nous a fait l'honneur de présider le jury.

Mr Kirdi ET Mme Nabi …. Pour avoir accepté de juger ce travail

Nous remerciements les plus sincères vont aussi aux

Travailleurs de ITGC de Beni slimane et Mlle metidji pour leurs aides et Conseils.

A tous ceux qui de près ou de loin qui ont participé à

la réalisation de ce travail, nous disons merci.

Dédicace

Dédicace Je dédie ce travail:

Mes parents :

La mère tender "Oum El Noun", qui a travaillé pour mon succès avec son amour et son soutien, tous les sacrifices et ses précieux conseils pour toute l'aide et sa présence dans ma vie.

Mon très cher père "Ahmed ", qui peuvent être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ,Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutient permanent venu de vous.

Mes plus belles tulipes et ravissent soeurs :

Soumia ,Djamila et Habiba

Les piliers de ma famille mes frères :

Said, Mohamed, Bilal et Fouad

Mes amies

:chaima ,razika ,bouchra et chaima

Toute personne qui m'aime

A mes collègues de promotion de phytopathologie 2019- 2020

NESSRINE

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à : À la personne qui est toujours avec moi, mon très cher père TANI Abdelkader qui a sacrifié ses jours et ses nuits pour mon éducation et mon bien être, et pour tout ce qu'il a fait pour moi.

À ma très chère et douce maman, qui est toujours près de moi, m'encourage, me conseille, me soutien et qui n'a jamais cessé de prier pour moi. Aucun mot ne peut exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu as fait depuis ma naissance à ce jour.

Merci maman, que dieu te garde et te protège.

A mes adorables, mes seours Imane et Sarra, mes frères Youcef et Zakaria, A toute ma famille et a tous mes amies (meriem razika et zahra) pour la patience et le dévouement dont ils ont fait preuve.

Mes chaleureux remerciements à toutes les amies et collègues, du département de science. Université de MEDEA.

HADJER

Résumé

Afin de tester le comportement de 25 variétés marocaines de blé dur (*Triticum durum* L.var. *durum*) sous un climat semi aride, nous avons réalisé une expérimentation à l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Beni Slimane (Medea) durant la campagne agricole 2019/2020. Un dispositif en bloc complètement randomisé a été adopté avec 3 répétitions. Plusieurs paramètres agro-morphologiques ont été planifiés. Les résultats de l'analyse de la variance ont montré des différences très hautement significatives pour l'ensemble des variables étudiées. L'examen visuel des maladies a révélé une panoplie de réponses résultant des variétés intéressantes comme Amjad, Jawhar, Jori et Karim qui en croisement avec nos variétés susceptibles, peuvent engendrer des transgressions intéressantes. Le choix de meilleures variétés marocaines pour chaque trait pourrait élaborer des gains intéressants, pour ce qui de la durée de la phase végétative, élargir ou raccourcie le cycle est un critère important pour la recommandation dans une région donnée, dans ce sens, la sélection de 19 variétés marocaines permet de gagner une précocité de 0.09 à 7.2 jours, parallèlement la sélection de 6 variétés marocaines permet de perdre 0.25 à 1.58 jours. Parlant de la hauteur de végétation, et pour agir sur la disponibilité de la paille auprès des animaux d'élevage, le choix de 13 variétés nous permet de gagner des hauteurs allant de 1.2 à 35.9 cm. L'adoption des variétés comme Karim, Sebeu, Anouar, cocorit, Ourgh Nachit, Hawhar, Faraj et Toumouh nous permis de gagner de 20 à 118g par rapport au rendement grains de la moyenne des variétés actuellement cultivées en Algérie (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur). Ces résultats nécessitent d'être renforcés par des études sous des conditions différentes.

Mots clés : blé dur, maladies, rendement, sélection, comportement.

Abstract

In order to test the behavior of 25 Moroccan varieties of durum wheat (*Triticum durum* L.var. *durum*) under a semi arid climate, we carried out an experiment at the Technical Institute of Field crops (ITGC) of Beni Slimane (Médéa) during the 2019/2020 season. A completely randomized block arrangement was adopted with 3 replicates. Several agro-morphological traits have been planned. The results of the analysis of variance showed very highly significant differences for all the variables studied. Visual examination of the diseases revealed panoply of responses resulting from interesting varieties like Amjad, Jawhar, Jori and Karim which in crossing with our susceptible varieties can lead to interesting transgressions. The choice of the best Moroccan varieties for each trait could produce interesting gains, for the duration of the vegetative phase, the cycle length of each varieties is an important criterion for recommendation, by the way, the selection of 19 Moroccan varieties, allows to gain an earliness of 0.09 to 7.2 days, at the same time the selection of 6 Moroccan varieties allows to lose 0.25 to 1.58 days. Speaking of the height of vegetation, and to make the straw available for livestock, the choice of 13 varieties allows us to gain heights ranging from 1.2 to 35.9 cm. The adoption of varieties like Karim, Sebeu, Anouar, cocorit, Ourgh Nachit, jawhar, Faraj and Toumouh allowed us to gain from 20 to 118g compared to the grain yield of the average of the varieties currently cultivated in Algeria (Megress, Oued Elbared, Simeto and Gta Dur). These results need to be reinforced by other studies under different conditions.

Key words: durum wheat, diseases, yield, selection, behavior.

ملخص:

من أجل اختبار سلوك 25 صنف من القمح الصلب المغربي (*Triticum durum* L.Var. *Durum*) تحت مناخ شبه جاف، أجرينا تجربة في المعهد التقني للزراعات الواسعة (ITGC) ببني سليمان (المدية) خلال عام 2020/2019. تم اعتماد تصميم تجريبي من نوع BAC مع 3 تكرارات. تم تقييم الأصناف على أساس العديد من العوامل المورفولوجية. أظهرت نتائج تحليل التباين فروق ذات دلالة إحصائية عالية لجميع المتغيرات المدروسة. كشف الفحص البصري للأمراض عن مجموعة من الاستجابات الناتجة عن سلالات مثيرة للاهتمام مثل أمجد وجوهر وجوري وكريم والتي يمكن أن تؤدي عبر تصالبها مع بعض من سلالاتنا الحساسة للأمراض إلى الحصول على سلالات جيدة ومقاومة للأمراض. يمكن أن يؤدي اختيار أفضل الأصناف المغربية لكل متغير إلى مكاسب جد مهمة. فيما يتعلق بمدة المرحلة الخضرية ، فإن توسيع دورة الصنف أو تقصيرها هو معيار مهم للتوصية في منطقة معينة ، وبهذا المعنى، اختيار 19 نوعًا مغربيًا يسمح لك بالحصول على وقت مبكر من 0.09 إلى 7.2 يومًا، وفي نفس الوقت يسمح اختيار 6 أصناف مغربية بخسارة 0.25 إلى 1.58 يومًا. عند الحديث عن ارتفاع الغطاء النباتي، وللتأثير على توفر القش للماشية، يتيح لنا اختيار 13 نوعًا لربح ارتفاعات تتراوح من 1.2 إلى 35.9 سم. إن اعتماد أصناف مثل (كريم، سيبو، أنور، كوكوريت، أورغ، ناشيت ، جوهر، فرج، وطموح) أتاح لنا تحقيق مكاسب من 20 إلى 118 غرام مقارنة مع محصول الحبوب لمتوسط الأصناف المزروعة حاليًا في الجزائر (مقرس ، واد البارد ، سيميتو وجيتا دور). يجب تعزيز هذه النتائج من خلال دراسات تحت ظروف مختلفة.

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب ، الأمراض ، المحصول ، الانتقاء ، السلوك.

Table des matières

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction……..…….13

CHAPITRE 1. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 . La culture du blé dur en Algérie..... ....**..**15

1.1.1. Surfaces et productions Algériennes de blé dur……..…… .15

1.1.2. Échange…….....17

1.2. Contraintes de la production du blé dur…….. 17

1.2.1. Contraintes abiotiques…….…… . 18

1.2.2. Contraintes biotiques…….…….....19

1.3. Mécanismes d'adaptation des stress…….....27

1.3.1. Adaptation morphologiques ……...…… ..28

1.3.2. Adaptation physiologiques…….....29

1.3.3. Adaptation moléculaires……...…. ...30

1.4. Sélection du blé dur……..31

1.4.1. Sélection pour la performance …….....31

1.4.2. Sélection pour l'adaptation au milieu …….…..……33

1.4.3. Sélection pour la tolérance des stress abiotiques……..…….……34

1.4.4. Sélection pour la tolérance des stress biotique……..…….……35

CHAPITRE 2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Etude de comportement variétal…….…….....36

2.1.1. Sites expérimentaux et matériel végétal …….…….....36

2.1.2. Mise en place des essais…….……40

2.1.3. Entretien des essais…….…….....41

2.1.4. Mesures et notations ……..……..…….....43

2.1.5. Analyse des données…….....47

CHAPITRE 3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Comportement variétal……..48

3.1.1. Variation de la pluie et de la température des sites expérimentaux..…..... …48

3.1.2. Variation des performances ……..56

CONCLUSION ……..……72

Bibliographie …… ..74

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Les importations (MT) Algériennes de blé dur durant les sept dernières années…….....…….....17

Tableau 1.2 : Modes de conservation des agents pathogènes des céréales…….....…….....25

Tableau 1.3 : Les insectes ravageurs de blé dur……...……..27

Tableau 2.1 : Variétés Marocaine utilisées étudiées……..…….....38

Tableau 2.2 : Variétés Algériennes utilisées comme témoins dans cette étude…….….....39

Tableau 3.1. Analyse de la variance de la variable « sensibilité et tolérance » vis-à-vis aux maladies…….53

Tableau 3.2. Carrés moyens (MS) de l'analyse de la variance des variables étudiées…….....56

Liste des figures

Figure 1.1 : Evolution de la production et de la consommation des blés en Algérie……..…..16
Figure1.2 : Superficies (X 10^6 ha), production (X 10^6 t) et rendement (t/ha) du blé dur en Algérie de la période 2000/01 à 2011/12…….…..16
Figure 1.3 : Oïdium de blé au niveau de tallage……...20
Figure 1.4 : la rouille jaune de blé.....…….22
Figure 1.5 : la rouille brune de blé……23
Figure 1.6 : Partie d'épi blanchi et desséchée……...……24
Figure 1.7: évolution des maladies selon le cycle de développement du blé……26
Figure 2.1: Carte des sols de la ferme expérimentale et de la production des semences……..37
Figure 2.2 : Test de levée des variétés de blé dur étudiées……..…….39
Figure 2.3 : Quelques opérations du travail du sol……..……...40
Figure 2.4 : Mise en place de l'essai au niveau de l'ITGC de Beni-Slimane……42
Figure 2.5 : dispositif expérimental de 30 variétés de blé dur randomisées complètement……41
Figure 2.6 : Stade phénologique ..……42
Figure 2.7 : Quelques opérations réalisées sur terrain…….……43
Figure 2.8 : Echelle de notation graduée de 0 à 9 pour l'estimation de l'intensité d'infestation foliaire pour le blé, le triticale et l'orge……..…45
Figure 2.9 : Estimation du recouvrement pycnidial…….…….46
Figure 3.1 : Pourcentage de levée de 25 variétés marocaines et 4 variétés algériennes de blé dur..48
Figure 3.2 : Variation de la température et de la pluviométrie mensuelles durant la campagne agricole 2019/2020….……...…….……49
Figure 3.3 : Criocère puceron et coccinelle au champ……..50
Figure 3.4 : Infestation de l'oïdium et les tâche auréolées sur le tallage de blé dur…….51
Figure 3.5 : Tolérance et sensibilité des variétés étudiées vis-à-vis les champignons phytopathogènes……..……... 54
Figure 3.6 : Evolution de l'infestation des variétés par les champignons phytopathogènes au fil du temps……..…...55
Figure 3.7 : Variation de la durée de la phase végétative des variétés étudiées…..…….…57
Figure 3.8 : Ecart par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur) de la durée de la phase végétative des variétés étudiée..……...57

Figure 3.9 : Variation du rendement des variétés étudiées……..59
Figure 3.10. Ecart par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur) du rendement des variétés étudiées……59
Figure 3.11 : Variation du poids de mille grains des variétés étudiées…….……..…..61
Figure 3.12 : Ecart par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur) du poids de mille grains des variétés étudiées……..……..……62
Figure 3.13 : Variation du nombre d'épis par m² des variétés étudiées……..……..63
Figure 3.14 : Ecart par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur) du nombre d'épis par m² des variétés étudiées……..…….64
Figure 3.15 : Variation du nombre de grains par épi (NGE) des variétés étudiées……...…...65
Figure 3.116 : Ecart par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur) du nombre de grains par épi des variétés étudiées…..……...66
Figure 3.17 : Variation du nombre de grains par m² des variétés étudiées……..…….....67
Figure 3.18 : Ecart par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur) du nombre de grains par m² des variétés étudiées…….....67
Figure 3.19 : Variation de la surface foliaire des variétés étudiées de blé dur…….….68
Figure 3.20 : Ecart par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur) de la surface foliaire (cm²) des variétés étudiées…..……..69
Figure 3.21 : La Hauteur de la végétation de des différents génotypes……..…70
Figure 3.22 : Ecart par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur) de la Hauteur de la végétation des variétés étudiées…….……70

Abréviations

FAO : Organisation de l'Agriculture et de l'Alimentation

ITGC : Institue Technique des Grandes Cultures

PMG : Poids de mille grains

Qx/ha : Quintaux par hectare.

SV : Source de variation

ddl : Degré de liberté

DVP : Durée de la phase végétative

LongF : Longueur des feuilles

LargF : Largeur des feuilles

SF : Surface foliaire

HV : Hauteur de végétation

LCE : Longueur du col de l'épi

EXT : Extrusion

LB : Longueur des barbes

LE : Longueur de l'épi

NEM² : Nombre de l'épi par mètre carré .

NGE : Nombre de grains par épi

NGM² : Nombre de grains par épi par mètre carré

RDT : Rendement

Var : Variété

Err : Erreur

CV : Coefficient de variation phénotypique.

Introduction :

Le blé est la culture la plus pratiquée dans le monde. Il occupe la première place dans la production végétale et constitue l'aliment de base de 43 pays, l'équivalent d'un tiers de la population mondiale. Il est nutritif, concentré, facile à stocker et à transporter. Il contient des hydrates de carbone (78%), des protéines (14 ,7%), des lipides (2,1%), des minéraux (2,1%) et des vitamines en quantité considérable (Alam et al., 2007).

Le blé dur est cultivé principalement sur les hauts plateaux caractérisés par de l'altitude, des hivers froids, de faibles précipitations et des températures élevées à la fin du cycle de culture, ce qui affecte sérieusement le rendement (Mekhelouf et al., 2006).

Le blé dur, comme tout organisme vivant, est influencée durant toute sa vie par les conditions environnementales du milieu, en lui assurant soit un environnement favorable à la croissance et au développement, soit la soumettre à des facteurs de stress de type abiotiques ou biotiques. Les stress de type biotiques sont dus à l'interaction de la plante avec d'autres agents agresseurs ou organismes comme les insectes, les champignons, les nématodes, les bactéries et les virus. Le blé peut être attaqué par de nombreuses maladies à différents stades de son développement. Ces attaques peuvent occasionner des pertes importantes lorsque les variétés utilisées sont sensibles et les conditions de l'environnement sont favorables à l'expansion des maladies (Ezzahiri, 2001). Les dégâts causés par les maladies et les ravageurs sont multiples et affectent la quantité et la qualité de la récolte (Dubois et Flodrops, 1987).

Les ressources génétiques représentent un patrimoine qu'il est nécessaire de préserver et d'étudier afin de mieux l'exploiter. Dans cette optique, l'étude de la diversité et la caractérisation de ces ressources génétiques sont indispensables pour créer de nouvelles variétés adaptées aux variations climatiques et résistantes aux maladies, dotées d'un rendement élevé, et de meilleure qualité (Aguiriano et al., 2006). La variation ou diversité génétique est la base de l'amélioration des cultures. Elle est importante pour la sélection et le développement de nouveaux cultivars (Liu et al., 2014).

Différents ensembles de données sont utilisés sur blé pour estimer la diversité génétique des plantes cultivées, notamment les données moléculaires (Kirouani et al., 2018), les marqueurs biochimiques (Hamrick and Godt, 1997), De nombreux chercheurs ont utilisé des traits agronomiques pour estimer la diversité génétique (Verma et al., 2014 ; Kirouani et al., 2019). La caractérisation phénotypique des différentes ressources génétiques

constituent une etape preliminaire et indispensable pour l'evaluation de l'etat de la diversité génétique dans le temps.

Elle est importante pour introduire les gènes recherchés à partir de matériel génétique diversifié dans le pool génétique existant (Thompson and Nelson, 1998). Une plus grande diversité génétique, associée à un potentiel de rendement élevé des génotypes et des composantes de rendement utiles, peuvent être utilisées dans le développement variétal. Les traits morphologiques ont été utilisés efficacement pour l'estimation de la diversité génétique et du développement variétal.

L'objectif de cette étude cible l'évaluation sous un climat semi aride la variabilité phénotypique, sur la base des caractères agro-morphologiques, d'un matériel génétique constitué de variétés d'origine marocaine comparées à des variétés cultivées en Algérie. La finalité de la recherche est de sélectionner des génotypes performants et tolérants aux maladies et d'identifier éventuellement des géniteurs ou groupes de géniteurs divergents qui, en croisements, pourraient engendrer des transgressions intéressantes.

CHAPITRE 1

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. La culture du blé dur en Algérie

1.1.1. Surfaces et productions Algériennes de blé dur :

Le blé dur (*Triticum turgidum var. durum*) est l'espèce la plus cultivée dans le bassin méditerranéen de l'Afrique du Nord (Bonjean et al., 2016). En Algérie, le blé dur occupe 45% de la sole réservée aux céréales, soit 1,6 Mha (ONFA, 2017), et qui offre une production de 2,5 millions de tonnes (CIG, 2016 in www.world-grain.com). Une moyenne de 2 MT de blé dur est importée chaque année (USDA, 2017).

En Algérie, le blé dur est cultivé dans trois régions principales : la zone littorale (600 mm), les plaines intérieures (450 à 600 mm) et le nord des hauts plateaux (350 à 450 mm). Il est conduit sous conditions pluviales subissant les effets des contraintes climatiques dont le déficit hydrique et les températures élevées de fin de cycle sont les plus dominantes (Mekhlouf et al., 2006). La superficie emblavée en céréales au titre de la campagne 2016/2017 est de 3,5 millions d'hectares. Le blé dur occupe la part la plus importante, soit 1,6 millions d'hectares (45%, ONFA, 2017).

L'Algérie est un gros consommateur de blés au monde (USDA, 2018). Avec une consommation céréalière par habitant qui a doublé au cours des 50 dernières années pour atteindre 285 kg par habitant et par an (USDA, 2016). La production nationale de blé dur, qui a été 2.5 millions de tonnes en 2014/15 et de 1.3 millions de tonnes en 2013/14 (CIC, 2015), est loin de couvrir la demande qui est de plus en plus importante. En effet la demande en blés a été multipliée par 5 depuis l'indépendance et le déficit chronique ne cesse de croitre (Figure 1.1, Chabane, 2010).

Examinées sur une période de douze campagnes agricoles, les superficies et productions déclarées de blé dur sont indiquées en figure 1.2 (Benbelkacem, 2013). Bien que la sole, emblavée en blé dur, soit relativement importante, au regard des superficies réservées à la céréaliculture, les rendements restent faibles, oscillant entre 0.70 et 1.58 t/ha.

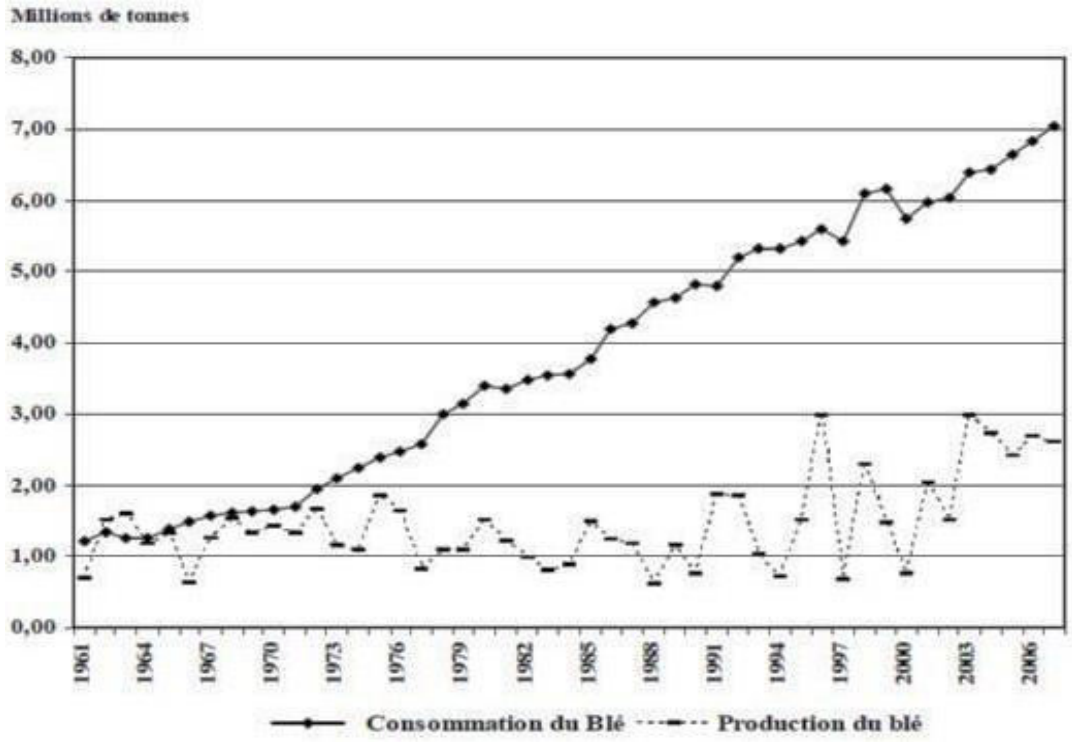


Figure 1.1 : Evolution de la production et de la consommation des blés en Algérie (Chabane, 2010).

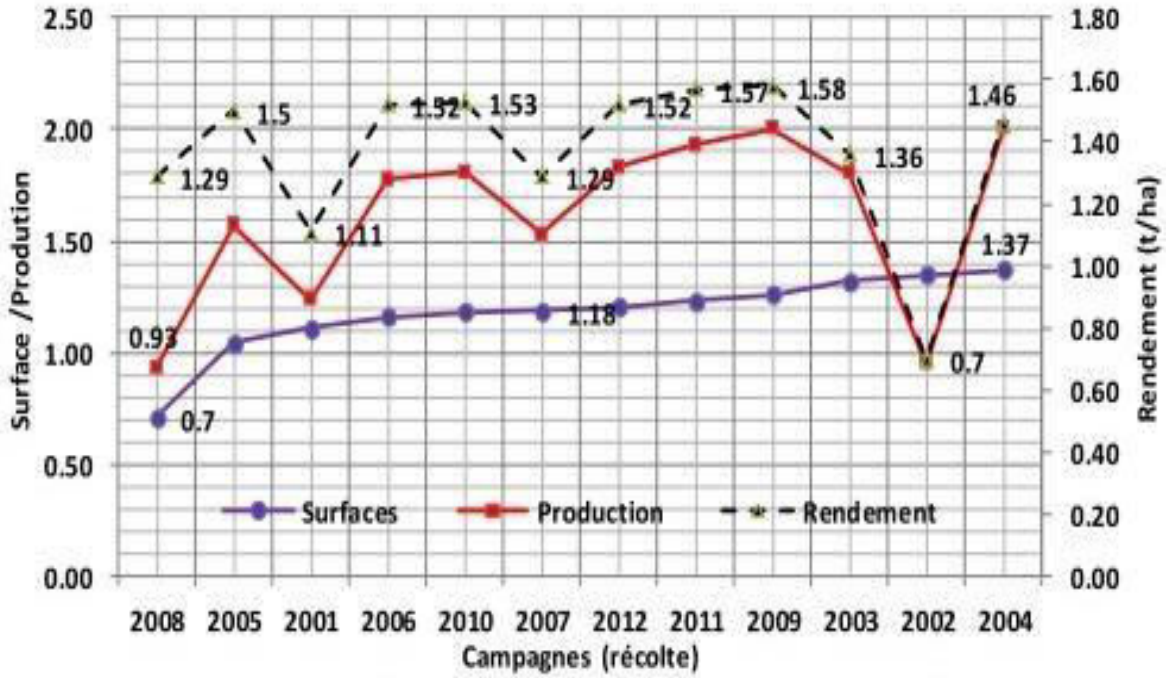


Figure 1.2 : Superficies (X 10^6 ha), production (X 10^6 t) et rendement (t/ha) du blé dur en Algérie de la période 2000/01 à 2011/12 (Benbelkacem, 2013).

1.1.2. Echanges :

En 2018, le principal fournisseur de l'Algérie en matière de blé dur, est le Canada avec 0.88 MT contre 1,2 MT en 2017. Suivi par les états unis d'Amérique avec 0.14 MT et 0.21 MT en 2018 et 2017 respectivement (soit une diminution de 30%, Tableau 1.1). (MADR, 2018)

Tableau 1.1 : Les importations (MT) Algériennes de blé dur durant les sept dernières années (USDA, 2017).

Année	Blé dur	Total blés
2016	1,796	8,226
2015	1,763	8,504
2014	1,978	7,416
2013	1,088	6,297
2012	1,580	6,269
2011	1,852	7,402
2010	1,246	5,232
Moyenne	1,614	7,049

Les importations de blés ont été multipliées par 10 en Algérie entre les années 1966-69 (698 500 tonnes) et 2000-2005 (6 796 000 tonnes), pour se situer autour de 8 millions de tonnes en 2010-2015. De fait, l'Algérie figure parmi les plus grands pays importateurs de blés au monde (MADR, 2018).

D'un cercle restreint composé de 6 pays dont les importations sont supérieures à 5 millions de tonnes/an. L'Algérie est classée mondialement en troisième rang en matière d'importation de blé tendre et en premier rang en matière de blé dur (50 % des échanges mondiaux) (MADR, 2018).

En 2017, le ratio de dépendance de l'Algérie aux importations de céréales est de 72,2 %, ce qui signifie que plus de 70 % des besoins en céréales sont couverts par les importations. Concernant les blés, la couverture des besoins nationaux en blé tendre est assurée à 78 % par les importations et à près de 45 % pour le blé dur (MADR, 2017).

1.2. Contraintes de la production du blé dur

Ezzahiri (2001) rapporte que la culture de blé est fréquemment exposée et soumise à une multitude de stress abiotiques et biotiques. Parmi les stress abiotiques qui limitent le rendement de blé, certains sont de nature climatique (gel, températures excessives et sécheresse) ou édaphique (sol pauvre, calcaire entraînant un blocage des éléments

nutritifs). Les maladies qui s'attaquent au blé sont dues à plusieurs types de pathogènes à savoir les champignons, bactéries, virus, nématodes.

1.2.1. Contraintes abiotiques

La production des céréales dépend des conditions climatiques, des caractéristiques morpho-physiologiques, phénologiques et agronomiques du génotype et en très grande partie, des interactions génotype-environnement (Slama et al., 2005).

1.2.1.1. Effet du déficit hydrique :

Le stress hydrique, affecte la teneur relative en eau de la plante, qui diminue. Cette diminution est plus importante chez les plantes sensibles comparativement à ce qui est noté chez les plantes dites tolérantes (Schonfeld et al., 1988), plusieurs changements apparaissent chez les plantes soumise au stress hydrique, dont entre autres, un changement de forme et d'orientation du feuillage (Gate, 1993), une réduction de la surface foliaire (Granier et al., 2000) et une augmentation de la rigidité des parois cellulaires (Cosgrove et al., 2005). Au cours de la floraison, la sénescence des feuilles et la réduction de l'activité photosynthétique sont aussi signalées (Nachit et al., 1992). Bousba et al. (2009) indiquent qu'une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur sous stress hydrique, suivie par une augmentation de la teneur en proline foliaire (Tahri et al., 1997).

À la montaison, le déficit hydrique réduit le nombre d'épis par unité de surface. Au stade épiaison, il cause la stérilité des fleurs réduisant le nombre de grains par épi (Debaeke et al., 1996). Au cours de la phase de remplissage du grain, le déficit hydrique réduit le poids de mille grains, causé par l'arrêt de la migration des assimilas produit par la feuille étendard vers le grain (Day et al., 1981). Il réduit aussi la durée de remplissage (Triboï et al., 1990). Au cours du remplissage des grains, le manque d'eau a pour conséquence une réduction de la taille des grains (échaudage), réduisant par conséquent le rendement (Gate ,1993)

1.2.1.2. Effet de basses températures

Le terme « basses températures » couvre une large gamme de niveaux de températures. La culture du blé dur est potentiellement sujette aux effets des basses températures de la levée au stade épiaison. Au cours du cycle, l'intensité du stress varie, ainsi que le degré de sensibilité de la plante qui est en fonction du stade végétatif considéré.

Les températures élevées accélèrent la croissance des plantes et raccourcissent les stades de développement (Parent et al., 2012). Au-dessus de 30°C, elles diminuent le poids du grain en réduisant la durée de remplissage du grain (Balota, 2007). Au-delà de 32°C, des dommages irréversibles, sont observés, pouvant aller jusqu'à la destruction de l'organe touché ou de la plante (Wardlaw et al., 1998).

Le rendement du blé est réduit de 0.2t/ha par jour, dès que la température dépasse les 34°C, pendant la période pré-anthèse (Asseng et al., 2010). Cette baisse est due à la réduction du poids du grain et du nombre de grains, suite à la sénescence rapide du feuillage (Hays et al., 2007). La réduction du nombre de grains produit par m² est due à la sensibilité du pollen aux températures élevées qui le stérilisent (Abbassenne et al., 1997).

L'abaissement de la température, au dessous de 0°C, engendre des perturbations physiques et biochimiques au niveau cellulaire. Le gel provoque la déshydratation et la destruction des cellules. La déshydratation résulte de la migration de l'eau des cellules vers les méats intercellulaires. Par contre la destruction des cellules provient de l'action mécanique des cristaux de glaces formés suite à l'abaissement de la température (Gazeau, 2002).

1.2.2. Contraintes biotiques :

En absence de mesure de lutte, les pertes potentielles dues aux maladies, aux animaux ravageurs et aux plantes adventices sont estimées de 50 à 80% de la production potentielle (Faostat, 2018).

1.2.2.1. Les champignons :

Les champignons sont parmi les ennemis redoutables, qui engendrent des pertes Considérables à la culture du blé si les conditions de développement des pathogènes sont favorables. Les principales maladies fongiques répandues en Algérie sont comme suit :

- **L'oïdium**

L'agent causal de l'oïdium est un champignon ascomycète, parasite obligatoire qui passe l'été au repos végétatif sur les feuilles sénescentes sous forme de fructifications noires (cleistothèces). Les symptômes se présentent sous forme de poudre blanche sur les organes aériens. C'est une maladie qui se développe beaucoup lorsque l'humidité est moyenne ; les températures favorables sont comprises entre 15 et 20°C (Nasraoui, 2008, Figure 1.3).

Les premiers symptômes d'*Erysiphe graminis f.sp.tritici* apparaissent sous forme d'un duvet blanchâtre ou gris pâle sur les limbes des feuilles basales, puis se développent sur les feuilles des étages supérieurs (Aouali et Douici-Khalfi, 2009). En cas d'attaque sévère les

taches apparaissent aussi sur les gaines des feuilles et les glumes des épis (Ezzahiri, 2001 ; Aouali et Douici-Khalfi, 2009).

Les semis précoces favorisent une forte colonisation par le champignon au printemps, un semis dense le favorise durant la phase de croissance principale. La formation des conidies exige environ 5 jours à 15° C à partir du début de l'infection (Hennouni, 2012).



Figure 1.3 : Oïdium de blé au niveau de tallage (France division Agro BASF, 2015)

- **Les Rouilles :**

Les rouilles sont des parasites biotrophes obligatoires et endophytes causées par des champignons Basidiomycètes de l'ordre des Urédinales. Les rouilles sont parmi les maladies les plus dévastatrices du blé. Le développement épidémique peut avoir lieu dans certaines régions occasionnant des pertes pouvant aller jusqu'à 25% (Sayoud et al., 1999).

Différents types de rouilles peuvent infecter le blé :

Rouille noire :

Les symptômes de *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* se manifestent par des pustules pluslongues que celles de la rouille brune, elles sont de couleur rouge-brique à marron foncé. Elles se développent sur les feuilles, les tiges et les épis (Aouali et Douici-Khalfi, 2009 ; Ezzahiri, 2001).

Selon Belaid (1996), la rouille noire est favorisée par l'eau et la chaleur. Variétés Mahons sont sensibles à la rouille noire, de même que $Hedba_3$ et $Bidi_{17}$. Les blés à courte paille tels

que *Strampelli Inia*, Siete-Cerros et Saba sont résistants à cette maladie. L'hôte alternatif est *Berberis vulgaris* (Aouali et Douici-Khalfi, 2009).

Les cycles des rouilles sont complexes et impliquent souvent un hôte principal et un hôte alternatif, seule la rouille jaune ne connait pas d'hôtes alternatifs.

Le développement des épidémies des rouilles est tributaire de la nature et de la qualité de l'inoculum primaire, de la sensibilité de la variété cultivée, du stade de développement du blé au moment de l'infection primaire et des conditions climatiques (Aouali et Douici-Khalfi, 2009).

Ces mêmes auteurs signalent que la rouille jaune est plus conditionnée par le milieu que les autres espèces de rouille, et nécessite des températures plus basses. En absence D'hôtes alternatifs, l'agent pathogène doit se conserver sous forme de cycles végétatifs

Rouille jaune :

Causée par le champignon : *Puccinia striiformis* Les symptômes de *Puccinia striiformis* se traduisent par de nombreuses et très petites pustules sporifères de forme globuleuse et de couleur jaune ou orange, disposées en stries le long des nervures des feuilles d'où le nom de l'espèce. Elles peuvent aussi se développe sur la face inférieure des feuilles sur les épis et les grains (Aouali & Douici-Khalfi, 2009, Figure 1.4).

Ces pustules sont les urédies du champignon qui libèrent les urédospores après éclatement de l'épiderme. Au fur et à mesure que le blé mûrit, jaunit et se dessèche, des pustules noires généralement non déhiscentes apparaissent. Ce sont les télies productrices des téleutospores (Nasraoui, 2008).

Des humidités élevées et des températures entre 5 et 15 °C sont favorables à l'infection qui n'est pas transmise par les semences (Nasraoui, 2008).



Figure 1.4 : Rouille jaune de blé (France division Agro BASF, 2015)

Rouille Brune :

Cette maladie est causée par *Puccinia recondita* (Zillinsky, 1983), C'est la plus importante des trois rouilles et c'est la plus répandue dans le Maghreb. Le développement épidémique de cette maladie peut avoir lieu dans certaines régions occasionnant des pertes pouvant aller jusqu'à 25% (Sayoud et al., 1999). Les pertes en grains peuvent atteindre les 50% mais le plus souvent 15 à 20%. La maladie peut avoir de graves conséquences comme la diminution du poids spécifique, et la qualité du grain (Allioui, 1997).

Les symptômes causés par ce champignon se caractérisent par petites pustules circulaires ou ovales de couleur orange ou brune (urédospores), apparaissent sur la face supérieure des feuilles et parfois sur la face inférieure des feuilles. En fin de saison, ces pustules prennent une couleur noire (téleutospores) (Aouali & Douici-Khalf, 2009, Figure 1.5).



Figure 1.5 : Rouille brune de blé (France division Agro BASF, 2015)

- **Les septorioses :**

Le pathogène responsable de la septoriose des feuilles, connue sous le nom de la tache septorienne est Septoria tritici. Les attaques sont surtout observées dans les zones humides (Aouali & Douici-Khalfi, 2009). Les pertes de rendement peuvent aller jusqu'à 40 % (Ezzahiri, 2001).Elle peut causer des chutes de rendement allant jusqu'à 50% (Sayoud, 1987). L'agent pathogène peut être présent sous deux formes, la forme sexuée *Mycosphaerella* B*graminicola* et la forme asexuée Zymos*eptoria tritici* (Allioui, 2015).

- **La fusariose :** Causée par les champignons *Fusarium sp*

Les symptômes observée sur blé et orge, cette maladie peut être à l'origine d'une fonte de semis où les plantules se nécrosent et meurent juste après la germination des semences ou à la levée. Elle peut aussi entraîner des attaques de type piétin caractérisées par des infections au niveau du collet et de la base des tiges associée à des pourritures racinaires.

Selon les espèces de Fusarium et des conditions de l'attaque, les racines, le collet et la base des tiges peuvent brunir et parfois pourrir et former à l'intérieur et au niveau du premier entre-nœud un duvet blanchâtre, blanc grisâtre ou blanc rosâtre formé par le mycélium et les sporodochies. Également, l'infection peut concerner ou non une partie ou la totalité de l'épi qui blanchit et se dessèche prématurément en formant des grains échaudés (Figure 1.6). Le champignon infecte alors les grains et peut y produire des poisons appelés mycotoxines capables de causer des problèmes graves au niveau de la santé humaine et

animale et lorsque l'attaque est précoce, les épis formés sont stériles (Nasraoui, 2008).



Figure 1.6 : Partie d'épi blanchi et desséchée (Syngenta, 2015).

- **Maladie de taches auréolées :**

La tache helminthosporienne est une grave maladie foliaire du blé causée par le champignon Pyrenophora tritici-repentis. Elle est désignée par l'appellation anglo-saxonne 'Tan Spot', la maladie de la tache bronzée ou maladie de la tache jaune (Sayoud et al., 1999).

Les symptômes observée sur blé, cette maladie se caractérise par l'apparition sur les feuilles de petites taches allongées qui sont d'abord brun jaunâtre puis de plus en plus bronzées en s'entourant d'une marge jaune clair. Ces taches évoluent ensuite en lésions qui deviennent coalescentes. Alors les feuilles se nécrosent progressivement du haut vers le bas et meurent (Nasraoui, 2008).

1.2.3. Modes de conservation des agents pathogènes des céréales :

Les champignons parasites sont responsables de mycoses dénommées de façon trop générale« Maladies cryptogamiques ». Chez les végétaux, ces maladies se traduisent par des symptômes qui sont la résultante de l'action parasitaire du champignon et de la réaction de l'hôte (Bailly, 1980, Tableau 1.2).

En absence de la plante-hôte, les champignons responsables des maladies des blés se conservent dans différents supports comme la semence, les débris et le sol. Le mode de conservation est important à connaitre, puisqu'il détermine, en partie la stratégie de lutte à adopter (Ezzahiri, 2001)

Tableau 1.2 : Modes de conservation des agents pathogènes des céréales (Ezzahiri, 2001)

Mode de conservation	Agents pathogènes	Maladies
Sol	*Fusarium culmorum Fusarium graminearum*	Pourritures racinaires
	Cochlio bolussativus	Charbon foliaire
Semence	*Ustillago nuda*	Charbon nu
	Tilletia caries	Carie
	Tilletia caries	Septoriose des épis (glume blotch)
Chaumes	*Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*	Oïdium des feuilles (leaf blotch)
	Septoria nodorum	Septoriose des épis (glume blotch)
	Pyrenophora tritici-repentis	Tache bronzée
Chaumes + hôtes alternatifs	*Puccinia triticina*	Rouille brune
Repousses des plantes hôte	*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*	Rouille noire
	Puccinia striiformis	Rouille jaune

Le tableau 1.2 résume les modes de conservation des agents pathogènes des céréales, et l'évolution des maladies en fonction du cycle de développement du blé est décrite dans la Figure 1.7.

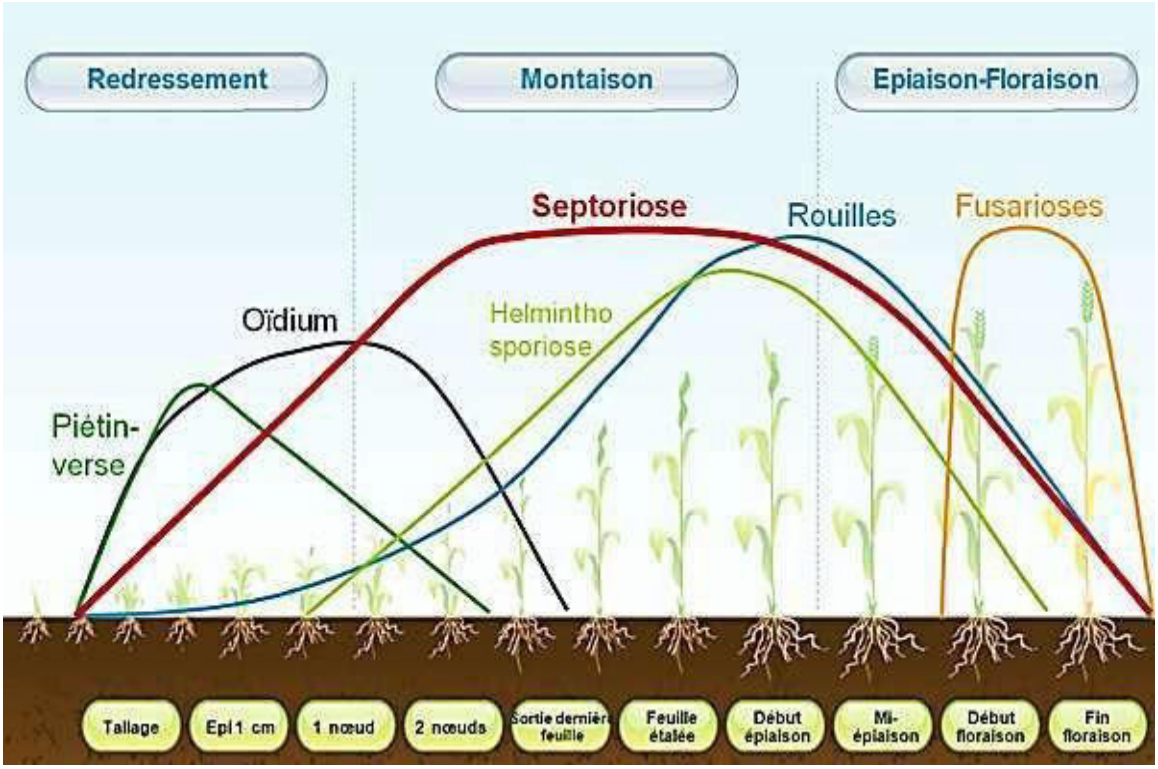


Figure 1.7: évolution des maladies selon le cycle de développement du blé (Ezzahiri, 2001).

1.2.2.3. Les nématodes :

Des céréales comprennent le nématode à kyste de céréales sédentaires (NCF) (*Heterodera spp*), qui est complexe, avec plusieurs espèces et pathotypes, et deux espèces de nématodes des racines endoparasites migrateurs (RLN) (*Pratylenchus thornei*, P. *neglectus*), sans variation de pathotype connue. Les deux NCF et RLN ont une distribution mondiale et peut causer des pertes de rendement significatives dans le blé, et les pertes économiques notables dans des conditions de stress, c'est à dire, avec une mauvaise nutrition du sol ou de la structure, la température, ou un stress hydrique (Paulitz et al., 2002; Nicol et Ortiz-Monasterio, 2004).

1.2.2.4. Les virus :

Le virus de la mosaïque du blé soilborne (SWMV) et le virus de la mosaïque jaune du blé (WYMV) sont les plus importants qui se trouvent dans les pays en développement. BYDV, transmis par les pucerons, y compris *Rhopalosiphum padi*, est peut-être le plus répandu et bien connu maladie virale (Henry et Plumb, 2002). En cas d'infection précoce, le nombre de talles peut être réduite et les plantes sont un retard de croissance, mais dans les cas d'infection tardive, l'effet sur le rendement est moindre.

1.2.2.5. Les insectes :

De nombreux insectes ont été décrits sur le blé dans le monde entier (Tableau 1.3). Bien que les dommages causés par la plupart de ces insectes est soit insignifiante ou limitée à des zones isolées, d'autres parasites dans félit rendement grave et les pertes fourragères. Dans certaines régions, puceron vert (*Shizaphis graminum*) et les pucerons du blé russe (*Diuraphis noxia*) causent des dommages en injectant une toxine quand ils se nourrissent de feuilles. En Afrique du Nord, la région méditerranéenne occidentale, Jute fly (*Mayetiola destructor*) peut causer des dommages significatives; il provoque talles cesser de croître, les noyaux de fi arrêt du remplissage, ou des tiges à déposer. (Miller et Pike, 2002).

Tableau 1.3 : Les insectes ravageurs de blé dur (Doumandji et Doumandji- Mitiche, 1994b)

Ordre	Nom commun	Nom scientifique	Partie attaquée
Orthoptères	Criquet pèlerin	*Schistocerea gregaria*	Toute la plante
	Criquet migrateur	*Locusta migratoria*	Feuilles et tiges
Coléoptères	Ver blanc	*Zabrus tenebriodes*	Feuilles et tiges
Hémiptères	Punaise	*Eurygaster sp.*	Epis
Lépidoptères	Noctuelle des céréales	*Spodoptera sp.*	Epis
	Noctuelle terricole	*Agrotis segetum*	Tige et feuilles
	Noctuelle	*Sesamia nanagroides*	Epis
Thysanoptères	Thrips	*Angullulina tritici*	Epis

1.3. Mécanismes d'adaptation aux stress :

La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et, du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (Hsissou, 1994). La résistance à la sécheresse est liée à la capacité d'une variété à développer un nombre élevé de mécanismes d'adaptation et non pas à la présence d'un mécanisme donné (Hayek et al, 2000).

La résistance globale d'une plante vis-à-vis du déficit hydrique est la résultante de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques. Ces dernières s'interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de la production (Passioura ,2004).

1.3.1. Mécanismes morphologiques :

L'effet de la sécheresse peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilats. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine : réduction de la surface foliaire et du nombre de talles, enroulement des feuilles et/ou meilleur développement du système racinaire.

Des travaux effectués ont montré que les variétés ayant un système racinaire le plus développé en conditions de déficit hydrique peuvent donner le rendement le plus élevé (Slama, 2002). Cette caractéristique revêt une importance particulière pour les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques durant le cycle de croissance (El Fakhri et al., 2010). L'exploitation d'un plus grand volume de sol permet à la plante de satisfaire ses besoins en eau, de maintenir ses échanges gazeux et sa croissance en conditions de sécheresse (Annerose, 1990).

D'autres auteurs trouvent que la surface foliaire détermine progressivement à la fois les quantités d'eau utilisées par la plante sous forme de transpiration et les quantités de carbone fixées par voie photosynthétique (Benmahammed et al., 2008). Les résultats de Mouellef (2010) montrent que le stress hydrique a entraîné une réduction de la surface foliaire.

L'enroulement foliaire, qui est fréquent chez de nombreuses plantes cultivées (Belkherchouche et al., 2009), peut donc être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation (Monneveux et This, 1997). Chez le blé, l'enroulement foliaire observé chez certaines variétés résistantes est un des mécanismes d'économie d'eau (Clarke, 1986).

1.3.2. Adaptations physiologiques :

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante (Henchi, 1987). L'augmentation de la production, dans ces conditions, dépend des mécanismes de tolérance qui assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire (Sorrells, 2000). Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration (Turner, 1986).

La réduction de la perte en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes à la sécheresse. Cette diminution de la transpiration peut engendrer une réduction de la photosynthèse. Ainsi, les génotypes qui ont la capacité photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le déficit hydrique présentent une efficience de l'utilisation de l'eau (photosynthèse/transpiration) plus élevée et une plus grande capacité de survie (Araus, 1998). L'augmentation du nombre de stomates par unité de surface pourrait être un des facteurs de résistance au déficit hydrique chez les céréales si elle est accompagnée par une bonne activité physiologique (Slama, 2002).

Les stomates sont constitués de deux cellules affrontées qui peuvent ainsi se déformer sous l'effet de variations de leur pression hydraulique interne et ouvrir plus ou moins l'ostiole à travers lequel s'échappe l'eau transpirée (Durand, 2007). La fermeture des stomates est déclenchée par une diminution du potentiel hydrique du mésophile. L'accumulation d'ABA dans un organe, chez les plantes en conditions hydriques limitantes, est due d'abord à une augmentation de sa synthèse, mais peut être aussi le résultat d'une diminution de sa dégradation ou d'une augmentation de son importation à partir d'un autre compartiment (Cornic, 2008).

La teneur relative en eau correspond à une signification physiologique directe de l'état hydrique du végétal (Collinson et al., 1997). Les génotypes qui maintiennent leur TRE élevée lors du stress hydrique seront probablement les plus tolérants et seront les plus productifs (Sassi et al., 2012). Benmahammed et al., (2008) notent que la corrélation positive entre la teneur relative en eau et la biomasse accumulée indique, qu'en général, l'accumulation de la biomasse sous stress est dépendante du contenu foliaire en eau. Les variétés de blé dur semblent présenter une meilleure résistance à la déshydratation foliaire que les variétés de blé tendre, et cette supériorité se manifeste essentiellement au stade de

l'épiaison où la diminution de la teneur foliaire en eau chez le blé dur est significativement moins importante que celle enregistrée chez le blé tendre (Alem et al., 2002).

Chez le blé dur, la résistance à la sécheresse au sein de la plante entière dépend, du moins en partie, de l'existence de mécanismes opérant au niveau cellulaire (Bajji et al., 2000). L'intégrité des membranes en condition de stress constitue une approche indispensable pour l'évaluation de la capacité de tolérance à la sécheresse d'un matériel donné (Annerose, 1990). L'intérêt de ce mécanisme n'est pas seulement d'améliorer la capacité de la plante à supporter une déshydratation mais il devrait aussi contribuer à favoriser ses capacités de reprise à l'arrêt de la sécheresse (Annerose, 1990).

1.3.3. Adaptation moléculaire :

Les solutés responsables de la régulation osmotique sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés (proline, glycine-bétaine), des sucres solubles et certains constituants inorganiques (Richards et al., 1997). La fonction principale des solutés compatibles est d'empêcher la perte d'eau pour maintenir la turgescence cellulaire et à maintenir le gradient de reprise en eau dans la cellule.

Ces accumulations de métabolite dans les cellules conduisent à une augmentation du potentiel osmotique et ont finalement abouti à une plus grande capacité d'absorption d'eau par les racines et l'économie d'eau dans les cellules (Seyed et al., 2012). L'ajustement osmotique apparait aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse (Monneveux et This., 1997).

L'accumulation de proline est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez les plantes pour limiter les effets du stress hydrique. Selon (Tahri et al., 1997) l'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires: stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines. Un déficit hydrique plus grave amplifie davantage l'accumulation de la proline dans les tissus foliaires (Hireche, 2006).

Outre son rôle osmotique, la proline semble aussi avoir un rôle dans l'enroulement foliaire, constituant un mécanisme de limitation de la transpiration chez les céréales, qui serait lié à l'accumulation d'acide abscissique (ABA) au niveau des feuilles. Elle pourrait en outre jouer plusieurs rôles dans le métabolisme intracellulaire, dans la protection des membranes et des systèmes enzymatiques, et favoriserait la reprise après réhydratation (Lepoivre, 2003).

Les sucres peuvent Servir de composés solubles compatibles pour cet ajustement osmotique (Dubos, 2001). Généralement, on pense que l'accumulation de sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse de réserves (en particulier, d'amidon) mais aussi une modification du métabolisme carboné, la dégradation de polysaccharides et une réduction de l'utilisation de carbohydrates plus importante que la réduction de la photosynthèse en conditions de déficit hydrique (Lepoivre, 2003). De nombreuses études ont mis en évidence l'accumulation de sucres solubles lors de la dessiccation. Une idée principale en ressort: différents sucres solubles peuvent être présents dans des tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation (Dubos, 2001). Berka et Aïd (2009) montrent que la teneur en sucres solubles des feuilles des plants stressés augmente régulièrement et d'une manière significative en fonction de la diminution de la teneur relative en eau.

1.4. Sélection du blé dur

1.4.1. Sélection pour la performance

Rendement grain

Selon Li et Gill (2004), le rendement en grains est le caractère agronomique le plus important et le plus complexe, il est contrôlé par de nombreux gènes, à action additive, de dominance, d'épistasie et de l'interaction génotype × environnement (G×E). La réponse à la sélection directe sur la base du rendement grain est efficace dans des conditions de milieu relativement plus stables et qui se répètent de façon régulière. L'inefficacité de réponse à la sélection directe est expliquée par les interactions génotype x environnements qui réduisent le gain génétique réalisé (Ceccarelli et al., 2010). L'interaction amenuise la variance génotypique et l'héritabilité du rendement (Benmahammed et al., 2010).

Monneveux et This (1995) suggèrent de sélectionner sur la base d'autres caractères qui présentent une héritabilité plus élevée et une corrélation significative avec le rendement. La connaissance des liaisons qui existent entre les composantes et le rendement permet d'identifier les composantes à utiliser comme critères de sélection (Mekhlouf et al., 2000). Ainsi, la sélection simultanée pour le nombre d'épis et le nombre de grains par épi, qui sont négativement liés entre eux, mais sont positivement corrélés au rendement, pourrait identifier des génotypes plus performants et plus réguliers (Bahlouli et al., 2005 ; Kirouani et al., 2019). La taille du grain est un des premiers critères de sélection, et le facteur principal qui a mené à la domestication des premières espèces de culture (Hancock et al.,

2004). Cependant, ce caractère reste peu maitrisé suite aux effets combinés de la compensation avec le nombre de grains par épi et le nombre d'épis et les effets des stress de fins de cycle (Benbelkacem et Kellou, 2001).

Biomasse aérienne

La biomasse présente un intérêt en sélection aussi bien que le rendement vu qu'elle influence le rendement (Mekhlouf et al., 2000). Les génotypes dotés d'une forte capacité de tallage herbacée réduit le rendement grain, c'est une source de surconsommation d'eau (Wang et al., 2005). Cependant une bonne capacité de tallage-épis produit mieux, dans les milieux semi-arides (Hadjichristodoulou, 1985). Une hauteur de paille importante est un caractère désirable en zone semi-aride, suite à ses effets bénéfiques, c'est un caractère lié à la tolérance à la sécheresse (Annichiarico et al., 2005 ; Kirouani et al., 2019), mais au détriment du rendement en grains (Kirouani et al., 2019). Fischer et Maurer (1978) rapportent, un col d'épi long indique la résistance contre la sécheresse, ils proposent la longueur du col de l'épi comme critère de sélection des génotypes tolérants au déficit hydrique. La longueur des barbes semble aussi liée intimement à la tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (Hadjichristodoulou, 1985). Ce caractère, peut être employé comme un indice de sélection en cas du déficit hydrique pour obtenir un rendement élevé (Gate, 1995). Les génotypes à petite surface foliaire tolèrent mieux le déficit hydrique par rapport aux variétés à grande surface foliaire (Ghennai et al., 2017).

Qualité technologique

La teneur en protéine du blé est un critère de qualité très important, la variété est le principal facteur déterminant sa variabilité (Barbottin, 2004), cependant plus la teneur en protéine est élevée meilleure est la qualité (Mahaut, 1996). La moucheture est un phénomène spécifique au blé dur. La résistance à la moucheture est aussi un caractère variétale (Hardouin et al., 2002), Le mitadinage est un phénomène qui influe sur la qualité du grain en rendant très mauvaise, une bonne maîtrise de la fertilisation azotée peut réduire ce phénomène (Bernicot et Braune, 1994). Une variété à fort indice de jaune est recherchée puisque il permet de développer des variétés riches en caroténoïdes et donc dotées de propriétés bénéfiques pour la santé humaine (Hardouin et al., 2002). Les variétés algériennes comme Saoura et Oued Elbared sont connues pour leur contenu élevé en pigments jaunes (Kirouani et al., 2020).

1.4.2. Sélection pour l'adaptation au milieu :

Pour le sélectionneur une bonne variété doit être stable dans le temps et adaptée dans l'espace. La stabilité dans le temps la rend attractive pour l'agriculteur dont l'objectif est d'obtenir un haut rendement régulièrement. Par contre le semencier cherche une variété qui soit adaptée à une large zone de production pour intéresser le plus grand nombre d'agriculteurs (Witcombe et al. 2004). Cependant adaptabilité, stabilité et haut rendement grainier ne sont pas toujours positivement corrélées (Sinebo, 2005). Les variétés stables et adaptées sont les moins productives. Elles répondent moins à la fertilité du milieu (Menad, 2008). Dans ce contexte l'adaptabilité est liée à la tolérance des stress (Annichiarico et al. 2002). De ce fait, la sélection pour l'adaptabilité reste basée sur les caractères indicateurs de la tolérance des stress.

Selon Brancourt-Hulmel (2000), on dénombre plusieurs gènes d'adaptation spécifique : ceux de la précocité qui permettent l'évitement de la contrainte ou bien les gènes de la résistance au froid hivernal qui concernent l'adaptation à la contrainte climatique ou à l'agent pathogène. Une croissance active en début du cycle nécessite une moindre sensibilité aux basses températures (Canterro-Martinez et al. 1995). Elle améliore l'utilisation de l'eau et permet une production de biomasse aérienne plus importante (Oosterom et Acevedo, 1992). Par ailleurs, une moindre sensibilité à la photopériode permet à la variété d'épier plus tôt, et donc d'être moins exposée aux stress abiotiques de fin de cycle (Ceccarelli et al. 1998). À l'opposé, les variétés ayant des besoins en vernalisation ou en longueur de jour élevés ont une croissance végétative importante qui ne s'exprime que tardivement lorsque leurs besoins en froid et en photopériode sont satisfaisants (Oosterom et al. 1993). Ces variétés sont, en général, assez tardives, ce qui leur permet d'esquiver les périodes de gel tardif ; en revanche, elles subissent les effets de la sécheresse et des hautes températures de fin de cycle (Mekhlouf et al. 2006).

Parmi les alternatives permettant d'améliorer les rendements en grains, des régions arides et semi- arides où les ressources en eau sont rares, figurent le développement et la sélection de variétés plus économes en eau (Passioura, 2004).

Des augmentations significatives des rendements sont possibles, dans les milieux contraignants, si la sélection est faite pour l'adaptation spécifique (Araus et al., 1998; Annichiarico et al., 2002).

1.4.3. Sélection pour la tolérance aux stress abiotiques :

Tolérance au manque d'eau

Les variétés du blé dur tolérantes au stress hydrique, sont celles qui sont capables de perdre le moins d'eau dans le temps et l'espace (El hakimi et al., 1995), ou avoir une bonne utilisation de l'eau sous contrainte hydrique (Araus et al., 2002). Pour améliorer le rendement en grains, dans les zones où les ressources hydriques sont faibles, la sélection de variétés plus économes en eau est une solution alternative (Richards et al., 2002).

L'ajustement osmotique est proposé comme critère pour sélectionner les populations tolérantes en ségrégation à la contrainte hydrique (Moinuddin et al., 2005). Les lignés à capacité élevée d'ajustement osmotique présentent une plus grande performance de rendement grain en conditions de stress (Morgan, 1984). Les épis ont une utilisation efficiente de l'eau plus élevée que celles des feuilles, ils contribuent avec 40% du carbone totale sous stress hydrique (Evans et al., 1975). Le col de l'épi, a été souvent proposé comme critère de sélection des génotypes tolérants au stress hydrique (Fischer and Maurer, 1978).

Tolérance aux températures élevées de fin de cycle

Plusieurs caractères physiologiques ont été proposés comme indicateurs associés à la tolérance au stress thermique. L'intégrité cellulaire donne une mesure de la quantité d'électrolytes qui s'échappent passivement de la cellule endommagée par le stress thermique. Les résultats de ce test sont corrélés avec la productivité sous stress thermique (Fokar et al., 1998).

La stabilité de la chlorophylle est une caractéristique qui est employée en sélection pour la tolérance et l'adaptation au stress thermique (Acevedo et al., 1991). Selon Fokar et al. (1998), le contenu en chlorophylle diminue après l'anthèse quelques soit le traitement ou le génotype mais cette baisse est accentuée chez les génotypes sensibles au stress thermique. Il montre une corrélation significative avec le rendement grain sous stress thermique (Reynolds et al., 1994). Annichiarico et al. (2005) annoncent que la hauteur de la végétation considérée comme un caractère clé de l'adaptation au stress lié à la sécheresse terminal.

Tolérance des basses températures hivernales et du gel printanier

L'amélioration de la résistance des cultures d'hiver vis-à-vis les basses températures, contribue à limiter les conséquences des fluctuations inévitables du climat (Hervé, 1991). Il est effectivement un critère de différenciation du comportement des variétés (Doussinault et al., 1992). Cependant ce critère est difficile à améliorer, mais il existe des sources de résistance issues des variétés de pays de l'est peuvent être utilisées. Les variétés tolérantes au froid sont recherchées dans les zones des hauts plateaux, où les gels printaniers peuvent être importants certaines années (Hardouin et al., 2002). L'adaptation variétale est liée à une croissance hivernale permettant de valoriser les eaux de pluie. Une croissance active en début du cycle nécessite une moindre sensibilité aux basses températures (Canterro-Martinez et al., 1995). Les variétés ayant des besoins en vernalisation ont une croissance végétative importante qui ne s'exprime que tardivement lorsque leurs besoins en froid sont satisfaits (Oosterom et al., 1993). Ces variétés sont, en général, assez tardives, ce qui leur permet d'esquiver les périodes de gel tardif ; en revanche, elles subissent les effets de la sécheresse et des hautes températures de fin de cycle (Mekhlouf et al., 2006).

Sélection pour la tolérance des stress biotiques :

Lorsque le sélectionneur cherche à anticiper les problèmes, par exemple pour améliorer la résistance contre des maladies dans des régions où le pathogène n'existe pas encore, l'emploi de la sélection assistée par les marqueurs (SAM) est incontournable (Feuillet et al., 2003). Schachermayer et al. (1994) mentionnent que des gènes de résistance à la rouille brune ont été introgressés chez le blé à partir d'espèces sauvages apparentées, Lr9 provenant d'*Aegilops umbellulata* et Lr24 d'*Agropyron elongatum*. Après plusieurs rétro croisements successifs, ces résistances ont ensuite été introduites chez une variété présentant un bon niveau qualitatif, comme variété receveuse.

CHAPITRE 2

MATERIEL ET METHODES

2.1. Objectif de l'étude

Notre travail vise à évaluer la variabilité génétique chez 25 variétés de blé dur marocain sur la base des caractères agro-morphologiques dans le but de sélectionner les cultivars performants et d'identifier éventuellement des géniteurs divergents qui, en croisements, pourraient engendrer des transgressions intéressantes.

2.2. Site expérimental

L'expérimentation de plein champ a été réalisée au niveau de la ferme de démonstration et de la production de semences (FDPS) de Béni Slimane, appartenant à l'institut technique des grandes cultures (ITGC) durant une seule campagne agricole 2019/2020. Cette ferme possède une superficie de 50 ha, consacré annuellement à la production de semences de prés base et aux travaux d'expérimentations.

La FDPS se situe dans la plaine de Béni-Slimane (Médéa, 36°20N, 3°20E, Figure 2.1), sous un étage bioclimatique semi-aride dont l'altitude est de 574 m. Les précipitations moyennes annuelles changent de 250 à 500mm, les températures moyennes annuelles varient d'une saison à une autre, Elle est bordée au nord par la route nationale n°18 au sud par la vallée du balolo à l'est par la ferme C-Antar et à l'ouest par la bande des Darawiches estimée à une superficie d'environ 50 hectares. La station est exposée durant le printemps aux vents secs et des hautes températures en fin de cycle accompagnées par un déficit hydrique.

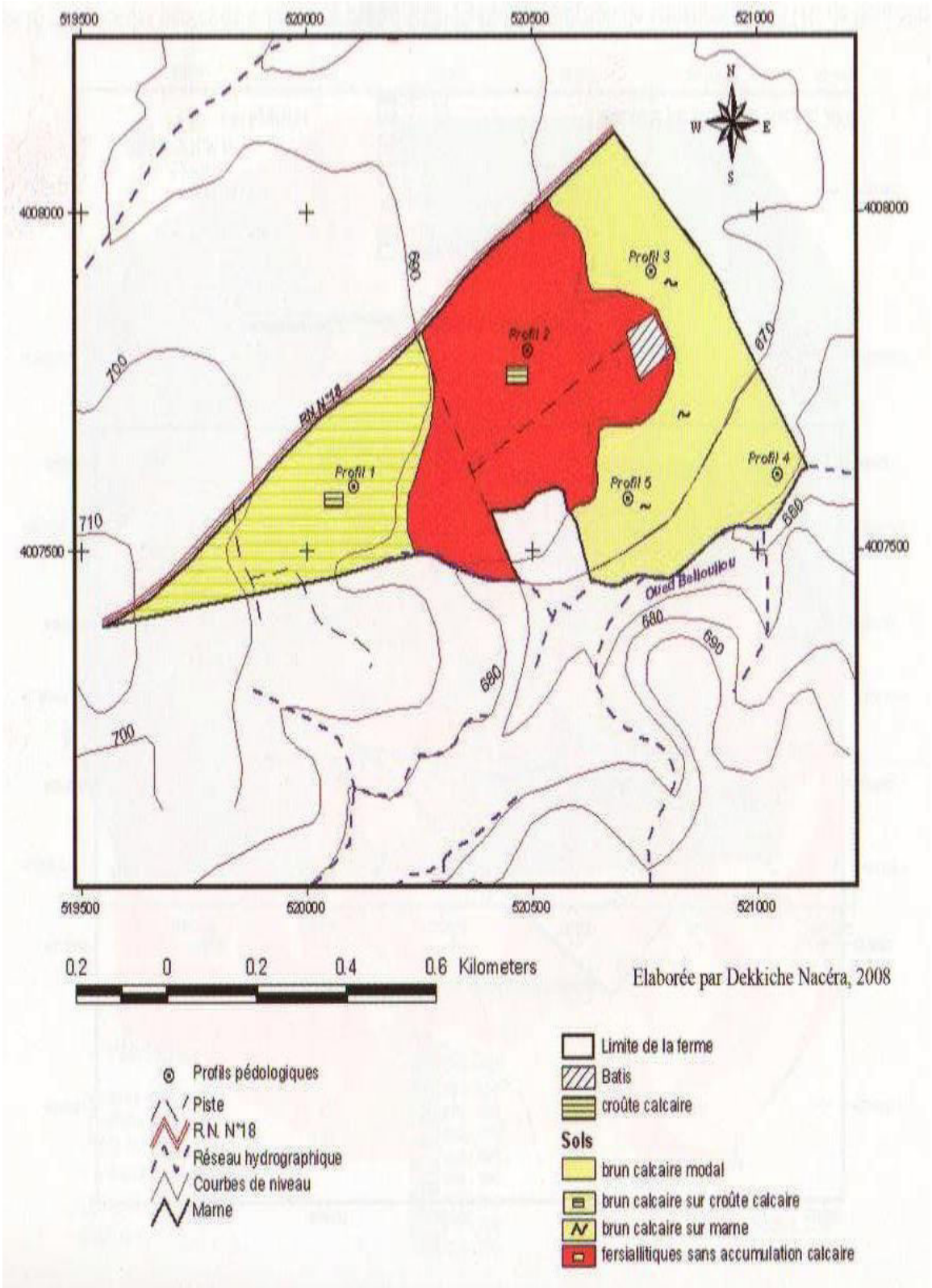


Figure 2.1: Carte des sols de la ferme expérimentale et de la production des semences (ITGC de Béni-Slimane 2020).

2.3. Matériel végétal utilisé:

L'étude porte sur l'analyse du comportement en plein champs d'un matériel végétal composé de 25 variétés marocaines de blé dur (Tableau 2.1) comparées à des variétés Algériennes considérées comme témoins (Tableau 2.2).

Tableau 2.3 : Caractéristique, comportement et zone de culture des variétés Marocaine étudiées (INRA, 2005)

Nom	Caractéristiques principales	Comportement vis-à-vis des stress	Zones de cultures préconisées
Tomouh	*Hautement productive ; *hauteur moyenne à supérieure (100à 115 cm) ; précocité moyenne.	*moyennement résistante à verse, rouille brun, tache bronzée. *moyennement sensible à septoriose. *sensible à cécidomyie. *tolérante à la sécheresse.	Large adaptation (zones arides et plateaux).
Marjana	*Hautement productive. *hauteur moyenne. *productivité moyenne.	*résistante à la verse. *moyennement résistante à la rouille brune. *moyennement sensibles à septoriose et taches bronzées. * moyennement tolérante à la sécheresse. *sensible à cécidomyie.	Large adaptation.
Marouane	*Hautement productive. *hauteur moyenne. *productivité moyenne. *Parmi les premières variétés marocaines résistantes à la cécidomyie.	* moyennement résistante à la verse. * moyennement sensibles à la rouille brune, taches bronzées et septoriose. * résistante à la cécidomyie. * tolérante à la sécheresse.	Zones semi arides avec l'infestation par cécidomyie. Exclusivement pour les zones semi aride.
kyperounda	*Peu productive *haut. *tardive.	*Sensible à la vers, rouille brune, cécidomyie, septoriose et la sécheresse. * moyennement sensibles à la tache bronzée.	Bour favorable Zone nord et montagneuse.
Ourgh	*Hautement productive. *hauteur moyenne. *productivité moyenne.	* résistante à la verse. * moyennement résistante à la rouille brune. * moyennement sensibles à les taches bronzées et le septoriose. * moyennement tolérante à la sécheresse. * sensible à la cécidomyie.	Large adaptation.
Chaoui	*Hautement productive. *hauteur moyenne. *productivité moyenne. *Parmi les premières variétés marocaines résistantes à la cécidomyie.	-* résistante à la verse et la cécidomyie. * moyennement sensibles à la rouille brune et la septoriose. * moyennement résistante à la tache bronzée. * tolérante à la sécheresse.	Zones semi arides avec l'infestation par cécidomyie. Exclusivement pour les zones semi aride.
yassmine	*Hautement productive. *hauteur moyenne. *productivité moyenne.	* résistante à la verse. * moyennement résistante à la rouille brune et sécheresse. * moyennement sensibles à septoriose. * sensible à tache bronzée et la cécidomyie.	Large adaptation.
Amria	*Hautement productive. *hauteur moyenne. *productivité moyenne. *Parmi les premières variétés marocaines résistantes à la cécidomyie.	*résistante à la verse et la cécidomyie. *moyennement sensibles à septoriose, tache bronzée et la sécheresse.	Zones semi arides avec l'infestation par cécidomyie. Exclusivement pour les zones semi aride.
amjad	*Hautement productive. *hauteur moyenne. *productivité moyenne.	* résistante à la verse. * moyennement sensibles à la rouille brune, tache bronzée et la septoriose. *moyennement tolérante à la	Large adaptation.

		sécheresse. *sensible à la cécidomyie.	
anouar	*Hautement productive. *hauteur moyenne. *productivité moyenne.	* résistante à la verse. * moyennement résistante à la rouille brune et tache bronzée. * moyennement tolérante à la sécheresse. * moyennement sensibles à la septoriose.	Large adaptation.
Irden	*Hautement productive. *hauteur moyenne. *productivité moyenne. *Parmi les premières variétés marocaines résistantes à la cécidomyie.	* résistante à la verse et cécidomyie. * moyennement sensibles à la rouille brune, tache bronzée et la septoriose. *tolérante à la sécheresse.	Zones semi arides avec l'infestation par cécidomyie. Exclusivement pour les zones semi aride.
Jawhar	*Hautement productive. *hauteur moyenne. *productivité moyenne.	* moyennement tolérante à la sécheresse. * moyennement sensibles à la septoriose. * moyennement résistante à la rouille brune et tache bronzée. * sensible à la cécidomyie. * résistante à la verse.	Large adaptation, irriguée.
karim	*Hautement productive. *hauteur moyenne. *productivité moyenne. *port érigé	* résistante à la verse et tache bronzée. * moyennement résistante à la septoriose. * moyennement tolérante à la sécheresse. * moyennement sensibles à la rouille brune. * sensible à la cécidomyie.	Large adaptation, adaptation à l'irriguée
marzak	*Hautement productive. *hauteur moyenne. *productivité moyenne.	* résistante à la verse * moyennement sensible à la rouille brune et la septoriose. * moyennement résistante à tache bronzée. * moyennement tolérante à la sécheresse. * sensible à la cécidomyie.	Large adaptation sauf en haut altitude.
Sebou	*Hautement productive. *hauteur moyenne. *productivité moyenne.	* moyennement résistante à la septoriose, verse, sécheresse et tache bronzée. * moyennement sensible à la rouille brune. * sensible à la cécidomyie.	Large adaptation, semi aride.
Oued znati	*rustique. *Peu productive *haut. *tardive.	* moyennement sensibles à la tache bronzée. * sensible à la cécidomyie, verse, rouille brune et la sécheresse.	Zone nord et montagneuse.
zeramik	*rustique. *Peu productive *haut. *tardive	* sensible à la cécidomyie, verse, rouille brune et la sécheresse. * moyennement sensibles à la septoriose et tache bronzée.	Zone nord et montagneuse.

Tableau 2.2 : Variétés Algériennes utilisées comme témoins dans cette étude (CNCC, 2015)

Nom	Pedigree/croisement	Obtenteur / sélection
Gta dur	Crane/4/PolonicumPI$_{185309}$//T.glutin en/2* Tc60/3/Gll	CIMMYT-ICARDA, Sélection ITGC, FDPS, Guelma, Algérie
Simeto	Capeiti8/Valvona	Introduction d'Italie, Projet IAO-ITGC
Megress	Ofanto/Waha//MBB	ITGC, FDPS, Sétif, Algérie
Oued Elbared	MBB/Ofanto	ITGC, FDPS, Sétif, Algérie

2.4. Déroulement de l'essai :

2.4.1. Au laboratoire (Test de levée)

Dans des pots préalablement remplis de terreau, nous avons mis en germination cinq grains de chaque variété dans les conditions naturelles, après environ 10 à 15 jours, nous avons calculé la faculté germinative qui est égale au pourcentage des pieds levés (Figure 2.2)



Figure 2.2 : Test de levée des variétés de blé dur étudiées.

2.4.2. Sur terrain :

2.4.2.1. Travail du sol

Un labour profond a été réalisé le mois de février (2019) à l'aide d'une charrue à soc (Figure 2.3, à gauche). Un deuxième labour avec deux passages croisés a été effectué par le biais de Cover-Crop (Figure 2.3, à droite) suivi par le hersage le mois de décembre 2019.



Figure 2.3 : Quelques opérations du travail du sol
Labour profond à l'aide d'une charrue à soc (à gauche), labour avec deux passages croisés de Cover-Crop (à droite)

2.4.2.2. Mise en place de l'essai :

La superficie totale de la parcelle est de 150 m² à raison de 30m de largeur et de 5m de longueur, le dispositif adopté est un plan en bloc aléatoire complet avec 3 répétition avec randomisation totale (Figure 2.4, en haut & Figure 2.5), 30 micro-parcelles vont constituer chaque bloc, chaque micro-parcelle est composée de 3 lignes à 1m de longueur, la distance entre lignes est 0.2, 0.3 sépare deux micro-parcelles successives et 1m entre deux blocs.
Le semis a été réalisé à la main (Figure 2.4, en bas) le 15/12/2019 avec une dose de semis de 20 grains par mètre linéaire pour chaque variété, la distance entre grains est de 5cm. Un passage a été fait par le rouleau lisse pour assurer un bon contact des grains avec le sol en diminuant l'air dans le sol et maintenant l'humidité dans ce dernier.



Figure 2.4 : Mise en place de l'essai au niveau de l'ITGC de Beni-Slimane.

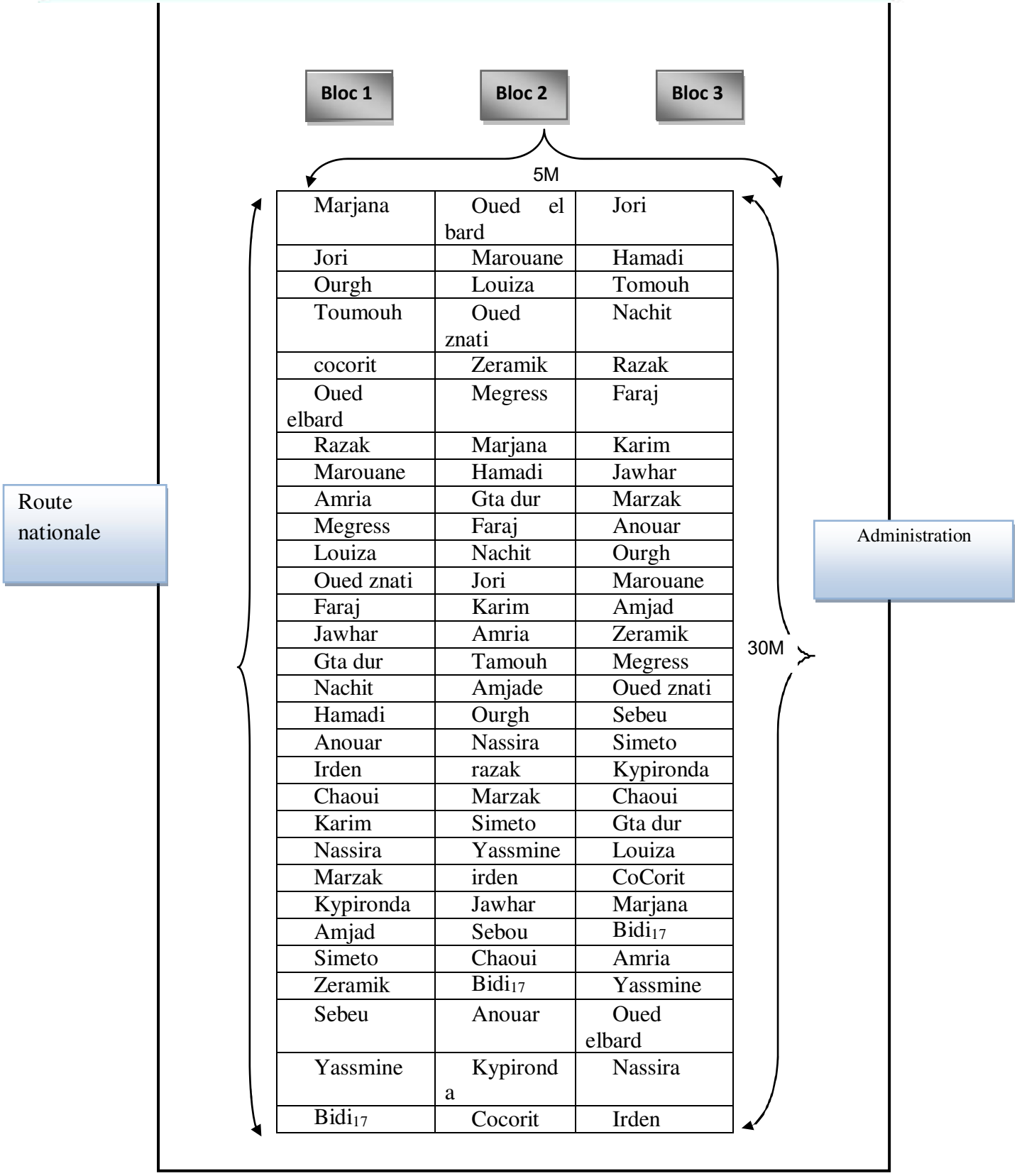
Dispositif expérimental (en haut), Opération de semée manuel (en bas, à gauche), recouvrement des grains (en bas, à droite)

2.4.2.3. Entretien des essais

Épandage d'engrais de fond de type pallas OD (MAP) à la dose 0.5 litre / ha a été fait en février 2019 et répété le 15 décembre 2019. Un apport azotée sous forme d'urée (46%) est apporté le 12/01/2020 à la dose 1qx/ ha, suivi par un désherbage chimique effectué le 18/01/2020 en utilisant GRANSTAR à la dose de 15 g/ha.

2.4.2.4. Cycle de végétation

Après environ 20 jours, le stade levée a été atteint (Figure 2.6). Les autres stades phénologiques successives (montaison, épiaison et maturité) sont montrés dans la figure 2.6



Marjana	Oued el bard	Jori
Jori	Marouane	Hamadi
Ourgh	Louiza	Tomouh
Toumouh	Oued znati	Nachit
cocorit	Zeramik	Razak
Oued elbard	Megress	Faraj
Razak	Marjana	Karim
Marouane	Hamadi	Jawhar
Amria	Gta dur	Marzak
Megress	Faraj	Anouar
Louiza	Nachit	Ourgh
Oued znati	Jori	Marouane
Faraj	Karim	Amjad
Jawhar	Amria	Zeramik
Gta dur	Tamouh	Megress
Nachit	Amjade	Oued znati
Hamadi	Ourgh	Sebeu
Anouar	Nassira	Simeto
Irden	razak	Kypironda
Chaoui	Marzak	Chaoui
Karim	Simeto	Gta dur
Nassira	Yassmine	Louiza
Marzak	irden	CoCorit
Kypironda	Jawhar	Marjana
Amjad	Sebou	$Bidi_{17}$
Simeto	Chaoui	Amria
Zeramik	$Bidi_{17}$	Yassmine
Sebeu	Anouar	Oued elbard
Yassmine	Kypironda	Nassira
$Bidi_{17}$	Cocorit	Irden

Figure 2.5 : dispositif expérimental de 30 variétés de blé dur randomisées complètement

Superficie totale = 150 m2

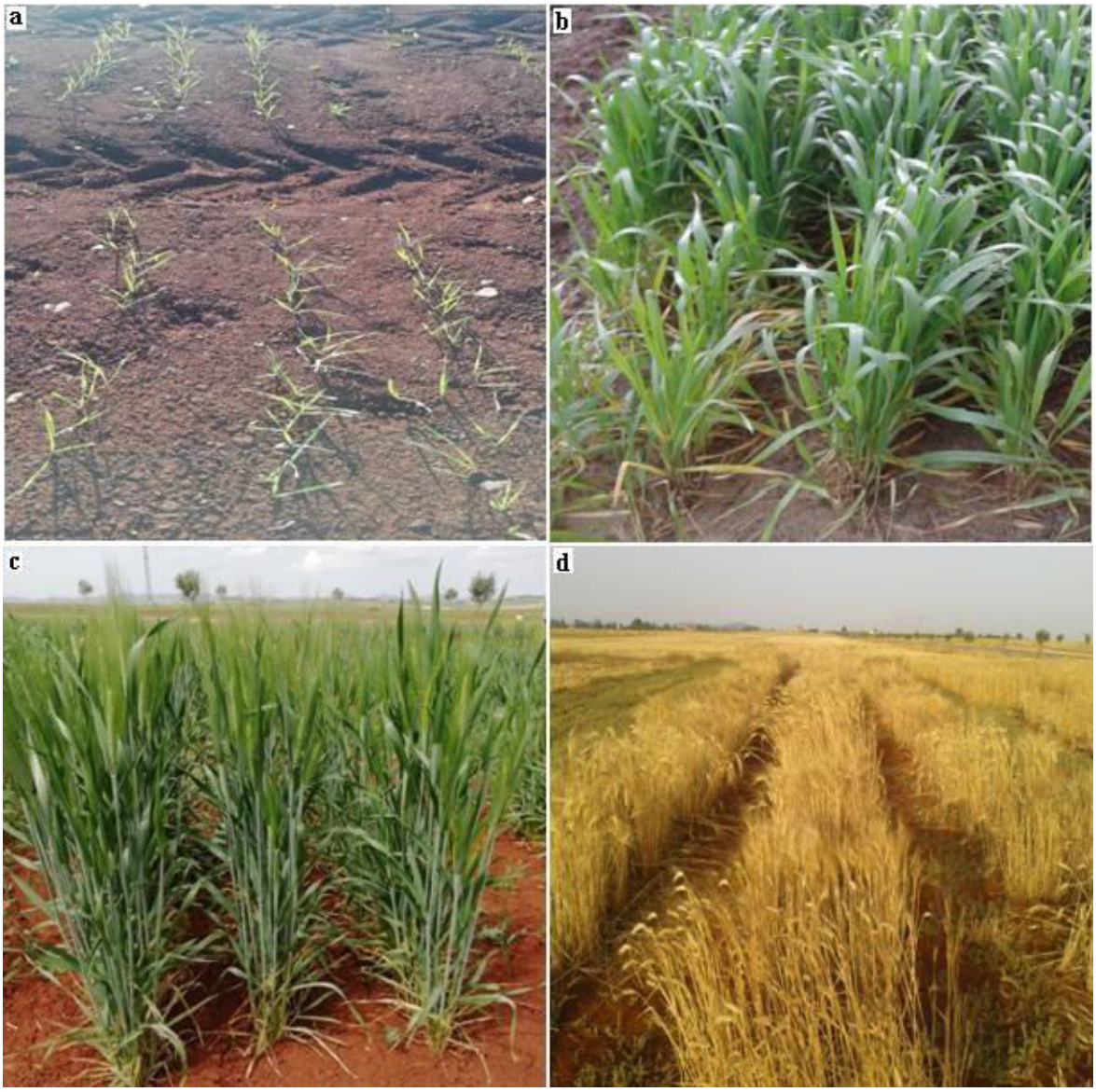


Figure 2.6 : Stade phénologique

a. Stade levée à 2 feuilles, **b.** Stade montaison, **c.** Stade montaison, **d.** Stade maturité

2.4.2.5. Méthodes d'études :

Afin de pouvoir analyser le comportement des variétés marocaines, nous avons énuméré un ensemble de paramètres qui touchent plusieurs aspects (agronomique, architectural, biométrique et sanitaire)

- ✓ **Durée de la phase végétative (DPV) :** qui est notée dès que 50% des épis sortent de la gaine de la feuille étendard. Elle est exprimée en nombre de jours calendaires de la levée à la date d'épiaison.
- ✓ **Surface foliaire :** effectuée par la mesure de la longueur et la largeur de la feuille en fonction de la formule suivante : **LonF X LarF X 1,7** d'où

LongF : Longueur du limbe ; **LongF :** Largeur du limbe ; **1,7 :** Coefficient de correction

- ✓ **Hauteur finale de végétation (HFV) :** mesurée juste au moment de la récolte, du niveau du sol au sommet de la strate moyenne des épis, barbes non incluses, exprimé en cm.
- ✓ **Longueur du col de l'épi :** mesurée à partir du dernier nœud à la base de l'épi.
- ✓ **Extrusion :** mesurée de la base du limbe à la base de l'épi. ce paramètre peut prendre des valeurs négatives, nulles ou positives.
- ✓ **Nombre d'épis par mètre carré (NEM²) :** il s'agit d'un contage direct des épis par mètre linéaire, le nombre obtenu est exprimé par 0,2m², multiplié par 5 donne : le NEP/m².
- ✓ **Nombre de grains par épi (NGE) :** est déduit par comptage direct des grains contenu dans un épi
- ✓ **Nombre de grains par mètre carré (NGM²) :** est déduit par calcul utilisant le nombre de grains par épi et le nombre d'épis par m² : $\boldsymbol{NGM^2 = NGE \times NEM^2}$
- ✓ **Poids de mille grains (PMG) :** est déduit du comptage et pesage des grains pris de chaque épi, la valeur obtenue est converti pour avoir le PMG.
- ✓ **Longueur de l'épi, barbes incluses :** est mesurée au stade maturité à partir de la base de l'épi à l'extrémité supérieure des barbes. Elle est exprimée en cm.
- ✓ **Longueur des barbes :** est mesurée à partir du point terminal du dernier épillet jusqu'à l'extrémité de la strate moyenne des épis
- ✓ **Rendement (RDT) :** est estimé par la fauche et le battage de la végétation exprimé en g/ 3 lignes, puis converti en g/m², puis après en qx/ha (Figure 2.7).



Figure 2.7 : Quelques opérations réalisées sur terrain.

Mesure des dimensions du limbe (en haut à gauche), Mesure de la longueur du col/extrusion de l'épi (en haut à droite), Opération de moisson/battage (en bas)

- ✓ **Notation des maladies**

Au niveau du terrain les maladies sont évaluées par leur fréquence et leur incidence qui sont représentées par le pourcentage de plantes malades par micro-parcelle et leur sévérité caractérisée par leur impact sur les plantes atteintes évaluées selon les échelles (0 à 9) de Saari et Prescott (1975). L'évaluation de la gravité de la maladie est nécessaire, en particulier pour les expériences épidémiologiques ainsi que pour mesurer le niveau de résistance. Plusieurs échelles sont proposées pour différentes maladies mais aucune n'est adaptée à toutes les maladies (Mehta, 2014).

Au cours des différents stades phénologiques notamment après épiaison, nous avons effectué plusieurs notations des maladies, les dates ainsi que les stades de végétations de chaque notation sont énumérés comme suit :

J1 : 26 Mars 2020 / Stade végétative (Montaison)

J2 : 13 Avril 2020 / Stade reproducteur (Epiaison)

J3 : 21 Avril 2020 / Stade reproducteur (Floraison)

J4 : 03 Mai 2020 / Stade reproducteur (Remplissage)

J5 : 27 Mai 2020 / Stade reproducteur (Remplissage)

Maladie des taches foliaires : La gravité de l'infection est estimée en pourcentage de la surface contaminée (Rouille et Septoriose principalement), l'utilisation d'une échelle numérique de Saari et Prescott est recommandée (Figure 2.8). Une autre échelle pourrait être efficace, celle de Eyal et al. (1987) qui indique que pour la tâche septorienne ou de la tâche auréolée, la sévérité de la maladie est montrée uniquement sur feuilles (Figure 2.9).

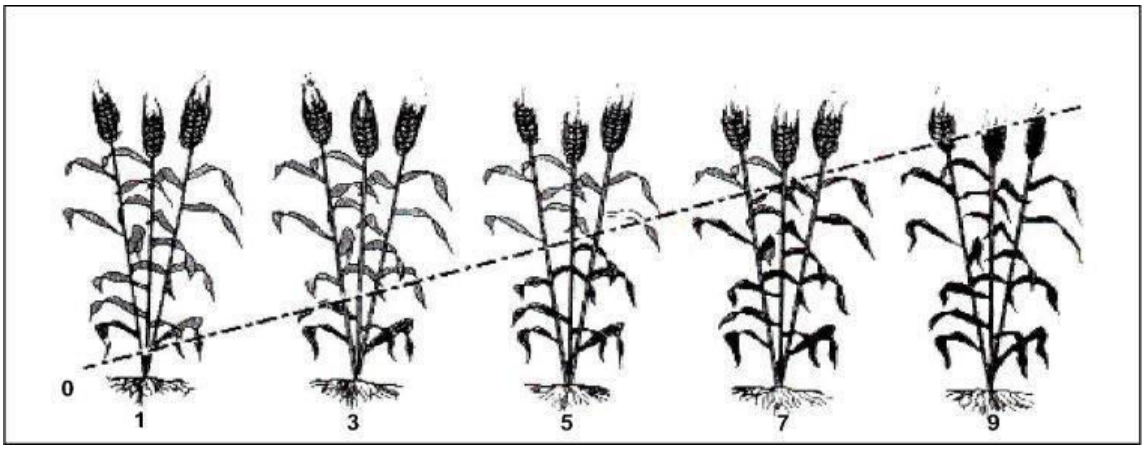


Figure 2.8 : Echelle de notation graduée de 0 à 9 pour l'estimation de l'intensité d'infestation foliaire pour le blé, le triticale et l'orge (Saari and Prescott, 1975).

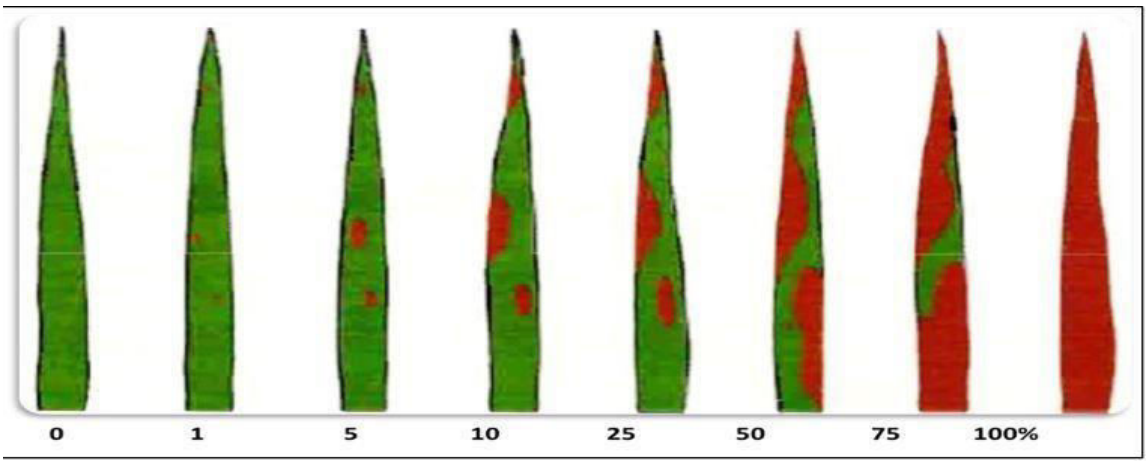


Figure 2.9 : Estimation du recouvrement pycnidial (Eyal et al., 1987).

Clés descriptives de niveau de sévérité de l'infection selon Saari et Prescott (1975) :

[0] Il n'existe aucune infection visible

[1] Résistante : Taches peu nombreuses et dispersées sur les feuilles basales seulement.

[2]Résistante : Taches éparses sur les feuilles de second rang, mais celle du premier rang sont gravement atteintes.

[3] Résistante : peu de taches sur le tiers basal de la plante, et les feuilles de la base sont

moyennement atteintes.

[4] Moyennement résistante : Lésions éparses atteignant presque la moitié de la plant : l'infection des feuilles basales est moyenne, mais celle des feuilles supérieures reste légère et ne produit que des taches éloignées les une des autres.

[5] Moyennement sensible : Lésions intenses sur les feuilles de la base et moyennes à faibles sur celles qui vont jusqu'à la limite de la moitié inférieure de la plante, sans la dépasser.

[6] Moyennement sensible : Lésions intenses sur le tiers basal de la plante, moyennes à faibles sur les feuilles du milieu et éparses sur celle de la partie supérieure.

[7] Sensible : Lésions intenses sur le tiers basal de la plante et sur les feuilles du milieu, mais très légères sur la feuille drapeau.

[8] Sensible : Lésions intenses sur les feuilles de la base et du milieu, et moyennes à intenses sur le tiers supérieur de la plante, la feuille drapeau étant atteinte aussi

[9] Très sensible : toutes les feuilles sont gravement atteintes, même les épis peuvent être infectés.

2.5. Analyse des données statistiques

Le logiciel utilisé pour le traitement des données des différentes variables est le STATISTICA V8, nous avons utilisé l'option One Way ANOVA, le seul facteur est « la variété » avec ses 29 niveaux (25 variétés marocaines et 4 variétés témoins), Nous avons pris en considération une probabilité de 5%, comme seuil de signification.

L'effet variable est significatif lorsque la probabilité de l'erreur réellement commise est :

$P < 0.001$ Très hautement significatif.

$0.001 \leq P < 0.01$ Hautement significatif.

$0.01 \leq P \leq 0.05$ Significatif.

La comparaison des moyennes a été effectuée par le test de Fisher

Chapitre 3

Résultats et discussion

3.1. Au laboratoire

3.1.1. Test de levée des variétés étudiées

Le pourcentage de levée pour 25 variétés de blé dur marocain ainsi que 4 variétés de blé dur algérien est illustré dans la figure 3.1

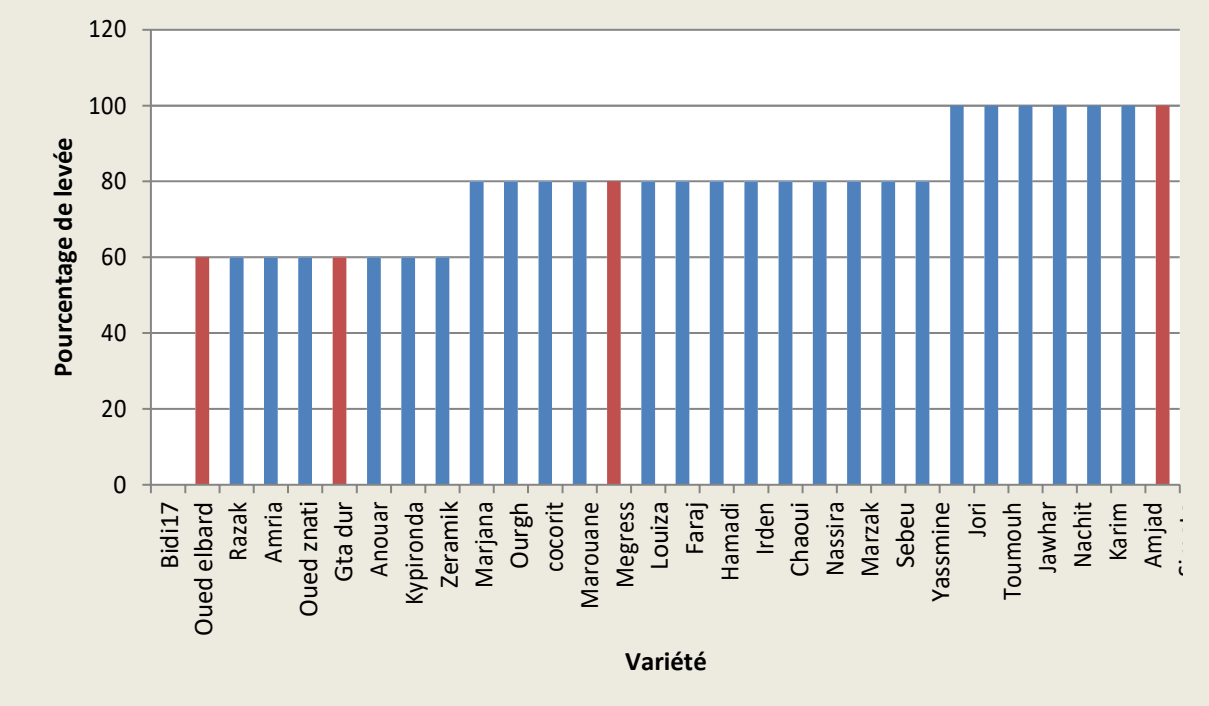


Figure 3.1 : Pourcentage de levée de 25 variétés marocaines et 4 variétés algériennes de blé dur.

L'analyse graphique de la figure 3.1 montre clairement que la majorité des variétés atteint un taux de levée de 80% ou plus, un bon indice pour lancer une expérimentation sur terrain. La variété algérienne locale $Bidi_{17}$ n'a pas été levée, ceci est dû probablement à la qualité de la semence.

3.2. Au terrain

3.2.1. Variation de la pluie et de la température

La campagne 2019/2020 s'est montrée avantageuse au début où nous avons reçus 112.6 mm de pluies dans le mois de septembre, ce qui offre une humidité suffisante pour le bon

déroulement des travaux de sol. De faibles précipitations entre octobre et janvier ont été enregistrées voire absentes en février, ce qui a influencé négativement sur le bon démarrage de la végétation. Un cumul des précipitations enregistré dans la période printanière (Mars, Avril, Mai) était de 158.6mm, une quantité suffisante pour l'élongation des talles et l'entrée en période reproductrice (formation des épis, floraison, pollinisation et remplissage des grains, Figure 3.2).

La température moyenne mensuelle présente une distribution bimodale, une température basse au cours du stade végétatif (levée, tallage, montaison, gonflement) à partir du mois de décembre. Jusqu'au mois d'avril et une température élevée au début de la compagne agricole et au cours du stade reproducteur (floraison, remplissage du grain, Figure 3.2).

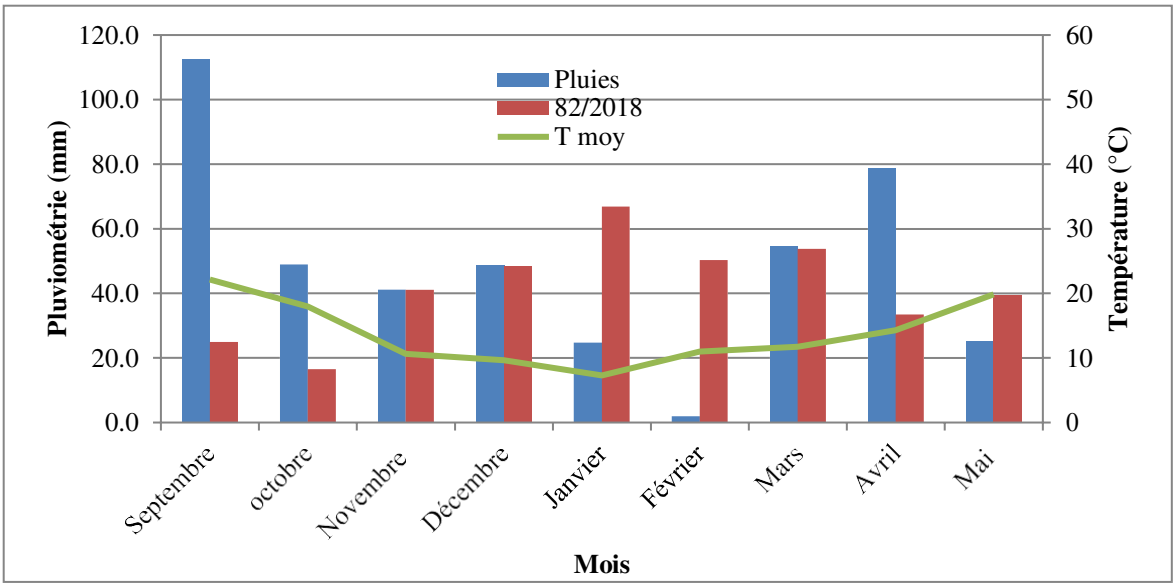


Figure 3.2 : Variation de la température et de la pluviométrie mensuelles durant la campagne agricole 2019/2020.

3.2.2. Notation sur la présence des maladies et ravageurs

3.2.2.1. Dégâts causés par les ravageurs

Nous avons constaté :

— La présence d'un faible nombre de criocères sur la feuille de la majorité des variétés (Figure 3.3).

— La présence de quelques pucerons sur la feuille de très peu de variétés accompagnés de quelques individus adultes de coccinelle (ennemi naturelle de puceron, Figure 3.3).



Figure 3.3 : Criocère puceron et coccinelle au champ.

Le puceron provoque des dégâts par prélèvement de sève dans la période qui s'étale de la floraison jusqu'à l'apparition du stade « grain laiteux-pâteux », il peut causer cause une limitation du poids de mille grains. Dans la présente étude, la présence des coccinelles adultes avait limité la pullulation de puceron car elles sont leurs ennemis naturels, donc on a évité d'y agir du moment qu'on n'a pas atteint le seuil de nuisibilité afin de préserver les auxiliaires.

Les adultes de criocères apparaissent sur céréales en avril-mai dès que la température atteint 17 à 20°C, ils causaient des plages décolorées entre les nervures des feuilles supérieures, Les feuilles peut devenir totalement blanche en cas de forte attaque. (http://www.fiches.arvalis-infos.fr/). Sur terrain on a observé que quelques feuilles par parcelle qui ont subit des détériorations à cause des criocères, ceci dit que les dégâts étaient non considérables.

3.2.2.2. Dégâts causés par les maladies (principalement fongiques)

Généralement, la température, la pluviométrie et leurs variations qui agissent positivement sur le développement de nombreuses maladies cryptogamiques. Les principales maladies observées cette année sont représentées principalement par l'oïdium, les taches auréolées et la septoriose (Figure 3.4).

L'oïdium s'observe principalement les symptômes sur feuilles et faiblement sur tige. Des pustules blanches apparaissent sur ces parties et il se produit une masse de spores qui a une apparence poudreuse. Petit à petit, ces pustules prennent une coloration grise ou brune

L'humidité de l'aire est le facteur le plus important pour son développement et cette maladie se manifeste en période sèche (Bégos, 2005). La germination des conidies se fait à des températures comprises entre 5°C et 30°C, l'optimum du développement de la maladie se situe entre 15°C et 22°C. (Aouali et Douici-Khalfi, 2009)

Sous des conditions favorables, le champignon des taches auréolées pousse sur le feuillage du blé en aménageant des tâches nécrotiques ovales bordées d'une auréole jaunâtre (Douimi et al, 1996) ce qui entraine une diminution importante du rendement (Douimi et al, 1996). L'agent pathogène se conserve sur les résidus du blé (Yahyaoui, 2003), les conditions favorables pour l'infection : la température entre 18 et 28°C (Yahyaoui, 2003). En présence d'humidité, les périthèces libèrent les ascospores et le mycelium produit des conidies. Au cours de la saison l'infection secondaire est assurée par les conidies qui sont facilement disséminées par le vent. La germination des spores et l'infection des tissue sont favorisées par une durée d'humectation du feuillage de 24 à 48 heures. (Aouali et Douici-Khalfi, 2009).



Figure 3.4 : Infestation de l'oïdium et les tâche auréolées sur le tallage de blé dur.

La septeriose prend la forme des tâches foliaires qui sont au début jaunâtres à brun ocre, ovales ou lenticulaires, flanquées d'une bordure foncée (Zilinsky,1983). Les principales sources d'inoculum sont la semence et les chaumes. Après la levée on peut observer des foyers de contaminations très précoces soit par les semences ou par les débris de récoltes (Aouali et Douici-Khalfi, 2009). Les pycnidiospores restent viable pendant des mois, entre 2 à 10°C, (Wies, 1987), les résidus de cultures de blé contaminés laissés sur place vont

aussi être le siège de la formation des périthèces contenant des ascospores. Ces spores seront véhiculées par voie aérienne sur de grandes distances. Elles sont vraisemblablement à l'origine de l'homogénéité de la répartition de la maladie (Caron, 1993), une forte humidité pendant 1 à 4 heures suffit pour assurer l'infection et la sporulation, la germination des spores demande une humidité de l'air supérieure à 85% pendant 12 heures consécutives et une température minimale de 6 à 8°C. (Laffont, 1985). Durée de latence : 10 à 14 jours entre 20 et 24°C (extrêmes, 4 et 32°C), le temps sec empêche l'infection mais également le développement des pycnides. (Cavelier et al, 1992).

L'analyse graphique de la figure 3.5 et sur la base de deux critères : taux d'infestation et fréquence d'attaque on peut classer l'ensemble des variétés en quatre groupes :

- Variétés tolérantes : Amjad, Jawhar, Jori et Karim, un groupe caractérisé par la présence de peu de taches sur le tiers basal de la plante, et les feuilles de la base sont moyennement atteintes.
- Variétés moyennement tolérantes : Anouar, cocorit, faraj, Marjana, Oued znati Chaoui, Marouane, Sebou, Tomouh, Nachit, Ourgh, Nassira, Marzak, Hamadi, Simeto, Gta dur et Megress. Cet ensemble représente les variétés avec des lésions éparses atteignant presque la moitié de la plante : l'infection des feuilles basales est moyenne, mais celle des feuilles supérieures reste légère avec l'apparition des tâches éloignées les une des autres.
- Variétés moyennement sensibles : Louiza, Razak et Yasmine, sont des variétés avec lésions intenses sur le tiers basal de la plante, moyennes à faibles sur les feuilles du milieu et éparses sur celle de la partie supérieure.
- Variétés sensibles : Oued el bared, Amria, Irden Zeramik et Kypironda, sont des variétés apparues avec des lésions intenses sur le tiers basal de la plante et sur les feuilles du milieu, mais très légères sur la feuille drapeau.

Cette classification est conçue selon l'échelle graduée de zéro à neuf élaborée par Saari et Precott (1975)

L'analyse graphique de la figure 3.6 indique le degré d'infestation journalière des différentes variétés, ainsi au stade montaison jusqu'au début d'épiaison (J1 et J2) seules les variétés Amrai, Irden, Kypironda, Louiza et Oued Elbared qui étaient touchées progressivement de la base vers la strate moyenne des talles et parfois jusqu'à la feuille étendard. Après l'épiaison (J3 et J4), les variétés citées précédemment maintiennent leur degré d'infestation et étaient la cause d'un début d'infestation pour la majorité des variétés sauf Amjad, Jawhar, Jori et Karim où le degré d'infestation reste faible. En période de

remplissage (J5) les feuilles commencent à se dessécher et la maladie était en tendance de se régresser.

L'analyse statistique des données prises par la variable « maladie » a permis de révélé des différences hautement significatives pour J1, J2 et J3 et très hautement significatives pour J4 et J5 (Tableau). En effet, en J1 Kypironda et Amria étaient les variétés les plus sensibles avec une échelle qui dépasse 7. En J2 Kypironda maintient la même échelle mais cette fois-ci avec Irden. En J3 d'autres variétés que celles en J1 et J2 sont apparues avec une échelle allant de 7 à 8 qui sont Zeramik et Yassmine. En J4 pour la première fois Razak apparue comme très sensible, cette dernière avec Zeramik de nouveau et Oued Elbared pour la première fois qui ont subi le plus d'attaque par les champignons.

Pour les variétés les plus tolérantes, Jori a été figurée durant les cinq périodes de notation avec une échelle ne dépassant pas 2 suivi par Ourgh en J1, Faraj en J2, Karim et Amjad en J3, J4 et J5. Dans la dernière notation (J5) d'autres variétés ont été répertoriées à savoir Toumouh, Louiza, Oued Znati et Megress.

Tableau 3.1. Analyse de la variance de la variable «Sensibilité et tolérance vis-à-vis aux maladies»

SS	MS	F	P	SS	MS	F	P
J1				J4			
1824,138	1824,138	2842,388	0,00	5977,015	5977,015	3470,525	0,000000
982,973	35,106	54,703	0,00	248,429	8,872	5,152	0,000000
148,889	0,642			399,556	1,722		
1131,862				647,985			
J2				J5			
2526,222	2526,222	2212,564	0,00	2409,383	2409,383	1234,247	0,000000
780,889	27,889	24,426	0,00	204,728	7,312	3,746	0,000000
264,889	1,142			452,889	1,952		
1045,778				657,617			
J3							
7488,138	7488,138	2936,745	0,00				
498,307	17,797	6,980	0,00				
591,556	2,550						
1089,862							

SS : Somme des carrés. MS : Carré moyen. F : Test. P : Probabilité. J : Jour de notation

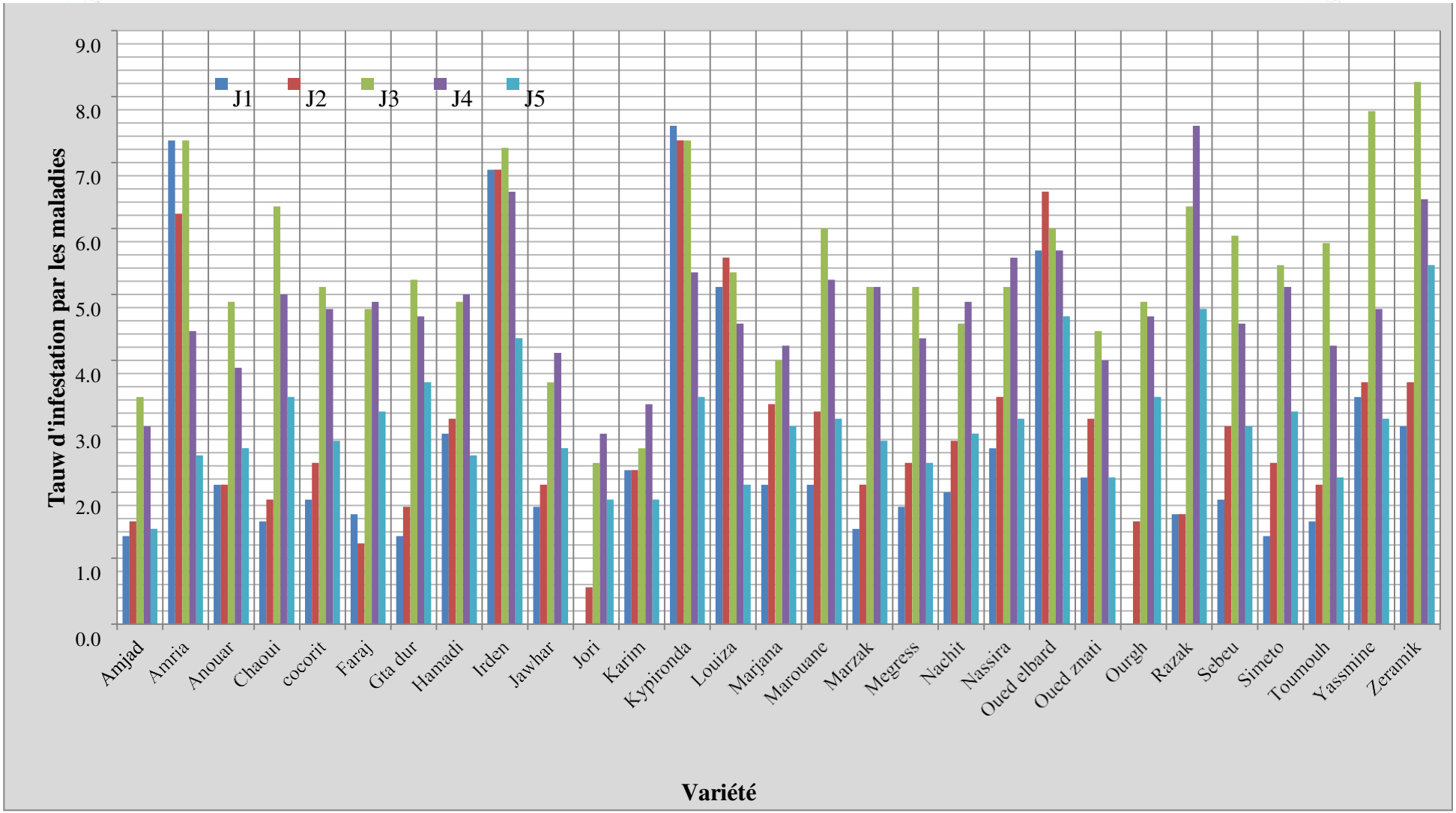


Figure 3.5 : Tolérance et sensibilité des variétés étudiées vis-à-vis les champignons phytopathogènes.

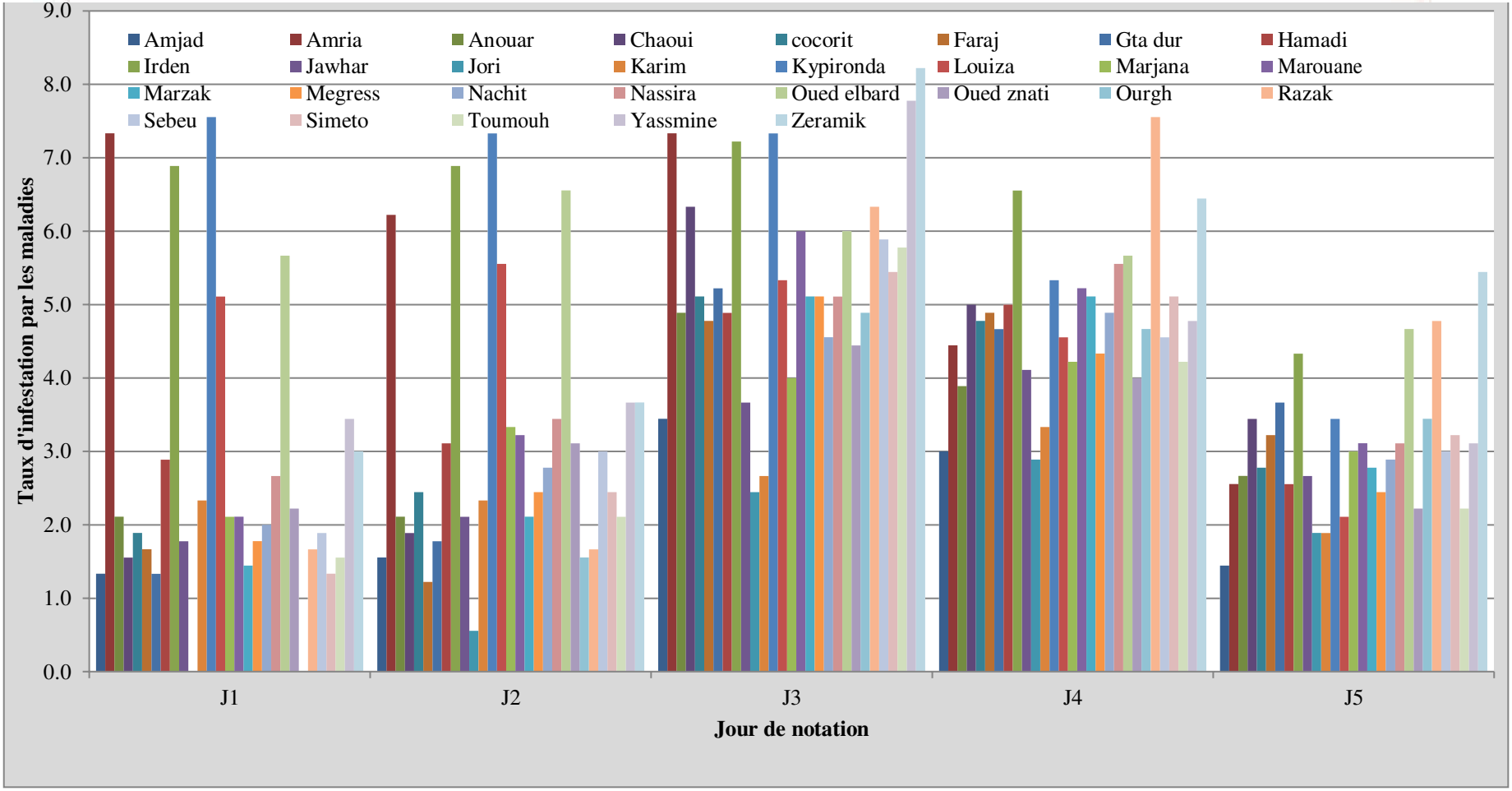


Figure 3.6 : Evolution de l'infestation des variétés par les champignons phytopathogènes au fil du temps.

3.2. Variation des performances

3.2.1. Analyse de la variance

L'analyse de la variance du rendement, indique un effet génotype significatif, suggérant que des différences de performances existent entre les variétés testées.

Tableau 3.2. Carrés moyens (MS) de l'analyse de la variance des variables étudiées

SV	DDL	DPV	LongF	LargF	SF	HV	LCE	EXT
Var	28	38**	44,3***	0,38***	172***	941**	57,4***	23***
Err	232	0،00842	13،4	0،14	49،4	16	23،6	11،34
CV		1,8	24,8	32,4	51,6	13,4	16,2	25,6
SV	LE	LB	NEM²	NGE	NGM²	PMG	RDT	
Var	28**	12,08**	5854***	372,6***	463,8***	23,9***	27362**	
Err	2،13	1،32	1401	78،7	102،7	6،0	1451	
CV	34,39	40,35	66,85	49,45	64,32	38,53	62,38	

**Hautement significatif, ***Très hautement significatif, SV : Source de variation, DDL : Degré de liberté, DPV : Durée de la phase végétative, LongF : Longueur de feuille, LargF : Largeur de feuille, SF : Surface foliaire, HV : Hauteur de végétation, LCE : Longueur du col de l'épi, EXT : Extrusion, LE : Longueur de l'épi, LB : Longueur de la barbe, NEM² : Nombre d'épis par mètre carré, NGE : Nombre de grains par épis, NGM² : Nombre de grains par mètre carré, PMG : Poids de mille grains, RDT : Rendement en grains, Err : Erreur, CV : Coefficient de variation

Dans cette partie, seules la DPV, SF, HV, NEM², NGE, NGM², PMG et RDT seront traité.

3.2.1. Durée de la phase végétative (DPV)

L'analyse de la variance des valeurs prises par la variable durée de la phase végétative indique un effet moyen variété significatif (Tableau 3.2). La moyenne de la durée de la phase végétative varie de 113 jours, moyenne enregistrée pour Simeto à 121.78 jours, moyenne notée pour Oued Znati (Figure 3.7). Par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur), 19 variétés possèdent une DPV plus longue et uniquement 06 variétés qui détiennent une DPV plus courte (Figure 3.8).

Utilisant le test de Fisher basé sur la valeur de la plus petite différence significative (PPDS) à un risque d'erreur de 5%, on classe les variétés évaluées en trois groupes de précocités significativement différentes :

- ✓ Groupe précoce qui est constitué des variétés Simeto et Annouar.
- ✓ Groupe demi précoce qui comprend les variétés Toumouh, Marzak, Oued Elbared, Irden, Ourgh, Karim, Chaoui, Cocorit, Amjad, Megress, Nachit, Jawhar, Yassmine, Amria, Jori, Louiza, Nassira, Faraj, Marjana, Gta Dur, Razak, Sebeu, Hamadi, Marouane et Kypironda.
- ✓ Groupe tardif qui est constitué des variétés dites Zeramik et Oued Znati.

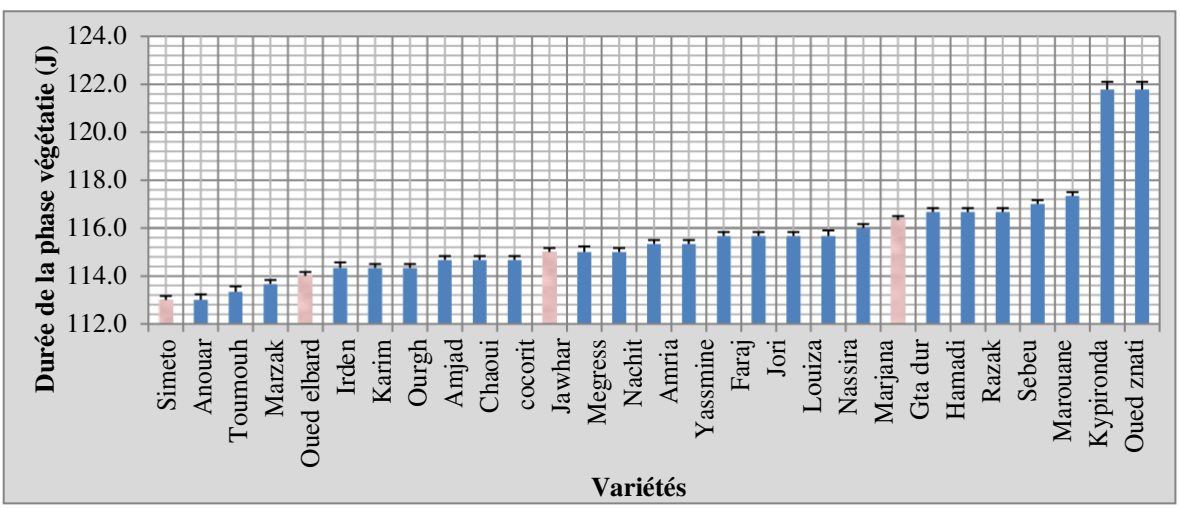


Figure 3.7 : Variation de la durée de la phase végétative des variétés étudiées

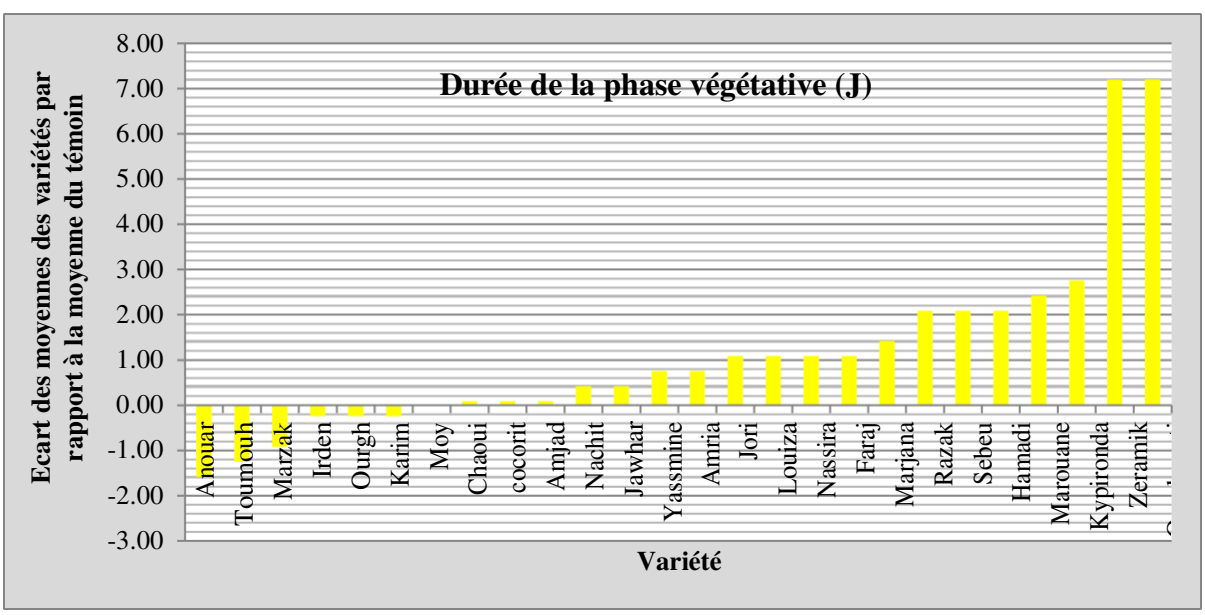


Figure 3.8 : Ecart par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur) de la durée de la phase végétative des variétés étudiées

Le choix de 19 variétés marocaines à savoir : Chaoui, Cocorit, Amjad, Nachit, Jawhar, Yassmine, Amria, Jori, Louiza, Nassira, Faraj, Marjana, Razak, Sebeu, Hamadi, Marouane et Kypironda, Zeramik et Oued Znati, nous permet de gagner une précocité de 0.09 à 7.2 jours, parallèlement la sélection de 6 variétés marocaines : Toumouh, Marzak, Irden, Ourgh, Karim et Anouar permet de perdre 0.25 à 1.58 jours (Figure 3.8). Ces informations sont très utiles dans le sens de cultiver les variétés dans la région adéquate, ça permet approximativement d'éviter les gelées printanières tardives ou les hautes températures de fin de cycle. L'introduction d'un matériel génétique d'origine marocaine dans un programme de croisement pourrait de raccourcir ou prolonger le cycle végétatif des variétés algérienne et de ce fait éviter le maximum de se positionner dans la période de stress.

Le coefficient de variation pour ce paramètre révèle une valeur faible (1.8, Tableau 3.2) ce qui montre une diversité faible entre les variétés étudiée, ceci dit que climat semi aride rend difficile la distinction entre les cultivars. Selon Kirouani (2019), un climat subhumide est favorable à l'étalement de la durée de la phase végétative et par conséquent la détermination de la différence entre les variétés de blé dur sera facile. Une étude faite sur 7 environnements (période du 2013 à 2017) par Kirouani (2019) a montré que Gta dur et Simeto font partie des variétés précoce et que Megress est une variété demi précoce. Les mêmes résultats ont été confirmés dans une autre étude faite sur un seul site à Oued Smar en 2017 (Kirouani et al., 2019)

L'épiaison est une caractéristique très importante dans l'adaptation de la céréale à un milieu donné (Wardlaw and Moncur, 1995). Elle détermine la durée des phases de développement qui jouent un rôle important dans l'élaboration des composantes du rendement et dans l'évitement des accidents climatiques défavorables (Abbassenne et al., 1997). De ce fait la sélection sur la base de cette caractéristique est, certes, faite dans le sens de la réduction de la durée de cette phase mais tout en tenant compte de la relation avec le rendement en grains. En effet en absence de stress les génotypes relativement tardifs produisent plus, alors que sous conditions de stress, les génotypes précoces évitent le sinistre (Bahlouli et al., 2005). Mekhlouf et al. (2006) comparant le comportement du cultivar standard MBB à celui de Waha, rapportent que si la précocité est désirable en milieu semi-aride pour éviter le déficit hydrique et les hautes températures de fin de cycle, elle fait courir le risque du gel printanier tardif sur les hauts plateaux.

3.2.2. Rendement en grains (RDT)

L'analyse de la variance de la variable rendement en grains indique un effet variété hautement significatif (Tableau 3.2). Les valeurs moyennes du rendement varient de 160.8g, valeur minimale notée chez la variété Oued Znati à 427,5g, valeur maximale scorée chez Toumouh (Figure 3.9). Par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta dur), 09 variétés possèdent un rendement plus élevé et 16 variétés possèdent un rendement plus bas (Figure 3.10).

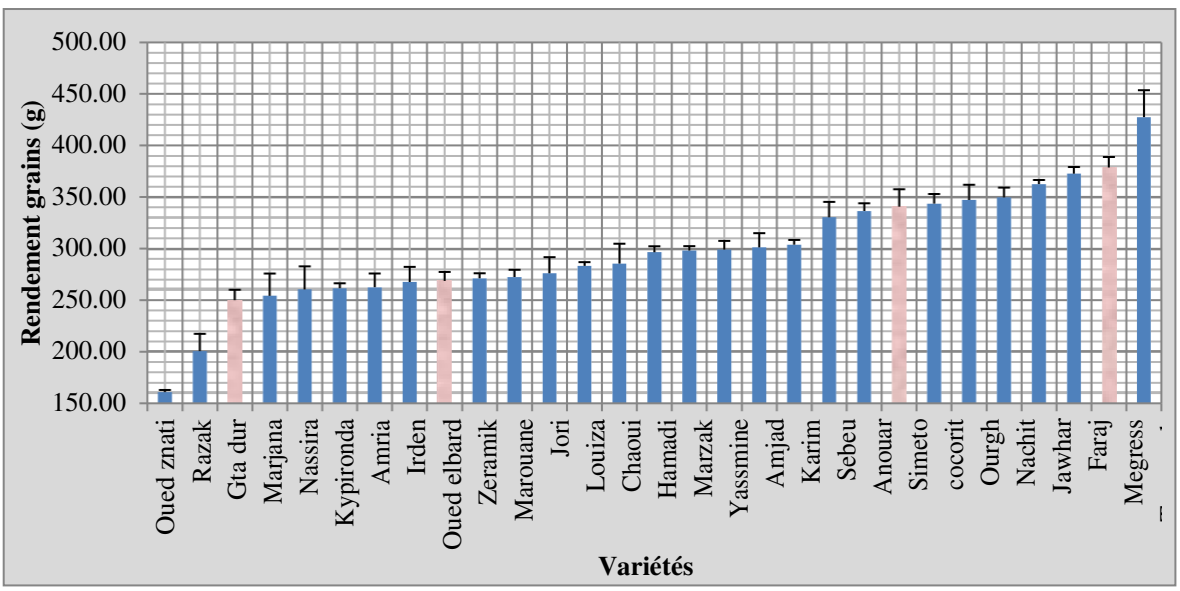


Figure 3.9 : Variation du rendement des variétés étudiées

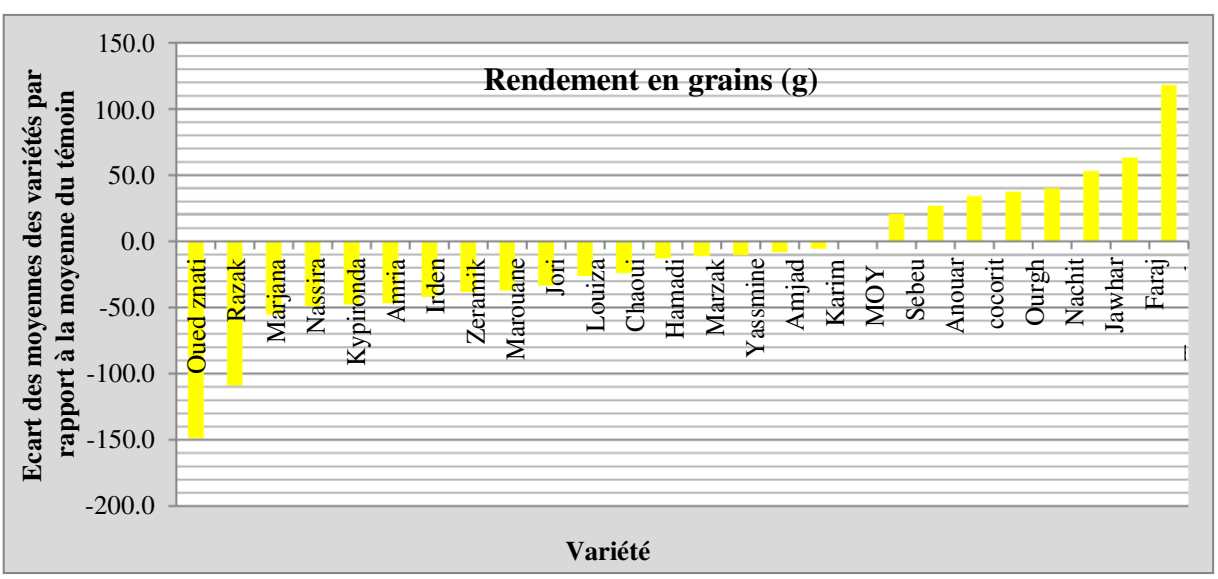


Figure 3.10. Ecart par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur) du rendement des variétés étudiées

En se basant sur le test de Fisher qui est son tour basé sur la valeur de la PPDS. On classe les variétés évaluées en trois groupes de performances significativement différentes :

- ✓ Groupe avec un rendement élevé qui est constitué de la variété : Toumouh
- ✓ Groupe avec un rendement faible qui est constitué de la variété : Oued znati
- ✓ Groupe avec un rendement moyen comportant le reste des variétés y compris les variétés algériennes utilisées comme témoin.

D'après le coefficient de variation calculé (Tableau 3.2), qui est de l'ordre de 68%, nous pouvons déclarer la présence d'une variabilité importante en matière de performance, ceci représente un bon matériel de départ pour un améliorateur qui veux planifier un programme de croisement/sélection.

Le choix des variétés comme Karim, Sebeu, Anouar, cocorit, Ourgh Nachit, Hawhar, Faraj et Toumouh nous a permis de gagner de 20 à 118g par rapport au rendement grains de la moyenne des variétés actuellement cultivées en Algérie (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta dur, Figure 3.10).

Le gain de rendement obtenu suite au choix des 9 variétés marocaines citées précédemment est probablement du à la tolérance de ces variétés aux maladies fongiques (Figure 3.5 & 3.6).

Pour des cultures pluviales telles que les blés, le premier souci doit être la répartition mensuelle de pluie et notamment celles coïncidant avec les périodes reproductrices et de maturation. Le déficit hydrique est le stress qui réduit la croissance et la production des cultures, car il implique tous les processus physiologiques et chimiques de la plante, provoque des effets négatifs sur la transpiration, la photosynthèse, la respiration et les réactions métaboliques et produit des variations anatomiques (Ribot et al., 2012). Donc les variétés élites sont celles qui gèrent mieux son stress abiotiques ou biotiques surtout dans des situations de déficit hydrique ou une attaque d'un pathogène.

L'un des études, effectuée sur les variétés algériennes a montré la supériorité de deux variétés Gta dur et Simeto, performantes et stables (Kirouani, 2019), une autre étude a été aussi réalisé par Kirouani et al (2019) sous des conditions différentes a révélé la supériorité de Megress et $Amar_{06}$ en plus Gta dur et Simeto.

D'autres facteurs autres que l'effet variété ou environnement sont aussi la cause, dans ce sens, Mekhlouf (1998) trouve qu'en zone semi-aride d'altitude, le rendement en grain est fortement corrélé avec la biomasse aérienne, le nombre d'épis et le nombre de grains par

épi.

3.2.3. Poids de mille grains (PMG)

Pour le caractère poids de mille grains, l'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative pour l'effet variété (Tableau 3.1). Les valeurs du poids de mille graines (PMG) varient de 38.93g pour Hamadi à 63.34g, valeur moyenne montrée chez Anouar (Figure 3.11).

La comparaison des moyennes révélée par le test de Fisher montre que Anouar et Karim présentaient le PMG le plus élevé avec les valeurs moyennes de 63.16 et 62.15 respectivement et que Amjad, Kypironda, Chaoui, Amria et Hamadi ont présenté les faibles résultats. Les autres variétés y compris les variétés témoins ont scoré des valeurs intermédiaires (Figure 3.11).

L'analyse graphique 3.12 indique que 11 variétés possèdent un PMG supérieur à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta dur) et uniquement 14 variétés qui détiennent un PMG plus bas.

Le choix de 11 variétés marocaines assure un gain de 0.74 à 12.32g par rapport à la moyenne de 4 variétés algériennes considérées comme élites.

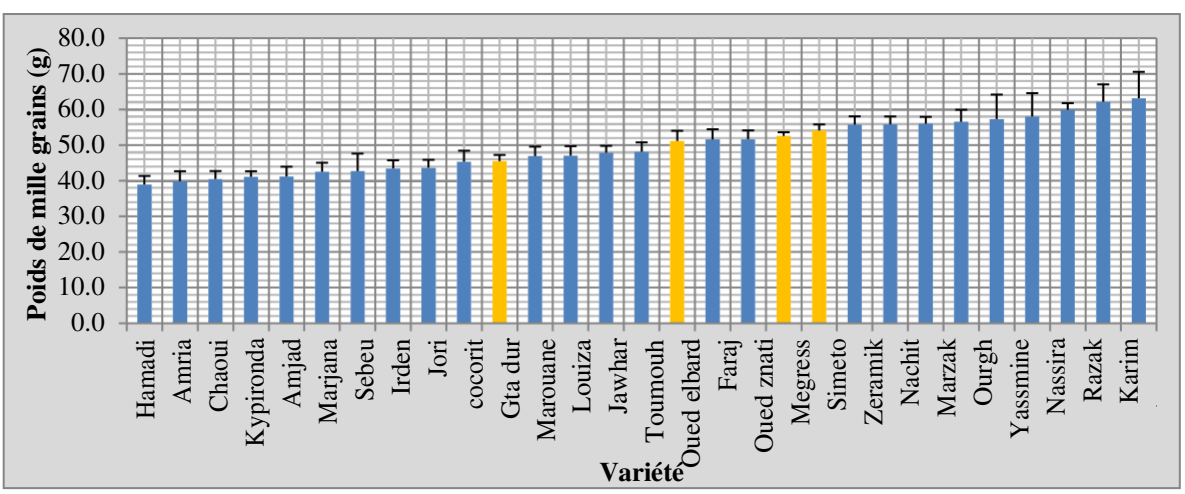


Figure 3.11 : Variation du poids de mille grains des variétés étudiées

Les hautes températures et le déficit hydrique semblent les facteurs limitants du poids de mille grains. Dans ce contexte, un manque d'eau après la floraison combiné aux températures élevées entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse et/ou de la durée de remplissage, ce qui se traduit par l'échaudage des grains (Chaker, 2003). Erchidi et al. (2000), ont mentionné que la durée et la vitesse de

remplissage expliquent 97% de la variabilité du poids des grains de blé dur et que ces deux composantes sont négativement corrélées. Le remplissage des grains se fait essentiellement par les assimilas récemment photosynthétisés. Les limitations qui apparaissent à ce niveau (remplissage du grain) sont liées beaucoup plus à la capacité des grains au stockage (puits), qu'aux capacités photosynthétiques. Cependant, les conditions climatiques peuvent influencer le PMG (Grignac, 1964). Le nombre de grains par épis influe négativement sur le poids de mille grains d'après Grignac (1981) qui précise que le poids de mille grains diminue lorsque la fertilité de l'épi augmente.

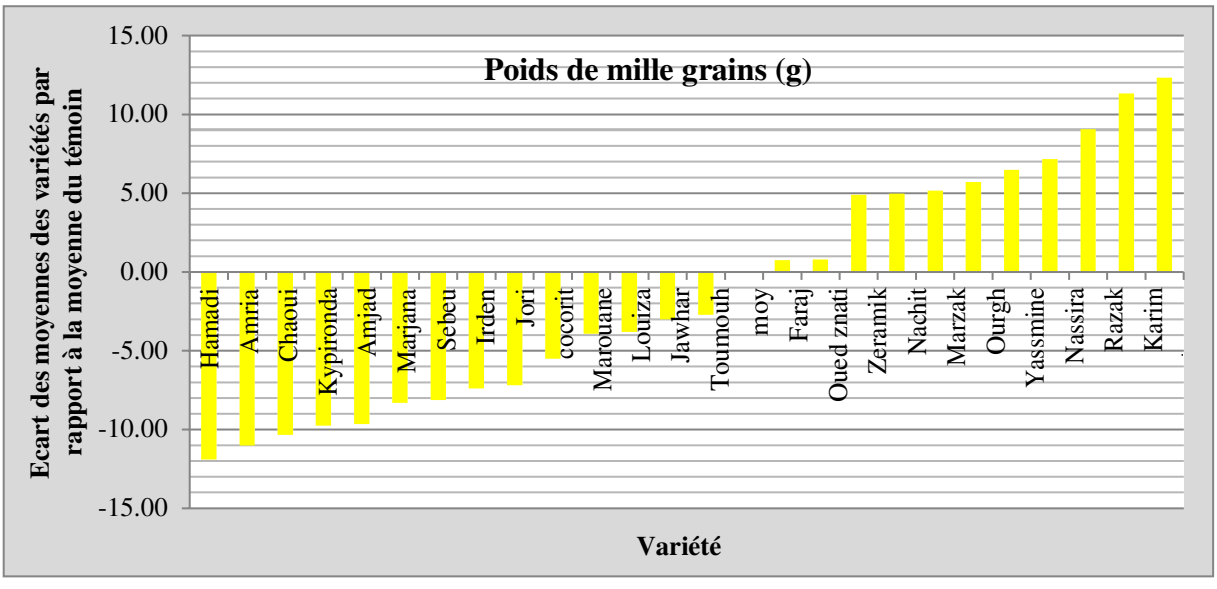


Figure 3.12 : Ecart par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur) du poids de mille grains des variétés étudiées

Le poids de mille grains est un critère variétal très important utilisé surtout dans la sélection des variétés pour caractériser la grosseur et la densité des grains, Selon Fellahi et al. (2017), aucune relation significative entre le poids de mille grains et le rendement. D'autres études n'aient pas trouvé d'association du poids de grain avec le rendement sous irrigation (Slafer et al., 2014). D'après ces auteurs, et puisque le PMG est instable et ne contient pas toute l'information pour prédire le rendement, il est recommandé de prendre en considération d'autre composante comme le nombre de grains par épi et le nombre d'épi par m².

3.2.4. Nombre d'épis par m²

L'analyse de la variance a montré un effet variété très hautement significatif pour le nombre des épis (Tableau 3.2). La meilleure valeur pour ce paramètre a été enregistrée par le génotype Toumouh 189,8 épis/m², tandis que la valeur la plus faible a été montrée par le

cultivar Oued Znati (72,3 épi/m², Figure 3.13). Les variétés témoins avec les autres variétés marocaines ont pris une position intermédiaire.

Un coefficient de variation de 66% pour le nombre d'épi est un résultat impeccable car ce paramètre participe fortement dans la détermination du rendement en grains d'après beaucoup de recherche (Laala et al., 2009 ; Oulmi, 2015 ; Kirouani, 2019 ; Kirouani et al., 2019)

Par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur), 15 variétés marocaines possèdent un nombre d'épis plus important, en l'occurrence 10 variétés marocaines possèdent un nombre d'épis plus faible (figure 3.14). Cette information est utile dans le sens, si on choisit les meilleurs 15 variétés, on pourrait assurer un gain important dans le nombre d'épi, il est de l'ordre de 2.5 à 54.1 épis/m².

La capacité de former un nombre élevé d'épi est liée probablement à la capacité d'une variété à former un nombre élevé de talle garni à un système racinaire volumineux.

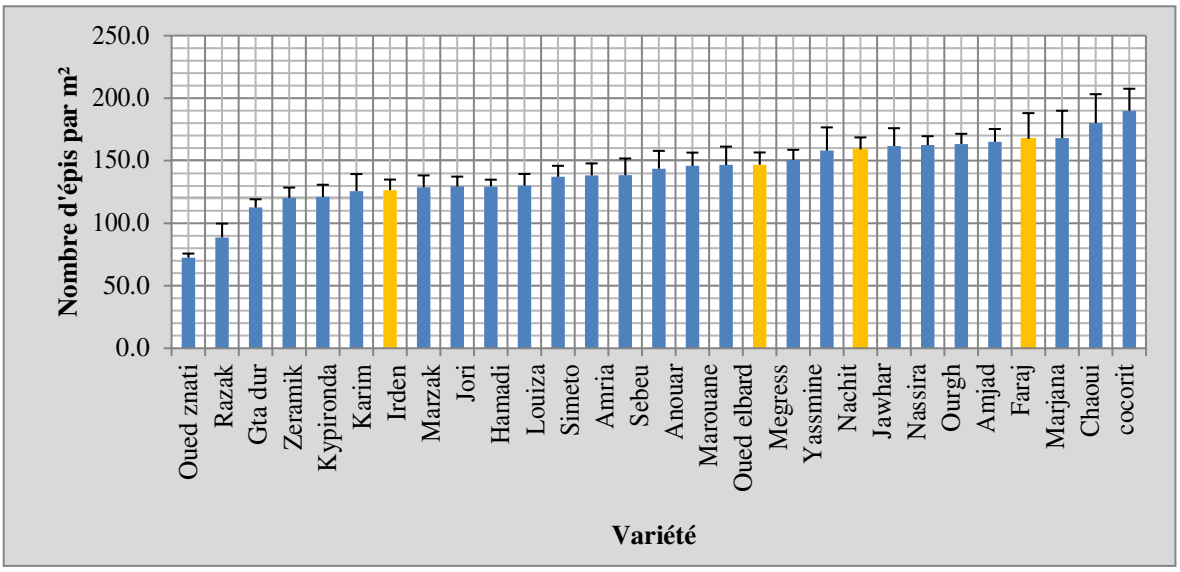


Figure 3.13 : Variation du nombre d'épis par m² des variétés étudiées

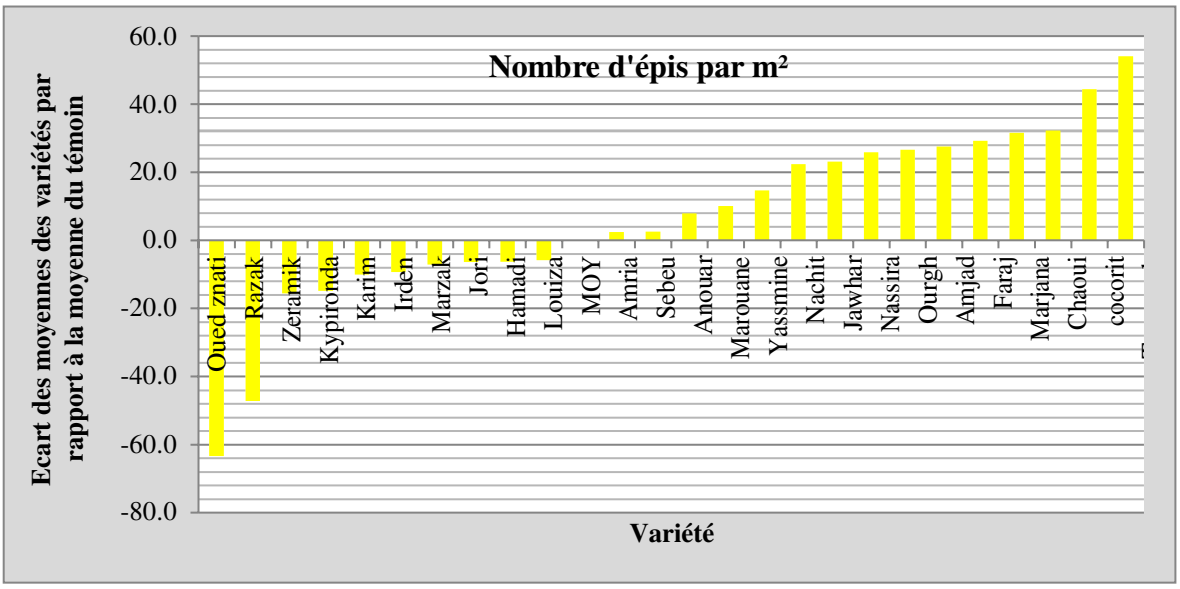


Figure 3.14 : Ecart par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur) du nombre d'épis par m² des variétés étudiées

Un déficit hydrique à la montaison se traduit par la chute du nombre d'épis par m², la régression intense des talles et la réduction du nombre de grains par épi, notamment par augmentation du taux d'avortement des épillets et l'induction de stérilité du pollen (Slama et al., 2005). Ben Belkacem et Kellou (2001) mentionnent l'apparition du déficit hydrique au début de la montaison réduit de 10 à 25% le nombre d'épis. Ben Salem et al. (1991) rapportent que dans les zones arides, le rendement est plus lié au tallage épis qu'au tallage herbacé. Ce qui s'explique par le fait que dans ces zones, toutes les talles produites, sous l'effet de la compétition pour l'eau, n'arrivent pas à former des épis.

Le nombre d'épi/m² est comme un critère de sélection puisqu'il permet l'estimation du rendement. La sélection des nouvelles variétés pour le rendement en grain doit se faire en fonction de ce caractère. Laala et al. (2009) rapportent que le nombre d'épi est un caractère adaptatif qui régule la production en milieux variables. Ferdous et al. (2010) mentionnnent que le nombre d'épis par plante contribue positivement au rendement, de ce fait il doit être inclus dans un indice de sélection pour améliorer le rendement. Oulmi (2015) trouve que le rendement grain est étroitement lié au nombre d'épis intra et inter générations et propose de sélectionner ce caractère pour améliorer indirectement le rendement en grains.

3.2.5. Nombre de grains par épi (NGE)

L'ANOVA des valeurs prises par le nombre de grains par épi a révélé une différence très hautement significative (Tableau 3.2). Les valeurs de paramètre varient de 61.4 grains, valeur moyenne enregistrée chez Sebeu à 31 grains, valeurs moyenne notée chez Nassira (Figure 3.15).

Le test de comparaison de moyenne a permis de sélectionner Sebeu Hamadi et Kypironda, variétés les plus productrices de grains par épis et que Nassira classée dans un groupe séparé est la variété la moins productrice de grains par épi. Les variétés témoins ont occupé une classe intermédiaire.

Une diversité élevée pour cette variable entre les variétés étudiées si en se référant à la valeur du coefficient de variation qui est égal à 49.4% (Tableau 3.2). Cette variabilité pourrait contribuer à améliorer la production locale par l'intégration des variétés marocaines élites au sein de nos programmes d'amélioration.

06 variétés possèdent les valeurs du nombre de grains par épi les plus élevées et le reste sont des variétés qui produisaient un nombre plus bas par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur, Figure 3.16). Un gain de 1.3 à 3.4 grains qui pourraient être obtenu suite à la sélection de 6 variétés marocaines à savoir : Louiza, Jawhar, Toumouh, Irden, Jori, Amria.

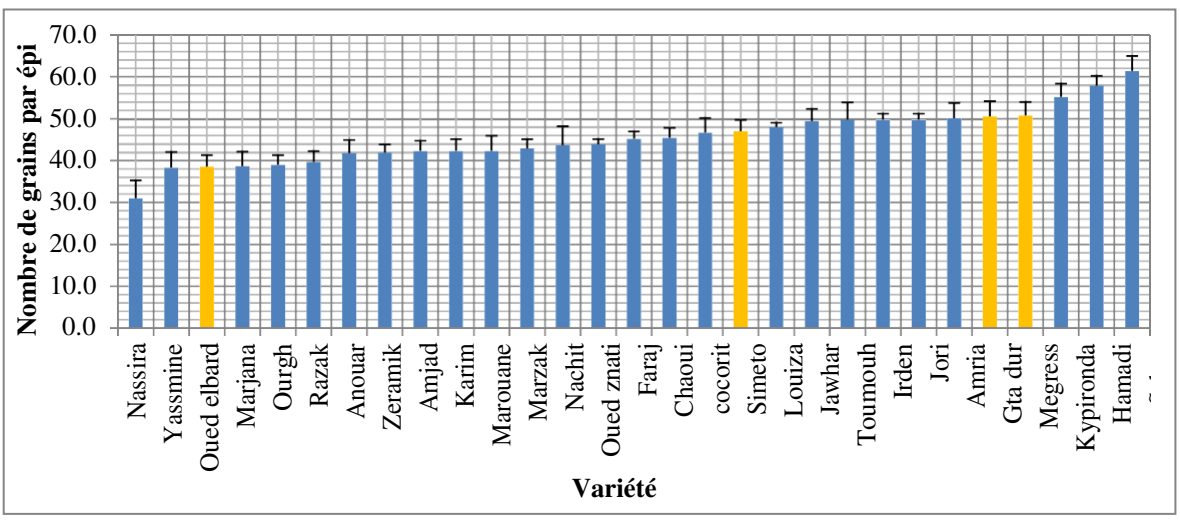


Figure 3.15 : Variation du nombre de grains par épi (NGE) des variétés étudiées

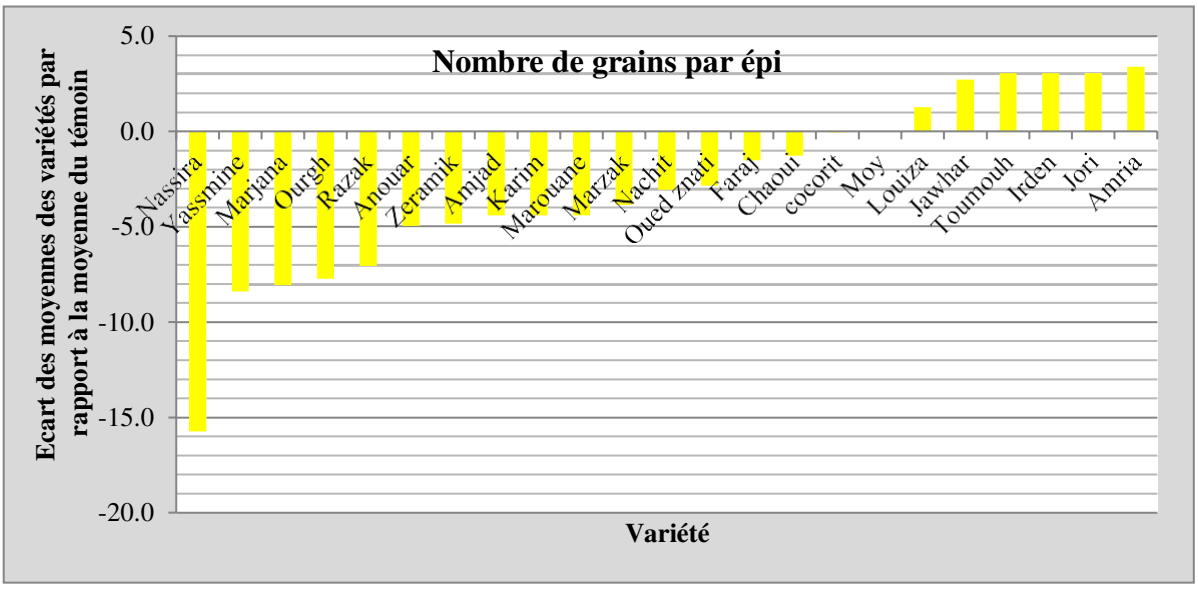


Figure 3.16 : Ecart par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur) du nombre de grains par épi des variétés étudiées

La connaissance des liaisons qui existent entre les composantes et le rendement permet d'identifier les composantes à utiliser comme critères de sélection. Ces informations permettent d'orienter le processus de sélection de manière à promouvoir les caractères capables d'engendrer une amélioration du rendement. Le nombre de grains par épi est un facteur important de la productivité. Il est la composante de rendement la plus importante, elle joue un rôle primordial dans la variabilité du rendement (Nachit, 1986). Saraoui (2011) déclare une corrélation positive et significative entre le nombre de grains par épi et le rendement grain.

L'amélioration du rendement passe nécessairement par le raisonnement sur le nombre de grains par épi qui explique selon Hamada (2002), 75 % des variations du rendement. De ce fait, la sélection concomitante pour les épis et/ou le nombre de grains par épi débouche forcement à l'amélioration de la productivité, mais toute en étudiant l'effet de compensation entre les composantes, qui selon plusieurs auteurs, peut être négatif en produisant des impacts incontrôlés sur le rendement grain sous conditions semi-arides (Bahlouli et al. , 2005 ; Elhani, 2007).

3.2.6. Nombre de grains par m²

L'analyse de la variance pour le nombre d'épi par m^2 a montré un effet très hautement significatif (Tableau 3.2), Ce nombre varie de 3157 à 9102 grains/m². Le test de Fisher classe les variétés en trois groupes significativement différents. Toumouh, Sebeu, Cocorit et Jawhar présentaient les meilleures valeurs alors que les variétés Raszak et Oued Znati

détiennent les faibles valeurs du nombre d'épi par m². Les variétés témoins avaient des valeurs intermédiaires (Figure 3.17).

Par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur), 15 variétés possèdent le nombre de grains par m² le plus élevé et 10 variétés possèdent le nombre de grains par m² le plus bas (figure 3.18)

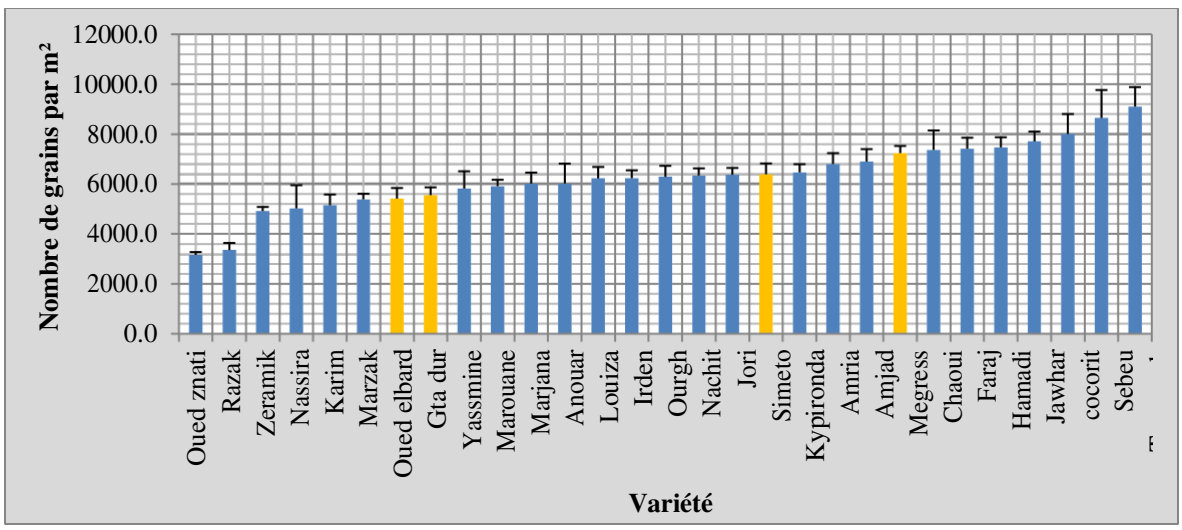


Figure 3.17 : Variation du nombre de grains par m² des variétés étudiées

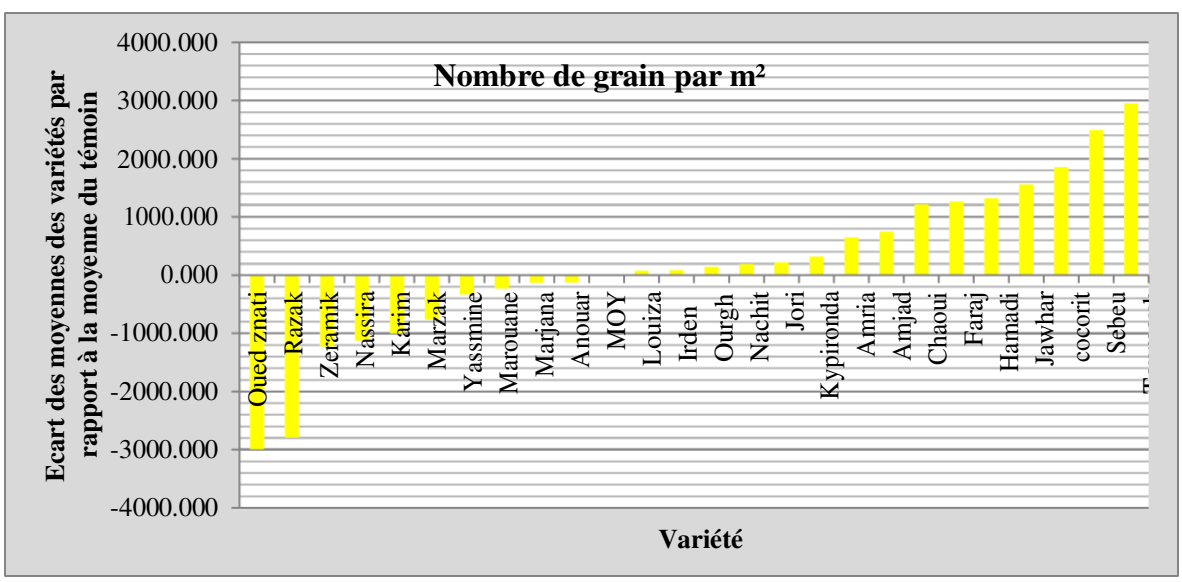


Figure 3.18 : Ecart par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur) du nombre de grains par m² des variétés étudiées

Le nombre de grains produit par unité de surface, résultant du produit du nombre des épis et du nombre de grains par épi, est le caractère le plus fortement lié au rendement. La plupart des études s'accordent pour dire que le nombre en grains par m² explique le mieux

le rendement (Slafer et al., 2014). Mais les améliorations de rendement sous stress hydrique avec le NGM² ont eu un succès limité, car le NGM² est aussi imprévisible que le rendement lui-même (Dolferus and Richards, 2011). Le coefficient de variation confirme la présence d'une forte diversité comme enregistré précédemment avec le nombre d'épi ou grains, avec son pourcentage très élevé (64.3%) au sein de nos variétés qui laisse une panoplie de choix pour le sélectionneur qui veut augmenter le rendement à travers ce paramètre.

3.2.10. La surface foliaire (cm²)

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative pour la surface foliaire qui varie entre 9 ,74 à 30 cm² (Figure 3.19). avec un bon coefficient de variation entre les variétés étudiées qui est de l'ordre de 51.6% (Tableau 3.2), un bon indicateur que les cultivars analysés n'ont pas tous la même surface foliaire, et puisque la feuille est le centre réactionnel de la photosynthèse, ce paramètre est très intéressant.

La comparaison de moyenne a montré clairement que Oued Znati (30 cm²) a développé des feuilles de grande taille, classée dans groupe séparé, en l'occurrence et l'exception de la variété Megress les autres variétés témoins Gta dur, Simeto et Oued Elbared se sont caractérisées par une surface foliaire réduite, elle est de l'ordre de 10 cm² (Figure 3.19).

Par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur), la majorité des variétés l'ont dépassé avec des écarts allant de 0.15 à 17.9 cm². Sauf trois variétés marocaines qui ont exprimé des valeurs légèrement inferieures à la moyenne, ces variétés sont Oued Znati, Kypironda et Chaoui (figure 3 .20).

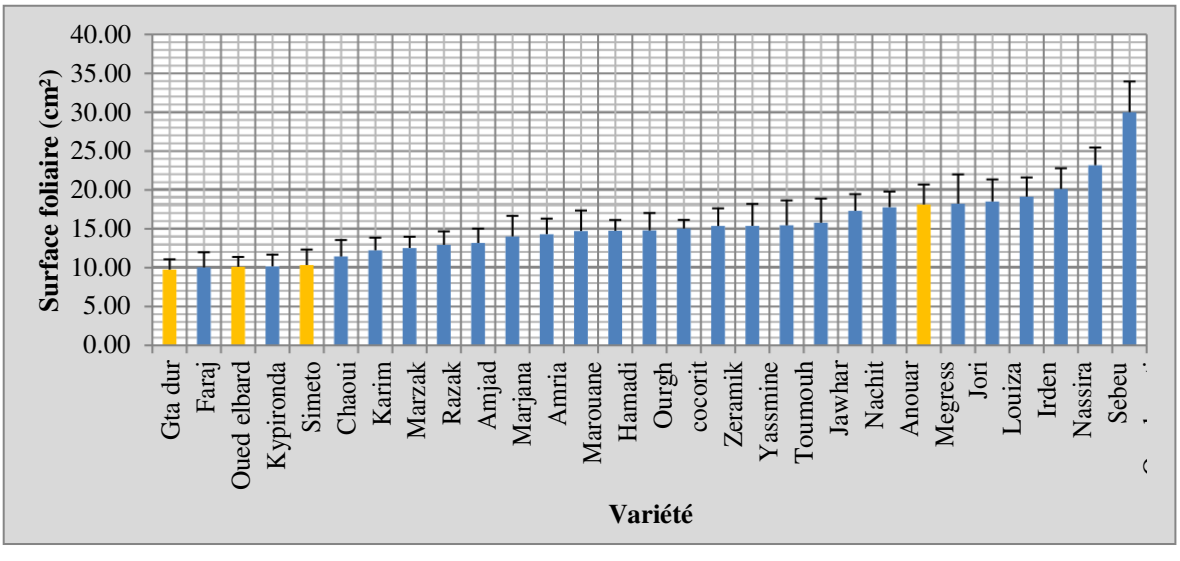


Figure 3.19 : Variation de la surface foliaire des variétés étudiées de blé dur

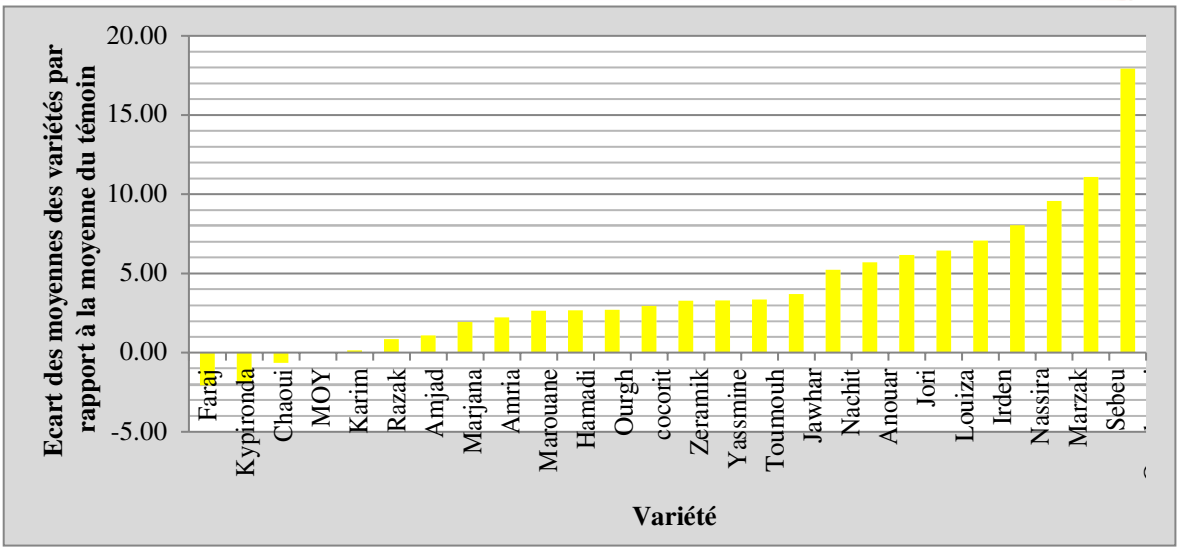


Figure 3.20 : Ecart par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur) de la surface foliaire (cm²) des variétés étudiées

D'après Rawson et al. (1977) et Blum (1999), la réduction de la surface foliaire est une réponse de la plante à la sécheresse. Kirouani et al. (2019) ont noté que Megress se caractérise par une surface foliaire réduite ce qui a mené à la réalisation d'un bon rendement en grains. Ce qui suggère que la réduction de la surface foliaire est un mécanisme intéressant qui permet de bien gérer les ressources en eau existantes dans le sol pour lutter contre le stress hydrique et par conséquent obtenir un rendement élevé, un cas similaire a été obtenu dans la présente étude.

Chez le blé, l'enroulement foliaire chez certaines variétés résistantes peut être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation (Amokrane et al., 2002).

3 .2.11. Hauteur de la végétation (HV)

L'analyse statistique des données pour la hauteur de végétation indique une différence hautement significative entre les cultivars analysés (Tableau 3.2). Ainsi les valeurs de cette variable s'écartent de 66.8 à 114.3cm avec une faible diversité d'après la valeur fable du coefficient de variation (13.4%). Zeramik et Oued Znati, regroupées dans un groupe séparé ont eu la hauteur la plus élevée (114.3 et 110.8 cm respectivement), tandis que Amjad et Marouane ont eu la hauteur la plus courte (66,8 et 69.1 cm respectivement, Figure 3.21).

Par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur), 13 variétés possèdent des hauteurs de végétation plus élevées et 12 variétés possèdent des hauteurs de végétation plus basses (figure 3.22). Le choix des variétés plus

hautes que les variétés témoins nous permet de gagner des hauteurs allant de 1.2 à 35.9 cm. Ce gain va contribuer efficacement dans la disponibilité de la paille surtout dans les régions semi arides où l'élevage des animaux est prononcé.

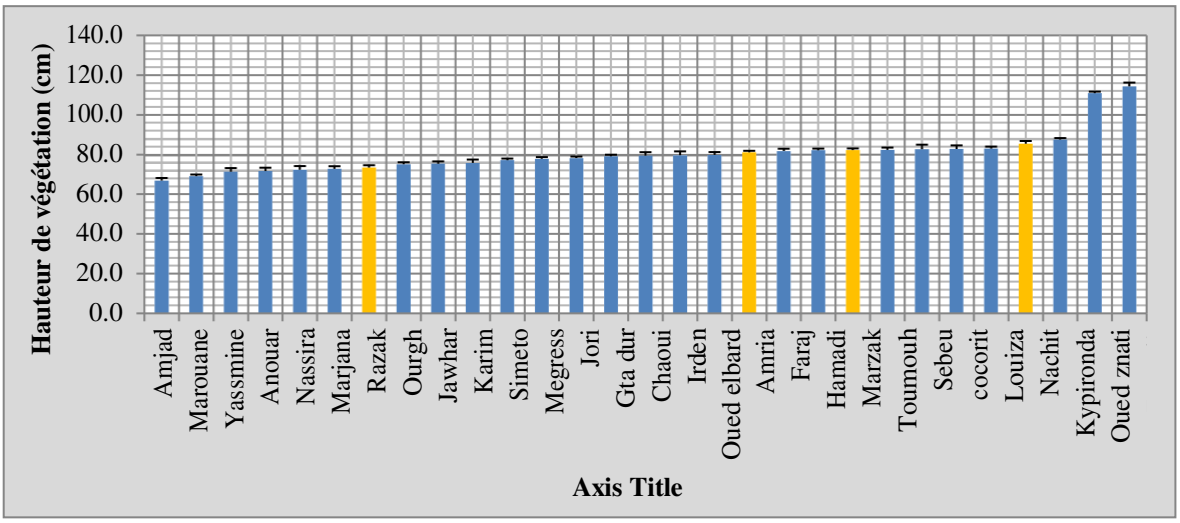


Figure 3.21 : La Hauteur de la végétation de des différents génotypes

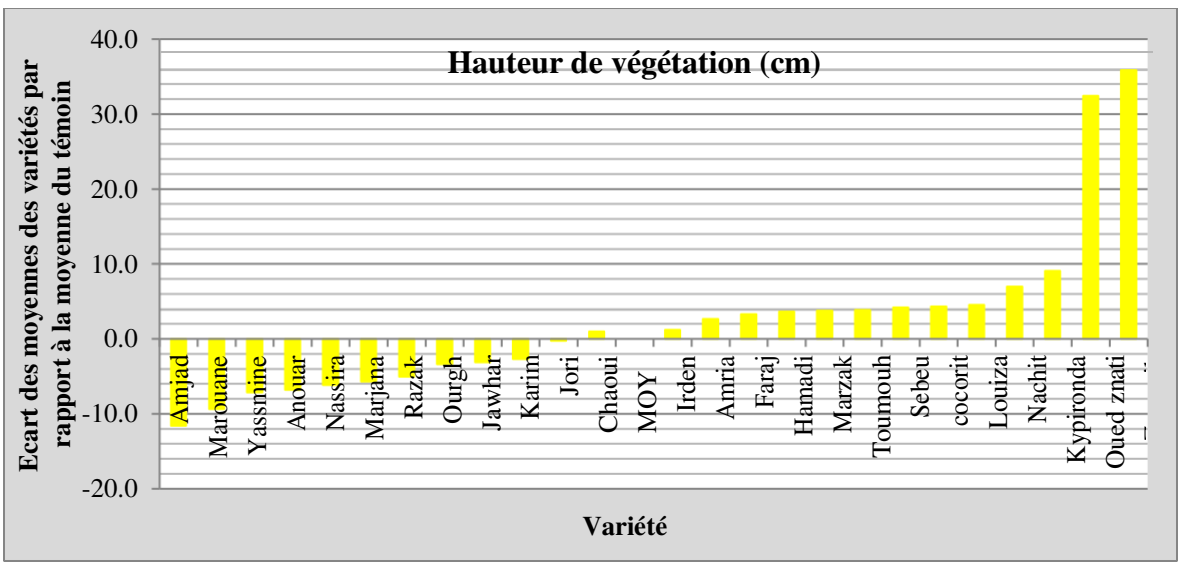


Figure 3.22 : Ecart par rapport à la moyenne des variétés témoins (Megress, Oued Elbared, Simeto et Gta Dur) de la Hauteur de la végétation des variétés étudiées

La hauteur de végétation peut être un critère important pour la sélection dans les zones semi-arides et surtout durant la sécheresse, par la richesse disponible en matière de glucide au niveau des talles, contribue positivement à la formation et à la finition des grains. Cette caractéristique est désirée durant les années sèches (Annichiarico et al., 2005). Dans le cadre de la présente étude, la hauteur de végétation est plus longue uniquement chez les cultivars Oued Znati et Zeramik par rapport aux autres cultivars. Ces variétés locales, qui sont de moins en moins adoptées par la grande culture, introduisent la variabilité pour la

hauteur de végétation au détriment du rendement. La paille longue est désirable suite au rôle que joue le rendement en paille pour couvrir la demande en énergie par les animaux d'élevage. Mais l'adoption des variétés courte comme Toumouh, Megress, Faraj ou Jawhar apporte un plus significatif en rendement, qui se fait au détriment de la hauteur de la végétation et donc le plus souvent au détriment du rendement paille. Sip et al. (2009) notent que les génotypes modernes sont des demi-nains puisqu'ils portent l'un des gènes de Rht, ce qui a eu un effet positif sur le rendement en grain, ils ont constaté aussi qu'en méditerrané, sous des conditions pluviale sèches que la hauteur de végétation a un effet positif sur le rendement. Pour cette raison Royo et al. (2014) déclarent qu'il est souhaitable que les génotypes conservent leur hauteur dans les zones arides pluviales.

CONCLUSION

Le développement des variétés performantes et tolérantes aux stress biotiques et abiotiques est un objectif à longue halène et nécessite une étude de comportement sur plusieurs années répartie sur plusieurs sites. Pour ce faire nous avons testé pour la première fois en Algérie un matériel génétique d'origine marocaine composé de 25 variétés de blé dur comparé à des témoins élites cultivés et inscrits au catalogue officiel algérien. Cette expérimentation a été réalisée sous un climat semi aride au niveau de l'ITGC de Beni Slimane (Médéa).

Des résultats très encourageants ont été obtenus indiquant la présence d'une grande variabilité phénotypique sur la base d'un ensemble de caractères phénologiques, biométriques et agronomiques. Les caractères les plus sensibles à la variation sont le rendement en grains et ses composantes et à moindre degré la surface foliaire par contre la durée de la phase végétative et la hauteur de la plante ont connu peu de diversité vu la spécificité de la région.

L'attaque de l'ensemble des variétés par l'oïdium principalement et à moindre degré par la septeriose et les tâches auréolées nous a donné l'occasion d'une évaluation visuelle en se basant sur l'échelle de Saari et Precott (1975). Cette dernière a pu sélectionner Amjad, Jawhar, Jori et Karim, comme des variétés marocaines les plus tolérantes. L'utilisation de ces cultivars pourrait contribuer à l'amélioration de la tolérance des variétés algériennes vis-à-vis les maladies.

La hauteur de végétation et la durée de végétation cannaient une faible diversité, en effet les variétés hautes : Zeramik, Oued znati et Kypironda étaient caractérisées par une durée de végétation plus longues. Les autres variétés y compris les témoins sont dotées de courtes pailles et une durée de végétation aussi courte.

Le rendement est un caractère fortement recherché par l'agriculteur et le sélectionneur, dans la présente étude, beaucoup de variétés marocaines ont exprimé un rendement élevé, on peut citer : Toumouh, Faradj, Jawhar, Nachit, Ourgh et Cocorit à coté des deux variétés témoins Megress et Simeto. Ces variétés étaient caractérisées aussi par soit un nombre d'épi élevé comme le cas de Faraj ou un PMG élevé comme le cas de Nachit ou Ourgh ou un nombre d'épi élevé accompagné par un PMG aussi élevé, c'est la variété la plus performante Toumouh.

En perspectives. Cette étude constitue le point de départ de tout programme d'amélioration génétique afin de créer des variétés performantes et tolérantes contre les maladies surtout cryptogamiques. Et établir par la suite des essais multi-locaux afin de mieux étudier l'effet des interactions génotype X environnement.

Références bibliographiques

Abbassenne, F., Bouzerzour, H. et Hachemi, L., "Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf) en zone semi-aride d'altitude", Annales Agronomique, INA, V.18, (1997), 24 - 36.

Acevedo, E., Craufurd, PQ., Austin, RB. and Perez-Marco, P., "Traits associated with high yield in barIey in low-rainfall environments", Journal of Agricultural Science, V.116, (1991), 23 - 36.

Aguiriano , E ., Ruiz, M., Fite, R. And Carrillo, JM., "Analysis of genetic variability in a sample of the durum wheat (*Triticum durum* Desf.) Spanish collection based on gliadin markers", Genetics Resources and Crop Evolution, V.53, (2006), 1543 – 1552.

Alamm.S., Nesam.N., Khans.K., Hossaim,.B. and Hoque A., "Varietal differences on yield contributing characters of wheat under diffirent levels of nitrogen and planting methods". Journale of applied sciences research ,V. 3(11) ,(2007), 1388_1392.

Allioui N., "Etude de quelque altérations physiologiques et biochimiques causées par la rouille brune du blé « *puccinia recondita* f.sp. *Tritici* » chez le blé dur « *triticum durum* desf", Thèse de magister en biologie végétale, option écotoxicologue végétale, université Badji Mokhtar Annaba, (1997), 150 P.

Amokrane,A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. et Djekoun,A., "Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées en zone semi-aride d'altitude. Sciences et Technologie", Univ de Constantine, N° spécial D, (2002), 33 - 38.

Annerose, D., "recherches sur lesmécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l"arachide (arachis hypogea cultivée au sénégal".Thèse de doctorat es sciences naturelles, Université Paris, (1990) , 282p.

Annicchiarico, P., Chiari, T., Bazzani, F., Bellah, F., Doucene, S., Yallaoui-Ya¨Ici, N., Abdellaoui, Z., Belloula, B., Bouazza, L., Bouremel, L., Hamou, M., Hazmoune, T., Kelkouli, M., Ould-Said, H., Zerargui, H.,. "Response of durum wheat cultivars to algerian environments". I.yield. J. Agric. Environ. Int. V, 96 . (2002) , 157–187.

Annichiarico, P., Abdellaoui, Z., Kelkouli, M. And Zerargui H., "Grain yield, straw yield and economic value of tall and semi dwarf durum wheat cultivars in Algeria", Journal of agricultural Science, V.143, (2005), 57 – 67

Aouali,S ., Douici-Khalfi,A. , "Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie : symptômes, développement, et moyens de lutte ", ITGC, EL harrach, Alger , (2009) 56p.

Araus, J.L., Amaro, T., Voltas, J., Nakhoul, H., Nachit, M.M.,. " Chlorophyll florescence as a selection criteria for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions". Field Crop Research, V. 55 , (1998) , 209-223.

Araus, J.L., Slafer, G.A., Reynolds, M.P. and Royo, M.A.J., "Plant breeding and water relatios in C3 cereals: what should we breed for?", Annals of Botany, V.89, (2002), 925 - 940.

Asseng, S., Foster, I. and Turner, N.C., "The impact of temperature variability on wheat yields", Global Change Biology, V. 17, (2010) , 997-1012.

Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. And Hassous, K.L., "Selection of high yielding of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) Under semi arid conditions", Journal of agronomy, V.4 , (2005), 360 - 365.

Baily R.,. " Guide pratique de défense des cultures. Reconnaissance des ennemis Notion de protection des cultures ; Edition" ,Tarif. ACTA, (1980) ,419 p.

BAJJI, M., Lutts, S., & Kinet, J , "La résistance au stress hydrique chez le blé dur : Comparaison des comportements au niveau cellulaire et au niveau de la plante entière". Zaragoza : ciheam. Options Méditerranéennes : série A. Séminaires méditerranéens, V.40 , (2000).,227- 231.

Balota, M., Payne, WA., Evett, SR. and Lazar, MD., "Canopy temperature depression sampling to assess grain yield and genotypic differentiation in winter wheat", Crop Science, V.47, (2007), 1518 - 1529.

Barbottin, A., "Utilisation d'un modèle de culture pour évaluer le comportement des génotypes : Pertinence de l'utilisation d'Azodyn pour analyser la variabilité du rendement et de la teneur en protéines du blé tendre", Thèse de doctorat en agronomie, Institut National Agronomique, Paris-Grignon, (2004), 178p.

BEGOS P., "Reconnaitre les maladies des céréales, dossier fongicide, paysan breton" (2005).1p.

Belaid ,D.,"Aspects de la céréaliculture Algérienne". Ed. Office des publications universitaires,Ben-Aknoun,(Alger), (1996) ,206p.

Belkharchouche,H.,Fellah,S.,Bouzerzour,H.,Benmahammed,A.,etChellal,N,"vigueurde croissance, translocation et rendement En grains du blé dur (Triticum durumdesf.) Sous conditions semi arides". Courrier du Savoir, V.(09), (2009).17-24.

Benbelkacem A., Kellou K , " Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (triticum turgidum l. Var. Durum) cultivées en algérie options méditerranéennes", V.6 ,(2001). 105-10.

Benmahammed,A., Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, A., Bouzerzour, H., "Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides", Biotechnologie Agronomie Société et Environnement, V.14, (2010), 177 - 186.

BERKA, S., & Aïd, F.. Réponses physiologiques des plants d"Argania spinosa skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. Sécheresse, Biochem biophys ,V. 20 (3) ,(2009), 296-302. .

Bernicot,M. et Braune, Ph., "Le point de départ. Blé dur objectif qualité", ITCF, (1994), 34 - 35.

Blum,A.,Zhang,J.,Nguyen,H.T , "Consistent differences among wheat cultivar sinos motic adjustment and their relation ship to plant production". Field Crop research , V.64 ,(1999) ,287-291.

BOUSBA, R., Ykhlef, N., & Djekoun, A. (2009). "Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (Triticum durum Desf.) ", World Journal of Agricultural Sciences , V.5, (1999), 609 -616.

Brancourt-Hulmel, M., "Sélection variétale et milieu : Sélection pour l'adaptation au milieu et prise en compte des interactions génotype/milieu". Oléagineux, Corps Gras, Lipides, Vol.7,n° 6, Ed. AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, (2000), 504 - 511.

Canterro-Martinez C, Villar JM, Romagosa I, Fereres E., "Growth and yield responses of two contrasting barley cultivars in a mediterranean environment". Eur agron ,V4, (1995),317-26.

Caron,D., "Les maladies des blés et des orges. Ed ITCF" , France , (1993) ,87p.

Cavalier M., Maroquin C. Et Steyer S., "Les maladies des céréales" : fiches signalétiques, station de phytopathologie Gembloux , (1992) , 26p.

Ceccarelli S., Grando S., Impiglia A., "Choice of selection strategy in breeding barly for stress environments". Euphtica, V.103 , (1998) , 307-318.

Ceccarelli, S., Grando, S., Maatougui, M., Michael, M., Slash, M., Haghparast, R., Rahmanian, M., Taheri, A., Al-Yassin, A., Benbelkacem, A., Labdi, M., Mimoun, H. and Nachit, M., "Plant breeding and climate changes", Journal of Agricultural Science, Cambridge, V.148, (2010), 627 -637.

Chabane, M., "L'agriculture de conservation : voie de sécurité alimentaire dans les pays du Maghreb", IV Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct, Option Méditerranéennes, V. 96, (2010), 189 - 208.

Chaker, A., "Etude de l'effet des stress thermiques (chaleur et froid) sur quelques paramètres physiologiques et biochimiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.)". Thèse de doctorat d'état en science, Univ. Annaba,(2003).

Clarke, J. M , "Effect of leaf rolling in leaf water loss in Triticum spp" , Can j plant sci , V.66, .(1986), 885-891.

Collinson, S., Clawson, E., Azam-Ali, S., & Black, C. , "Effects of moisture deficits on the water relations of bambara groud nut (Vigna subterranean L. Verdc.) ". J exp Bo , V.48 , (1997). 877-84.

Cornic, G ., "Effet de la contrainte hydrique sur la photosynthèse foliaire" , De l'utilisation expérimental des relations A/Ci et acc, article,D'information et de liaison du PNTTA ,V.77, (2008), 4p.

Cosgrove, D.J., "Growth of the cell wall". Nature Reviews. Molecular Cell Biology, V.6, (2005), 850 - 861.

Day, W., "Growth of spring barley under drought : crop development photosynthesis, dray-matter accumulation and nutrient content", Journal of experimental Botany, V.96, (1981), 167 - 186.

Debaeke, P., Purch, J., Casal, M.L., "Elaboration du rendement de blé d'hiver en condition de deficit hydrique; I; Etude en Iysimètre", Agronomie, V.16, (1996), 3 - 23.

Dolferus, R., Ji, X., and Richards, R. A. , "Abiotic stress and control of grain number in cereals", Plant Sci, V.181 , (2011) , 331–341.

Douimi R, Saadaoui EM , Jlibene M., "Effets de la tache bronzée du blé sur le rendement et certaines de ses composantes ", Porceedings deuxième symposium régional sur les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires, Rabat,Maroc , (1996) , 390p.

Doumandji, S. & Doumandji-Mitiche, B. "Ornithologie appliquée à l'agronomie et à la sylviculture", Office des Presses Universitaires, (1994), Alger.

Doussinault, G., Kaan, F., Leconte, C., et Monneveux, P.,"Les céréales à paille, présentation générale. In : Amélioration des espèces végétales cultivées by Gallais A : objectifs et critères de sélection", INRA (Ed), (1992) , 13 - 21.

Dubois G et Flodrops F., " La protection de semence" ,AGRI- NAHAN, (1987), 96p

Dubos, C. " Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat en biologie Forestière ", université henri poincaré, nancy i, (2001) , 225p.

Durand, J. L. "Les effets du déficit hydrique sur la plante ", aspects physiologiques. Fourrages,V.190, (2007), 181-195.

El fakhri, M., Mahboub, S., Benchekroun, M., & Nsarellah, N. "Effet du stress hydrique sur la répartition ionique dans les feuilles et les racines du blé dur (Triticum durum) ", Nature & Technologie, V.05 , (2010) , 66-71.

El hakimi, A., Monneveux, P. and Galiba, G. "Soluble sugars, proline, and relative water content as traits for improving drought tolerance in *Trticum durum*", Jouranl of Plant Genetics and Breeding, V.49 , (1995) , 234 - 244.

Elhani, S., Martos, V., Rharrabti, Y., Royo, C., Garcıa del Moral, L.F., "Contribution of mainstem and tillers to durum wheat (*Triticum turgidum* L. Var. *Durum*) grain yield and its componentsgrown in Mediterranean environments"field Crops Research, V.103, (2007), 25 - 35.

Erchidi, A.E., Benbella, M. Et Talouizte, A., "Relation entre certains paramètres contrôlant les pertes en eau et le rendement en grain chez neuf variétés de blé dur soumises au stress hydrique", Options méditerranéennes, série A (Séminaires méditerranéens), V.40, (2000), 279 - 82.

Evans, L.T. and Rawson, H.M., "Photosynthesis and respiration by the flag leaf and components of ear during grain development in wheat". Australian Journal of Biology, (1975), 223 - 245.

Eyal, Z., Sharen, A.L., Prescott, J.M. & van Ginkel, M., "The Septoria diseases of wheat: concepts and methods of disease management" , Mexico, DF, CIMMYT, (1987) ,52p.

Ezzahiri, B., "Les maladies du blé : Identification, facteurs de développement et méthodes de lutte", Transfert de technologie en agriculture, V.77, (2001), 1–4.

Faostat (2018), 'wheat statistics in the world (y plus)'. [online ; stand 19. February 2018]. Url: http ://www.fao.org/faostat/en/data/

Fellahi, Z., Hannachi, A., Ferras, K., Oulmi, A., Boutalbi, W., Bouzerzour, H. And benmahammed, A., "Analysis of the phenotypic variability of twenty F3 biparental populations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) Evaluated under semi-arid". Journal of fundamental and applied sciences , V.9 , (2017) , 102 - 118.

Ferdous, M.F., Shamsuddin, A.K.M., Hasna, D., and Bhuiyan, M.M.R., "Study on relationship and selection index for yield and yield contributing characters in spring wheat". Journal of the bangladesh agricultural university, V.8, (2010), 191 - 194.

Feuillet, C.,Travella, S.,Stein.NMap base disolation of the leafrust disease resistance genel r10 from the hexa ploid wheat (*Triticum aestivum* L.) Genome. Proc natl acadsci.USA, V.100, (2003),15253– 15258.

Fischer R.A. ET Maurer R., "Drought resistance in spring resistance wheat cultivar" , I. Grain yield responses. Aust, J, Agri, Res, V.29, (1978),105-912.

Fokar M., Nguyen H .T. ET Blum A., "Heat tolerance in spring wheat II", Grain filling eupytica,V.104, (1998) 9- 15.

Gate, P., Bouthier, A., Casabianca, H. and Deleens, E., "Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France : interprétation des corrélations entre le rendement et la composition isotopique du carbone des grains", Colloque n° 64, INRA, Paris, (1993).

Gazeau, C. , "Les végétaux et les basses températures.marina botard ep. Raffaud tuteur" , claude gazeau, Université pierre et marie curie (paris 6) deug science et vie année ,(2002).

Ghennai, A., Zérafa, C. et Benlaribi, M., "Étude de la diversité génétique de quelques variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et de blé dur (*Triticum durum* Desf.) selon la base des caractères de l'U.P.O.V", Journal of Applied Biosciences, V.113, (2017), 11246-11256.

Granier, C., Inze, D., Tardieu, F., "Spatial distribution cell division rate can be deduced from that of P34cdc2 kinase activity in maize leaves grown in contrasting conditions of temperature and water status", Plant Physiolgy, V.124, (2000), 1393 - 1402.

Grignac P, "contribution à l'étude de triticum durum desf" , Thèse fac sci univ toulouse, (1964) ,152p

Grignac, P.H., "Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen français", (1981).

Hadjichristodoulou, A., "Stability performance of cereals in low rainfall areas as related to adaptative traits. In: Drought tolerance in winter cereals", U.K, (1985), 191 - 200.

Hamada Y., "Evaluation de la variabilité génétique et utilisation des espèces tétraploïdes du genre Triticum pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) " , Thèse de Magister. Univ Constantine, (2002) , 167p.

Hamrick, J.L. and Godt, M.J.W., "Allozyme diversity in cultivated crops", crop Science, Harrach, Alger ,V.37, (1997), 26 - 30.

Hancock, J.F., "Plant evolution and the origin of crop species", 2nd ed. Wallingford (UK), Cambridge, CABI , (2004) , 313p.

Hardouin, J.P., Lonnet, P., Lemaire, P., Haselé, H., Trotettet, M., Bastergue, P., Branlard, G., Jestain, G., Roumet, P., Bar, C. et Bernicot, M., "Sélection variétale des céréales à paille", Dossier Gnis, (2002).

Hayek, T., Ben Salem, M., & Zid, E. , "Mécanisme ou stratégie de résistance à la sécheresse: Cas du blé, de l'orge et du triticale" , CIHEAM-IAMZ, Options méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens, V.40, (2000) , 287-290.

Hays, D.B., Do, J.H., Mason, RE., Morgan, G. and Finlayson, SA., "Heat stress induced ethylene production in developing wheat grains induces kernel abortion and increased maturation in a susceptible cultivar", Plant Science, V.172, (2007), 1113 - 1123.

Henchi B. "Effets des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysiologie de plantago albicans. L". Thèse de doctorat d'État, université de Tunis , (1987) .

Hennouni N., " Evaluation du métabolisme respiratoire et enzymatique des racines de blé dur (Triticum durum Desf) issues de plantes infectées par les maladies cryptogamiques et de plantes traitées avec un fongicide" , (ARTEA EC 330) Thèse de Doctorat en biologie végétale, option phytopathologie, département biologie. Université Badji Mokhtar, Annaba (2012).

Henry et De Buyser., "L'origine des blés. In : Belin. Pour la science (Ed) ",De la graine à la plante. Ed. Belin, Paris, (2001) , 69-72

Hervé, Y., "Fonction et base génétique de la sélection végétale. Sélection végétale. Techniques agricoles", Fascicule n° 2340, (1991), 10p.

Hireche, Y. , "Réponse de la luzerne (Medicago sativa L) au stress hydrique et à la profondeur de semis " Mémoire de magister, Département d'Agronomie. Université EL-Hadj Lakhdar, Batna, (2006), 83p.

Hsissou, D., "Sélection In vitro et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse" , Thèse de doctorat. Univ. Catholique de Louvain. Http://www.fiches.arvalis-infos.fr/,(1994).

Kirouani A, Henkrar F, Udupa M S, Boukhalfoun L, Bouzerzour H. " Genetic diversity in algerian durum wheat varieties (*Triticum turgidum* L. var. *Durum*) using microsatellite markers" , Biosci J, V.34(6) , (2018) , 1575-1583.

Kirouani A, Ould Kiar R, Boukhalfoun L, et Fellahi Z E A. "Caractérisation de quelques variétés Algériennes de blé dur (*Triticum turgidum* L. Var. *Durum*) par le biais des marqueurs phénotypiquesv". J Appl Biosci., V. 142 , (2019) , 14464-14477.

Kirouani A. "Analyse de l'adaptation du ble dur (Triticum turgidum L. var. durum) a differentes zones agro climatiques". Thèse de doctorat en sciences. Université de Blida-1. (2019). 180p.

Kirouani A, Taghouti M, Henkrar F, Boukhalfoun L, and Udupa SM. "Bread making possibility of Algerian durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *Durum*) varieties. ", Journal of fundamental and applied sciences, V.12(3), (2020), 1222-1233.

Laala Z., Oulmi, A., Saraoui, T., Haddad, T. Nouar, H. Benmahammed, A. Et Bouzerzour, h., "effet de la sélection de la biomasse et des épis sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* desf.) Sous conditions semi-arides", annales de la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur, V.1, (2009), 56 - 69.

Laffont J , "Les maladies des céréales et du maïs", AGRI-NAHAN, (1985). Pp 4-51.

Lepoivre, P.,Phytopathologie: Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte. De Boeck Supérieur , (2003), 27-28.

Li W. and Gill, B.S., “Genomics for cereal improvement”, In: P.K. Gupta, R.K. Varshney (Eds.), Cereal Genomics, Kluwer Academic Publishers, the Netherlands, (2004) , 585 - 634.

Liu, Y., Guo, J., Zhang, D., Zhao, Y., Zhu, L., Huang, Y. And Chen, J. "Genetic diversity and linkage disequilibrium estimation among the maize breeding germplasm for association mapping", International Journal of Agriculure and Biology, V.16, (2014), 851 – 861.

MADR ,"Données statistiques du Ministère de l’agriculture. Bureau des Statistiques",(2005).

Mahaut, B., “Comment évalue-t-on la qualité d'un blé dur? In colloque. Perspectives blé dur”, Ed ONIC, ITCF, France, (1996), 29 - 31.

Mehta, Y.R. , "Wheat Diseases and Their Management" , Springer International Publishing , (2014) , 151-168.

Mekhlouf A., "Etude de transmission héréditaire des caractères associés au rendement en grain, et de leur efficacité en sélection chez le blé dur (Triticum durum, Desf) " ,Thèse de magister. INA. El Harrach. 1998, 63 p.

Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., “Determinisme genetique et associations entre le rendement et quelques caractères a variation continue chez le blé dur (*Triticum durum* desf.)”, Recherche Agronomique (INRAA), V.7, (2000), 37 - 49.

Mekhlouf, A.,Bouzerzour,H.,Benmahammed,A.,Hadj Sahraoui,A.,Harkati, N. " Adaptation des variétés de blé dur (triticum durum desf.) Au climat semi-aride. Sécheresse", V .17. (4) , (2006) ,507-513.

Menad, A., "Rythme de développement, utilisation de l’eau et rendement de l’orge (hordeum vulgare l.) Sous climat de type méditerranéen", Mémoire magister, INA, el harrach, Méthodes de lutte. Transfert de technologie en Agriculture. Bulletin mensuel, (2008) ,105p.

Miller ,RH . Pike,KS. , "Insects in wheat-based systems. In: Curtis BC, Rajaram S, Go´mez Macpherson H (eds)’, Bread wheat: improvement and production, plant production and protection series no. 30", FAO, Rome, (2002) , 367–393.

Moinuddin, R.A.F., Sayre, K.D. and Reynolds, M.P., “Osmotic adjustment in wheat in relation to grain yield under water deficit environments”, Agronmy Journal, V.97, (2005) , 1062 - 1071.

Monneveux, P., & This, D. "La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse espoirs et difficultés". Sécheresse,V. 8, (1997), 29-37.

Morgan JM. "Osmoregulation and waterin higher plants". Wheat conference 2-9 May, rabat, Marocco. Annu Rev Plant Physiol , V.35 , (1984) , 299-319.

Mouellef, A. "Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (Triticum durum Desf.)Au stress hydrique" , Mémoire magister, Faculté de biologie. Département de Biologie Végétale et Écologie, Université Constantine, (2010) , 82 p.

Nachit, M., "Durum wheat improvement" , In VARMA Ed., Cereal improvement program, icarda, (1986), 78 - 101.

Nachit, M.M., Nachit, G., Ketata, H., Gauch, H.G. and Zobel, R.W., "Use of AMMI and linear regression models to analyse genotype-environment interaction in durum wheat", Teoretical Applied Genetics, V.83 , (1992) , 97 -601.

Nasraoui B., "Principales maladie fongiques des céréales et des légumineuses alimentaire en Tunisie". Eddi CUT, (2008) , 129P.

Nicol J, Ortiz-Monasterio ,'Effects of the root-lesion nematode, Pratylenchus thornei, on wheat yields in Mexico'. Nematology , V.6, I (2004) ,485–493.

Oosterom, E.J., Ceccarelli, V.S., 'Peacock, J.M., "Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediteranean environments". J. Agric. Sci., V.121 , (1993) ,307-313.

Oosterom, EJ.Acevedo,E ,"Adaptation of barley (Hordeum vulgare L.) To harsh Mediterranean environments" , Plant ideotype and grain yield , (1992).

Paulitz, T.C., R.W. Smiley Et R.J. Cook.. 'Insights into the prevalence and management of soilborne cereal pathogens under direct seeding in the Pacific Northwest', U.S.A. Can. J. Plant Pathol , V.24 , (2002) , 416-428.

Oulmi, A., "Analyse de la tolérance du blé dur (*Triticum turgidum* var *durum* L.) Aux stresses abiotiques de fin de cycle", Thèse doctorat en sciences, Univ de Sétif-1, (2015), 159p.

Parent, B., Tardieu, F., "Temperature responses of developmental processes have not been affected by breeding in different ecological areas for 17 crop species", New Phytologist, V.194, (2012), 760 - 774.

Passioura, J., " Increasing crop productivity when water is scarce From breeding to field management In Proceedings of the 4th International Crop Science congress " ,New directions for a diverse planet, Brisbane, Australia, (2004),12p.

Rawson, H.M., Bagga, A.K. et Bremner, P.M., “Aspects of adaptation by wheat barley to sol moisture deficits”. Australian Journal of Plant Physiology, V.4, (1977), 189 - 201.

Reynolds, M., Balota, M., Delgado, M., Amani, I., Fischer, R., “Physiological and morphological traits associated with spring wheat yieldunder hot, irrigated conditions”, Functional Plant Biology, V.21, (1994), 717 - 730.

Ribot G.G., Paola S. & Edmundo A. , "Morphological and Physiological Traits of assistance in the selection of high yielding varieties of durum wheat (triticum turgidum l. Spp. Durum) for the rainfed mediterranean environments of central chile". American journal of plant sciences,V.3, (2012) ,1809-1819.

Richards, R. A., Rebtzke, G. J., Van Herwaardlen, A. F., Dugganb, B. L., & Condon, "Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding" , Dryland Agriculure, V.36 , (1997) , 254-66.

Richards, R.A., rebetzke, g.j, condon, a.g, van herwaarden a.f., "Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals", Crop sci.V. 42, (2002), 111-21.

Royo, C., Nazco, R. And Villegas, D., "The climate of the zone of origin of Mediterranean durum wheat (*triticum durum* desf.) Landraces affects their agronomic performance", genetic resources and Crop Evolution, V.61, (2014), 1345 - 1358.

Saari E E., Burnett P A,. Prescott J.M, Ransom J., Bowman J., De milliano w., Singh R P., Bekele G.,Maladies et ravageurs du blé. Guide identification au champ. CIMMYT, Mexico, (1987) ,135p

Saraoui, T., "Etude de la variabilité morphologique population f2 blé dur (*Triticum durum* desf.) Utilisation d’un indice de sélection", Thèse de magister, Univ de Batna, (2011), 80p.

Sassi, K., Abid, G., Jemni, L., Dridi-Al Mohandes, B., & Boubaker, M. , "Étude comparative de six variétés de blé dur (Triticum durum Desf.) Vis-à-vis du stress hydrique". Journal of Animal & Plant Sciences. Vol.15, Issue, V.2 , (2012) , 2157-2170.

Sayoud R., Ezzahiri B., Bouznad Z.,"Les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires au Maghreb". Edd. I.T.G.C., Alger. 64 psayoud R, Les maladies des céréales Céréaliculture, n°17, ITGC, Alger, (1987) ,30p ,20-22

Schachermayr,GM.,Siedler,H.,Gale,MD.,Winzeler,H.,Winzeler,M.,kellerb,"Identification and localization of molecular marke rslinked to thelrrust genei wheat" ,Thear.Appl.Genet, (1994) , 88 p, 110-115.

Schonfeld, M., Johnson, R., Carver, B. and Mornhinweg, D., "Water relations in winter wheat as drought resistant indicators", Crop Science, V. 28, (1988), 526 - 531.

Seyed, Y. S. L., Rouhollah, M., Mosharraf, M. H. and Ismail, M. M. R., "Water Stress. In:, Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses" ,Ismail, M. M. R. and Hiroshi, H. (eds.). InTech, Rijeka, Croatia , (2012) ,1–14.

Sinebo, W., "Trade off between yield increase and yield stability in three decades of barley breeding in a tropical highland environment". Field Crops Res, V.92 ,(2005),35–52.

Sip, V., ružek, P., Chrpová, J., Vavera, R. And Kusá, H., "The effect of tillage practice, input level and environment on the grain yield of winter wheat in the czech republic", field crops research, V.113, (2009) , 131 - 137.

Slafer, G.A., Savin, R., and Sadras, V.O., "Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment", field crops research, V.157, (2014), 71 - 83.

Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M., & Zid, E., " Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance (Inrat) " , V.16 (3), (2005), 225-229.

Sorrells ME, Diab A, Nachit M. "Comparative genetics of drought tolerance" , Options méditerranéennes série A (Séminaires méditerranéens),V.40, (2000) ,191-201.

Syngenta (2015), 'les maladies de blé'. [online ; stand 20. February 2014].

Tahri, E., Belabed, A., & Sadki, K. , "Effet d"un stress osmotique sur l"accumulation de proline, de chlorophylle et des arnm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (Triticum durum Desf.) " ,Bulletin de l'Institut scientifique. Rebat,V. 21, (1997) , 81-89

Thompson, J.A. and Nelson, R.L. "Core set of primers to evaluate genetic diversity in soybean", Crop Science, V. 38, (1998) , 1356 - 1362.

Triboï, E., "Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre". Agronomie, V.10, (1990), 191 - 200.

Turner, N.C., "Adaptation to water deficit/ a changing perspective", Aust. J plant physiol, V.13, (1986), 175-180.

Verma, P.N., Singh, B.N. Singh, G. Singh, M.K. and Setter, T.L. "Genetic diversity analysis for yield and other agronomic traits in bread wheat under water logged sodic soil condition", Journal of Wheat Research, V.6, (2014), 51 - 58.

Wang, Z., Li, S., Vera, C.L. and Malhi, S.S., “Effects of water deficit and supplemental irrigation on winter wheat growth, grain yield and quality, nutrient uptake, and residual mineral nitrogen in soil”, Communications Soil Science Plant Analysis, V.36, (2005), 1405 - 1419.

Wardlaw, I.F., and Moncur, L., “The response of wheat to high temperature following anthesis. I. The rate and duration of kernel filling”, Australian Journal of Plant Physiology, V.22, (1995) , 391 - 397.

Wardlaw, I.F., Moncor J.F. and Wrigley, C.W., “Heat tolerance in temperate cereals: an overview”, Australian Journal of Plant Physiology, V.21, (1998), 695 - 703.

Wiese.M .v. "Compendium of wheat diseases", APS PRESS , the American phytopathological society, (1987), 112p.

WWW.REGIONAL.ORG-AU/AU/CS

Witcombe, J.R., Joshi, K.D., Gyawali, S., Musa, A.M., Johansen, C., Virk, D.S. and Sthapit, B.R. "Participatory plant breeding is better described as highly clientoriented plant breeding I. Four indicators of client-orientation in plant breeding, Experimental Agriculture ", V.41, (2005), 299–319.

Yahyaoui , A. H., Ezzahiri..B, "Field guide for barley and wheat diseases and management in Eritrea", ICARDA, (2003) , 84p.

Zillinsky F.J , "Les maladies des céréales à paille. Guide d’identification". Edd. CIMMYT. Mexico, (1983) , 142p.