



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Amélioration des plantes

Intitulé :

Evaluation des performances agronomiques de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans l'étage bioclimatique semi-aride des hautes plaines intérieures

Présenté par :

ADJENEG Siham & BELOUADEH Loubna

Soutenu le 19/09/2022, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	Mme. KELALECHE Hizia	MCB	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.
Encadrant :	M. FELLAHI Zine El Abidine	MCA	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.
Examineur :	M. FORTAS Bilal	MAA	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions « Allah » le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce travail.

*Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance au **Dr FELLAHI Zine El Abidine**, encadrant, qui a encadré cette étude au quotidien, pour son soutien, son aide et sa patience. Merci pour sa bonne volonté et ses précieux conseils ainsi que pour la pertinence de ses remarques.*

*Nous tenons à remercier aussi les membre de jury, **Dr KELALECHE Hizia** en qualité de présidente et **Mr FORTAS Bilal** en qualité d'examineur qui nous ont fait l'honneur d'évaluer et de juger notre modeste travail.*

Nous aimerons remercier tous nos enseignants durant tout notre parcours d'étude pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Nous tenons également à remercier tous les cadres de l'ITGC, CNCC et INRAA de Sétif d'avoir été si gentils avec nous et de nous avoir permis de réaliser notre mémoire avec eux.

Nous ne saurai jamais assez reconnaissants pour la lumière de nos vies, nos parents qui par leurs prières et leurs encouragement, nous avons pu surmonter tous les obstacles.

Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail de près ou loin.



Dédicaces

Je dédie ce travail en premier lieu

A mes chers parents

A ma chère mère, femme d'exception, ta présence continuelle et tes sacrifices sont à l'origine de nos réussites nous tes enfants. Merci Mère adorée de continuer à nous veiller tendrement malgré les soucis de santé, malgré l'âge et les péripéties de la vie. Merci d'être, ma mère et ma lumière...

A mon père, le pilier de ma vie, sans lui, peu de choses auraient pu être réalisées, Merci cher père, je te voue toute mon affection...

Chers parents, je suis fière de vous offrir cette réussite, c'est à vous que je la dois...

A mon frère abd elrrahman et mes sœurs, Ratiba, Houda, Bachra, Hasna, oui m'ont soutenu durant mes études, je les dis que leur présence au côté de moi est important, que « Allah » vous protège et leurs offre la chance et le bonheur...

A mon cher époux, je te remercie pour tes encouragements et ton soutien tout au long de ma préparation à ce travail, et que « Allah » lui donne une longue et joyeuse vie...

A toute ma famille, à mon cher grand-père et ma chère grand-mère, à mes oncles, Mahmoud, Ibrahim, Radouane, Naim, Toufik, mon grand-oncle Djamal, et ma tante Radia, je dédie cet humble travail et je vous remercie pour leurs aides dans tous les moments difficiles...

A mes amies, Boulefrakh Souhila, Belouadah Loubna, Derrachi Halima, Chekkal Sara, Adjeneg Saloua, Chaima Ghrib, Salmi Khaoula, Habitouche Assia, je vous remercie d'être avec moi en tout temps...

Enfin, je dédie ce projet de fin d'études à tous ceux qui m'ont souhaité le succès et ont partagé ma joie, et à tous ceux qui m'ont encouragé ...

♥ **Siham** ♥





DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A mon cher père.

A ma chère mère.

pour l'éducation qu'ils m'ont prodiguée, leurs encouragements qu'ils trouvent le témoignage de ma profonde affection et gratitude et tous les sacrifices qu'ils ont consenti à mon égard. Je ne vous remercierai A jamais assez.

A mes sœur Yasmine et Ichrak aussi Nadjat et ses filles innocentes Nada et Sirine.

A mes deux frères : Walid et Yassine.

A tous les nombres de ma famille surtout Nour el houda et à tous les membres de ma famille sans exception.

A ceux que j'aime beaucoup, mes chères amies spécialement Siham, Sara, Halima.

Et a tous mes camarades de la promotion Amélioration des plantes 2021/2022.

Et à la fin, un grand merci à Moi

Loubna

Sommaire

Liste des tableaux	
Liste des figures et photos	
Liste des abréviations	
Introduction	1
Chapitre I : Matériel et méthodes	
I.1. Site, matériel végétal et dispositif expérimental.....	3
I.2. Mesures et notations.....	4
I.2.1. Paramètres phénologiques.....	4
I.2.1.1. Durée de la phase végétative (DPV, jours)	4
I.2.2. Paramètres physiologiques.....	4
I.2.2.1. Teneur en chlorophylle des feuilles (Chl, CCI)	4
I.2.2.2. Température du couvert végétal (TCV, °C)	4
I.2.2.3. Teneur relative en eau (TRE, %)	5
I.2.2.4. Intégrité cellulaire (IC, %)	6
I.2.3. Paramètres morphologiques	6
I.2.3.1. Surface foliaire de la feuille étendard (SF, cm ²)	6
I.2.3.2. Hauteur de la plante (HT, cm)	7
I.2.4. Paramètres agronomiques.....	7
I.2.4.1. Nombre (NE, No) et poids des épis (PNE, q/ha)	7
I.2.4.2. Poids de mille grains (PMG, g)	7
I.2.4.3. Rendement en grains (RDT, q/ha)	7
I.2.4.4. Rendement en paille (PLL, q/ha)	7
I.2.4.5. Biomasse aérienne (BIO, q/ha)	7
I.2.4.6. Indice de récolte (HI, %)	7
I.3. Analyse des données	7
Chapitre II : Résultats et discussion	
II.1. Analyse de la variance	8
II.2. Valeurs moyennes, minimales et maximales des variables mesurées	9
II.2.1. Durée de la phase végétative.....	9
II.2.2. Teneur en chlorophylle	10
II.2.3. Température du couvert végétal	11
II.2.4. Teneur relative en eau	13
II.2.5. Surface foliaire de la feuille étendard	14
II.2.6. Hauteur de la végétation	15

II.2.7. Nombre d'épis/m ²	16
II.2.8. Poids des épis	17
II.2.9. Poids de mille grains	18
II.2.10. Rendement en grains	19
II.2.11. Rendement en paille	21
II.2.11. Biomasse aérienne	22
II.2.12. Indice de récolte	23
II.3. Corrélation des caractères mesurés	24
II.4. Typologie variétale	27
Conclusion	30
Références bibliographiques	32

Liste des tableaux

Tableau 01 :	Liste des variétés de blé dur étudiées	4
Tableau 02 :	Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères mesurés	8
Tableau 03 :	Valeurs moyennes, minimales, maximales, écart-types et Ppds _{5%} des caractères mesurés	9
Tableau 04 :	Corrélations phénotypiques entre les caractères mesurés chez les variétés étudiées	26

Liste des figures et photos

Figure 01 :	Pluies et températures moyennes mensuelles enregistrées au cours de la campagne agricole 2020-2021 au site de Sétif	3
Figure 02 :	Variation de la durée de la phase végétative chez les variétés de blé dur étudiées.....	10
Figure 03 :	Variation de la teneur en chlorophylle chez les variétés de blé dur étudiées ..	11
Figure 04 :	Variation de la température du couvert végétal chez les variétés de blé dur étudiées	12
Figure 05 :	Variation de la teneur relative en eau chez les variétés de blé dur étudiées ...	13
Figure 06 :	Variation de la surface foliaire de la feuille étendard chez les variétés de blé dur étudiées.....	14
Figure 07 :	Variation de la hauteur de la végétation chez les variétés de blé dur étudiées.....	16
Figure 08 :	Variation du nombre d'épis/m ² chez les variétés de blé dur étudiées.....	17
Figure 09 :	Variation du poids des épis/m ² chez les variétés de blé dur étudiées.....	18
Figure 10 :	Variation du poids de mille grains chez les variétés de blé dur étudiées.....	19
Figure 11 :	Variation du rendement en grains chez les variétés de blé dur étudiées.....	20
Figure 12 :	Variation du rendement en paille chez les variétés de blé dur étudiées.....	21
Figure 13 :	Variation de la biomasse aérienne accumulée chez les variétés de blé dur étudiées.....	22
Figure 14 :	Variation de l'indice de récolte chez les variétés de blé dur étudiées.....	24
Figure 15 :	Classification hiérarchique des vingt variétés de blé dur sur la base des caractères mesurés.....	27
Figure 16 :	Caractéristiques des groupes de variétés de blé dur identifiés.....	28
Photo 01 :	Mesure de la teneur en chlorophylle des feuilles par le chlorophylle-mètre portable, type CCM-200.....	5
Photo 02 :	Lecture de la température du couvert végétal par le thermomètre portable, à infrarouge	5
Photo 03 :	Mesure la teneur relative en eau des échantillons de blé.....	6

Liste des abréviations

BIO : Biomasse totale accumulée.
CCI : Chlorophylle content Index.
Chl : Teneur en chlorophylle.
CV : Coefficients de variation.
ddl : degré de liberté.
DPV : Durée de la phase végétative.
HI : Indice de récolte.
HT : Hauteur de la végétation.
IC : Intégrité cellulaire.
ITGC : Institut technique de la grande culture.
NE : Nombre d'épis.
PLL : Rendement en paille.
PMG : Poids de mille grains.
PNE : Poids des épis.
Ppds : Plus petite différence significative.
PF : Poids frais.
PT : Poids turgide.
PS : Poids sec.
RDT : Rendement en grains.
SF : Surface foliaire de la feuille étendard.
SV : Source de variation.
TRE : Teneur relative en eau.
TCV : Température du couvert végétal.

Introduction

Introduction

Les céréales sont la principale source alimentaire d'énergie, de glucides et de protéines végétales dans le monde. Actuellement, 41% des grains de céréales sont utilisés pour la consommation humaine et jusqu'à 35% sont réservés pour l'alimentation animale (**Poutanen et al., 2022**). Elles constituent les sources caloriques principales pour les différentes couches de la population quel que soit leur niveau de vie et assurent 60% des calories et des protéines consommées dans le monde (**Poutanen et al., 2022**).

Parmi ces céréales, les blés dur et tendre occupent la première place en termes de production mondiale et la deuxième après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines, en assurant 20% de ses besoins énergétiques voir même 50% dans certaines régions du monde (**Shewry, 2021**). Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) est cultivé principalement dans les pays du bassin méditerranéen à climat arides et semi-arides là où l'agriculture est dans la plus mauvaise passe. Avoisine les 16.9 millions d'hectares est la moyenne des superficies emblavées en blé dur, des 10 dernières années, de par le monde, ce qui représente près de 7.9% de la superficie totale réservée à la culture des blés dur et tendre (**Mekaoussi, 2021**).

En Afrique du Nord et en Europe du Sud, les rendements sont fortement influencés par l'augmentation de la température couplée à la baisse des précipitations, en plus la désertification et la sécheresse (**Abeledo et al., 2008**). Comparativement au blé tendre (*Triticum aestivum* L.), cette espèce a des besoins plus élevés en ensoleillement, une faible résistance au froid et à l'humidité, des rendements moyens (en général inférieurs à ceux du blé tendre, sauf pour les variétés récentes), une sensibilité à certaines maladies cryptogamiques (**Stiti, 2013**).

En Algérie, le blé dur est une culture ancestrale dont le produit constitue la base de l'alimentation de la population sous diverses formes notamment semoule et pâtes (**Rabti, 2021**). La production nationale du blé dur est encore faible, elle ne couvre qu'une partie des besoins du pays, le reste est assuré par le recours aux importations, avec une facture annuelle moyenne de 1 milliard de dollars (**Kourat et al., 2022**). La cause principale de la faiblesse de la production du blé dur en Algérie est le faible niveau de productivité (rendement par unité de surface) obtenu, à cause des contraintes abiotiques (pluviométrie surtout), biotiques (adventices, surtout) et humaines (itinéraires techniques appliqués etc. ...) (**Benbelkacem, 2022**). La majorité de la sole réservée à la culture du blé dur est localisée à l'intérieur du pays, sur les hauts plateaux appartenant à un climat continental méditerranéen. Cette zone se

caractérise par une fluctuation et une instabilité de la température et des précipitations (**Chennafi et al., 2006**).

Les scientifiques ont longtemps essayé d'étudier la réponse de la plante à la sécheresse. Ce qui est considéré aujourd'hui comme l'un des plus importants obstacles auxquels sont confrontées les cultures dans le monde (**Annichiarico et al., 2005 ; Adjabi et al., 2014**). Actuellement, les programmes d'amélioration du blé s'intéressent de plus à l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique (**Fellahi, 2017, Hannachi, 2017 ; Rabti, 2021 ; Benbelkacem, 2022 ; Lamara et al., 2022**). L'amélioration de la production agricole passe par l'augmentation des superficies cultivées, l'irrigation ou l'améliorer des rendements à l'unité de surface (**Salmi et al., 2015**). La première action n'est plus possible vu que la majeure partie des superficies réservées aux céréales a été déjà exploitée. La seconde option n'est pas évidente compte tenu de la rareté des ressources hydriques. L'alternative offerte pour augmenter la production dans les zones semi-arides et satisfaire les besoins de la population locale réside dans l'amélioration génétique d'un matériel végétal plus adapté aux conditions du milieu de production. Ceci sera possible en procédant à une sélection sur la base des caractéristiques physiologiques (température du couvert végétal, la teneur en eau relative des feuilles, dommages cellulaires causés par le stress thermique, ...), morphologiques (surface des feuilles, hauteur de la plante, ...) et phénologiques (durée du cycle végétatif et reproductif, ...) associées à la tolérance aux différents stress abiotiques (**Langridge et Reynolds, 2021**). Pour ce faire, il devient plus que nécessaire d'avoir des connaissances plus approfondies sur de multiples et d'éventuels géniteurs capables de générer, à travers des croisements bien ciblés, des descendants capables de tolérer ces stress (**Fellahi et al., 2013a ; Hannachi et al., 2013a**). Ceci permettra aux sélectionneurs de développer de nouvelles variétés qui possèdent, en plus de bonnes valeurs agronomiques et technologiques, la capacité de valoriser, au mieux, les spécificités des différentes zones de productions (**Haddad et al., 2016**).

Ce travail a pour objectif d'analyser la variabilité phénotypique d'une collection constituée d'une vingtaine de variétés de blé dur évaluée sous conditions semi-arides des hauts plateaux de l'Est Algérien. Cette analyse de performance agronomique et d'adaptation aux différents stress abiotiques aidera à identifier les caractères et déterminer les variétés porteuses de gènes favorables susceptibles de jouer en faveur du rendement sous des conditions contraignantes.

Chapitre I :
Matériel et méthodes

I. Matériel et méthodes

I.1. Site, matériel végétal et dispositif expérimental

L'expérimentation est menée au cours de la campagne agricole 2021/2022 au niveau du site expérimental de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC-Sétif) localisé aux coordonnées géographiques 36°09'55.9"N 5°22'05.0"E, à une altitude de 964 m au-dessus du niveau de la mer. Le climat de la région est de type méditerranée, continental, semi-aride, caractérisé par un été chaud et sec, un hiver froid et humide (**Chennafi et al., 2006**). La pluie et les températures enregistrées au cours des deux campagnes d'étude sont données en figure 1. Les quantités de pluies enregistrées au cours de la campagne d'étude est de 330.46 mm. La période mars-avril fut pluvieuse alors que les mois de janvier (phase de l'installation de la culture), mai et juin (phase de remplissage du grain) furent secs. La distribution de la température est bimodale, élevée en été et basse en hiver. Janvier (-1.4°C) est le mois le plus froids ce qui retarde le démarrage de la végétation. Avril, mai et juin connaissent une élévation importante de la température de l'air, passant du dessous de 10°C à plus de 20°C. Ce phénomène en plus de l'absence des pluies aux cours des deux derniers mois (mai et juin) brusque la végétation à terminer son cycle, raccourcissant la durée de la phase de remplissage du grain qui représente, souvent, moins de 20% de la durée totale du cycle (**Haddad, 2010**).

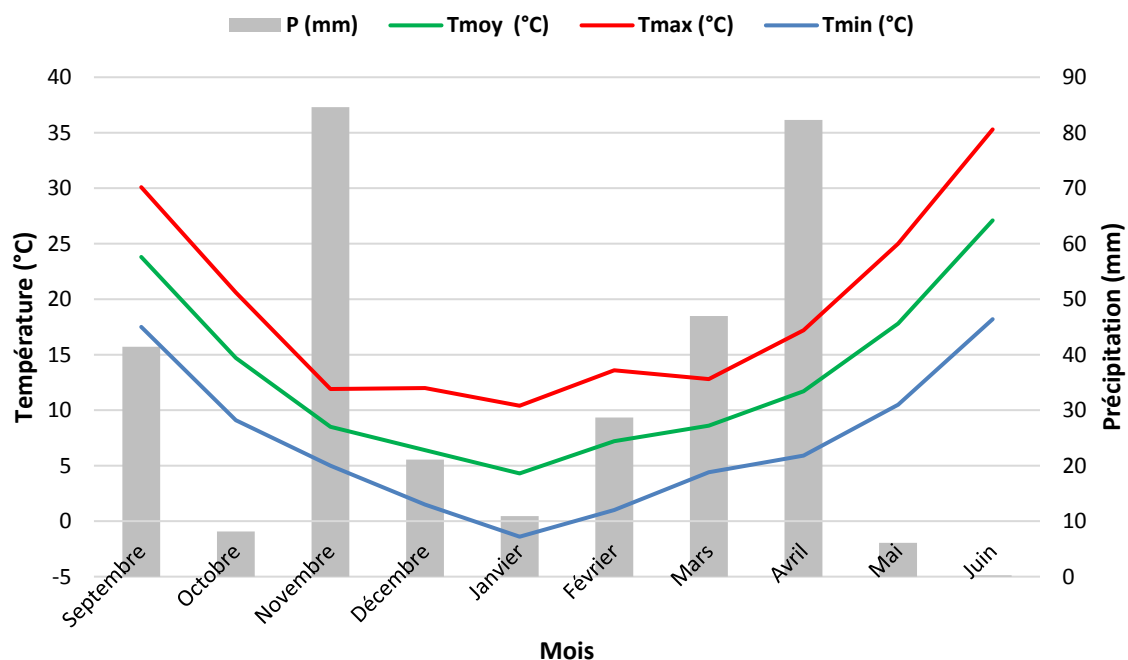


Figure 01 : Pluies et températures mensuelles moyennes, minimales et maximales enregistrées au cours de la campagne agricole 2021-2022 au site de Sétif

(<https://fr.tutiempo.net/>).

Le matériel végétal est constitué de vingt variétés de blé dur d'origines divers (Tableau 01). L'essai est conduit dans un dispositif expérimental complètement randomisé avec trois répétitions. Le semis des variétés de blé est effectué en date du 29 décembre 2021 à l'aide d'un semoir expérimental de type Hege 80. Chaque variété est semée dans une bande de 20 m de long ayant 6 rangs espacés de 20 cm. La densité de semis est de 350 graines/m². L'essai est conduit dont les techniques culturales adoptées sont celles préconisées pour la culture des céréales et appliquées par l'ITGC.

Tableau 01 : Liste des variétés de blé dur étudiées.

N°	Variétés	N°	Variétés
1	Mohamed Ben Bachir	11	Wahbi
2	Bousselam	12	Simeto
3	Oued El Bared	13	Ain Lahma
4	Waha	14	Massinissa
5	Boutaleb	15	Setifis
6	Saoura	16	Belikh02
7	Megress	17	Mexicali75
8	Manssourah	18	Zb/Fl
9	Vitron	19	Ofanto
10	Amar06	20	Guemgoum Rkhem

I.2. Mesures et notations

I.2.1. Paramètres phénologiques

I.2.1.1. Durée de la phase végétative (DPV, jours) : c'est une indication du degré de précocité. Elle est déterminée en nombre de jours calendaires comptés à partir du 1^{er} janvier à la date de réalisation de 50 % de l'épiaison. La date d'épiaison est indiquée par la sortie des barbes de la gaine de la dernière feuille complètement développée.

I.2.2. Paramètres physiologiques

I.2.2.1. Teneur en chlorophylle des feuilles (Chl, CCI) : elle est mesurée au stade épiaison à l'aide d'un chlorophylle-mètre portable CCM-200 (Photo 01). Cet appareil portable fonctionne sur pile et est conçu pour faire des mesures rapides et non destructives sur des échantillons feuilles intactes. La mesure est faite sur un échantillon de trois feuilles par génotype et par répétition.

I.2.2.2. Température du couvert végétal (TCV, °C) : elle est mesurée au stade épiaison, à raison de trois lectures par génotype et par répétition prises entre 11:00 et 14:00 h par parcelle élémentaire en utilisant un thermomètre à infrarouge portatif (Photo 02).



Photo 01 : Mesure de la teneur en chlorophylle des feuilles par le chlorophylle-mètre portable, type CCM-200.



Photo 02 : Lecture de la température du couvert végétal par le thermomètre portable, à infrarouge.

I.2.2.3. Teneur relative en eau (TRE, %) : elle est déterminée à l'épiaison suivant la méthode décrite par **Pask *et al.* (2012)**, à partir d'un échantillon de 5 feuilles étendards. Les feuilles sont coupées à la base du limbe, elles sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (PF). Les échantillons sont ensuite mis dans des tubes à essai remplis d'eau distillée (10 ml) et placés à l'obscurité à la température ambiante du laboratoire pendant 24 heures (Photo 03). Après 24 heures les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'excès d'eau, pesées de nouveau pour obtenir le poids de la pleine turgescence (PT) puis on sèche l'échantillon à l'étuve réglée à 80°C pendant 48 heures pour avoir leur poids sec (PS). La teneur relative en eau est calculée par la formule suivante :

$$TRE (\%) = 100 [(PF - PS) / (PT - PS)]$$

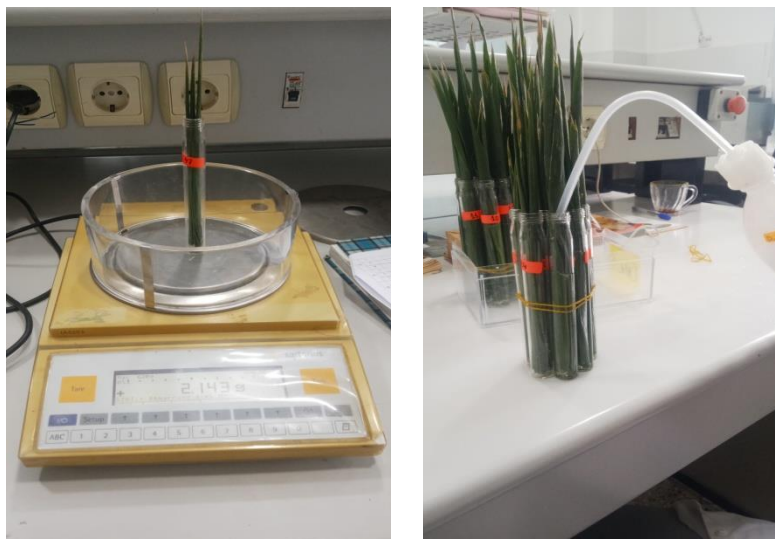


Photo 03 : Mesure la teneur relative en eau des échantillons de blé.

I.2.2.4. Intégrité cellulaire (IC, %) : le test de l'intégrité cellulaire est effectué sur les deux dernières feuilles entièrement développées (feuilles étendards). Deux feuilles sont prises au hasard par génotype et par répétition. Ces échantillons sont lavés à l'eau courante. Les feuilles sont découpées en morceaux de 1 cm de long. Un échantillon de 10 morceaux du limbe foliaire est mis dans un tube à essai et lavé trois fois avec de l'eau distillée pour enlever les poussières adhérentes qui peuvent influencer sur les résultats du test. A chaque tube on ajoute 10 ml d'eau distillée déminéralisée. Les tubes sont périodiquement agités manuellement et laissés à la température ambiante du laboratoire. Une première lecture est faite (EC1) avec le conductimètre 24 heures après. Les tubes sont ensuite mis au bain marie, dont la température est portée à 100°C, pendant 1 heure. Ensuite on refroidit les tubes pendant 30 min puis une deuxième lecture de la conductivité (EC2) est fait sur les échantillons. Le pourcentage de cellules endommagées par le stress thermique ou intégrité cellulaire est estimé, selon la procédure décrite par **Bajji et al. (2001)** :

$$IC (\%) = 100 (EC1 / EC2)$$

I.2.3. Paramètres morphologiques

I.2.3.1. Surface foliaire de la feuille étendard (SF, cm²) : La longueur (L, cm) et la plus grande largeur (l, cm) de la feuille étendard ont été mesurées sur un échantillon de 5 feuilles prises au hasard au stade épiaison. La surface moyenne de la dernière feuille entièrement développée est estimée selon **Spagnoletti-Zeuli et Qualset (1990)** par :

$$SF (cm^2) = 0.607 (L \times l)$$

Où : 0.607 est le coefficient de régression de la surface estimée à partir du papier grammage sur celle déduite par le produit (L x l).

I.2.3.2. Hauteur de la plante (HT, cm) : des échantillons de plantes pour chaque génotype et répétition ont été mesurés pour leur hauteur juste avant la récolte de la culture. La hauteur est prise en cm à partir du ras du sol jusqu'aux à la strate moyenne des épis.

I.2.4. Paramètres agronomiques

I.2.4.1. Nombre (NE, No) et poids des épis (PNE, q/ha) : le nombre d'épis/m² est déterminé par comptage des épis produit dans une surface de 1m² pour chaque génotype. Le poids des épis est déterminé par pesage des épis récoltés.

I.2.4.2. Poids de mille grains (PMG, g) : il est déterminé après la récolte mécanique de l'expérimentation, suite au comptage et pesage de 250 graines par parcelle élémentaire. Les valeurs trouvées sont reconverties en g pour 1000 grains.

I.2.4.3. Rendement en grains (RDT, q/ha) : il est estimé suite au battage des épis provenant de l'échantillon de végétation récolté par génotype et par répétition d'un segment de rang long de 1 mètre linéaire. Les valeurs trouvées sont ensuite reconverties en q/ha.

I.2.4.4. Rendement en paille (PLL, q/ha) : il est déduit par la différence entre la biomasse accumulée à maturité et le rendement en grain.

I.2.4.5. Biomasse aérienne (BIO, q/ha) : elle est déterminée, à maturité, à partir d'un bottillon de végétation récolté d'un rang de 1 m par parcelle élémentaire.

I.2.4.6. Indice de récolte (HI, %) : il est déterminé en utilisant les valeurs parcellaires du rendement en grains et de la biomasse aérienne estimées de l'échantillon de végétation récolté d'un segment de rang de 1 m de long. Il est calculé par la formule suivante :

$$HI (\%) = 100 [RDT (q/ha) / BIO (q/ha)]$$

I.3. Analyse des données

Les données collectées sont soumises à une analyse de la variance à un facteur étudié (variétés). Les moyennes des variables mesurées sont comparées relativement à la plus petite différence significative au seuil de 5% (Ppds_{5%}). L'étude des relations entre les différentes variables mesurées a été faite sur la base du calcul des coefficients de corrélations phénotypiques de Pearson. Toutes les analyses statistiques sont menées en utilisant le logiciel CoStat (version 6.4. CoHort Software, Monterey, CA, USA) et le programme XLSTAT (version 14.5.03, 2014, Addinsoft, Inc., Brooklyn, NY, USA).

Chapitre II :
Résultats et discussion

II. Résultats et discussion

II.1. Analyse de la variance

L'analyse de la variance indique un effet génotype significatif à très hautement significatif pour l'ensemble des caractères mesurés, hormis le taux des dommages cellulaires induits par le stress thermique ou intégrité cellulaire (IC) pour laquelle la différence observée entre génotypes n'est pas statistiquement significative au seuil de 5% (Tableau 02).

Des effets significatifs suggèrent la présence d'une variabilité génétique importante pour ces caractères chez le matériel végétal évalué. Cependant la différence non significative observée pour le taux de dommages induits par le stress thermique suggère que les variétés étudiées présentent le même degré de tolérance vis-à-vis du stress thermique. La présence de la variabilité génétique offre la possibilité d'amélioration génétique des caractères ciblés via la sélection.

Tableau 02 : Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères mesurés.

SV	Variété	Erreur	CV (%)
ddl	19	40	/
DPV	17.58***	1.57	0.95
Chl	181.95**	59.22	17.67
TCV	8.07***	2.50	4.82
TRE	55.30***	15.01	5.48
IC	293.16 ^{ns}	200.50	17.56
SF	34.88**	12.81	11.82
HT	326.67***	25.60	6.36
NE	18929.96***	5774.35	20.07
PNE	221.30***	59.09	18.97
PMG	91.74***	9.37	10.18
RDT	123.06***	22.36	24.48
PLL	121.25**	42.43	19.00
BIO	693.13*	342.41	16.96
HI	112.48***	11.32	18.80

SV : Source de variation, ddl : degré de liberté, DPV : Durée de la phase végétative (jours), Chl : Teneur en chlorophylle (CCI), TCV : Température du couvert végétal (°C), TRE : Teneur relative en eau (%), IC : Intégrité cellulaire (%), SF : Surface foliaire de la feuille étendard (cm²), HT : Hauteur de la végétation (cm), NE : Nombre d'épis/m² (No/m²), PNE : Poids des épis (q/ha), PMG : Poids de mille grains (g), RDT : Rendement en grains (q/ha), PLL : Rendement en paille (q/ha), BIO : Biomasse totale accumulée (q/ha), HI : Indice de récolte (%), CV (%) : Coefficient de variation (%). ns, *, ** et *** : Effets non significatifs et significatifs au seuil de probabilité de 5%, 1% et 0.1%, respectivement.

II.2. Valeurs moyennes, minimales et maximales des variables mesurées

Les valeurs moyennes minimales et maximales sont variables selon le caractère et le génotype (Tableau 03).

Tableau 03 : Valeurs moyennes, minimales, maximales, écart-types et Ppds_{5%} des caractères mesurés.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Ppds _{5%}
DPV	128.0	138.0	132.7	2.6	3.6
Chl	30.0	54.3	43.4	7.9	22.0
TCV	29.7	36.1	32.8	1.7	4.5
TRE	62.3	81.2	71.0	4.8	11.1
IC	51.4	95.2	80.5	10.0	40.5
SF	21.9	34.3	30.0	3.6	10.2
HT	69.3	110.0	80.7	11.9	14.5
NE	185.0	490.0	367.8	85.0	217.2
PNE	13.7	52.2	39.5	9.9	22.0
PMG	21.6	41.0	30.0	5.6	8.7
RDT	5.6	32.0	18.8	6.9	13.5
PLL	20.8	42.7	34.2	6.2	18.6
BIO	72.3	127.0	107.9	15.1	52.9
HI	6.1	32.1	17.5	6.5	9.6

DPV : Durée de la phase végétative (jours), Chl : Teneur en chlorophylle (CCI), TCV : Température du couvert végétal (°C), TRE : Teneur relative en eau (%), IC : Intégrité cellulaire (%), SF : Surface foliaire de la feuille étandard (cm²), HT : Hauteur de la végétation (cm), NE : Nombre d'épis/m² (No/m²), PNE : Poids des épis (q/ha), PMG : Poids de mille grains (g), RDT : Rendement en grains (q/ha), PLL : Rendement en paille (q/ha), BIO : Biomasse totale accumulée (q/ha), HI : Indice de récolte (%).

II.2.1. Durée de la phase végétative

Les valeurs moyennes de cette variable varient de 128.0 jours, valeur minimale prise par la variété Ofanto (V19) à 138.0 jours, valeur maximale observée chez le cultivar Guemgoum Rkhem (V20), autour d'une moyenne générale de 132.7 jours et une Ppds_{5%} de 3.6 jours (Tableau 03, Figure 02). Huit variétés à savoir Ofanto (V19), Belikh02 (V16), Vitron (V9), Ain Lahma (V13), Zb/Fl (V18), Megress (V7), Mexicali75 (V17) et Oued El Bared (V3) affichent des écarts négatifs de la DPV relativement à la valeur moyenne du caractère (Figure 02). Ces variétés sont par ordre décroissant les plus précoces au stade épiaison parmi les 20 variétés de blé dur évaluées.

Selon **Benmahammed *et al.* (2010)**, la durée de la phase végétative est intéressante, du point de vue sélection, pour adapter le cycle de la variété au milieu de production, qui se caractérise, le plus souvent, par des stress abiotiques, en début et en fin de cycle. Pour éviter les périodes critiques du manque d'eau, certaines variétés accomplissent leur cycle de

développement avant l'installation de la contrainte hydrique de fin de cycle (Rabti, 2021). Ce caractère de précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement de la sécheresse de fin de cycle qui est largement et efficacement utilisée comme critère de sélection pour améliorer les productions des zones sèches (Reynolds *et al.*, 2005 ; Mekhlouf *et al.*, 2006).

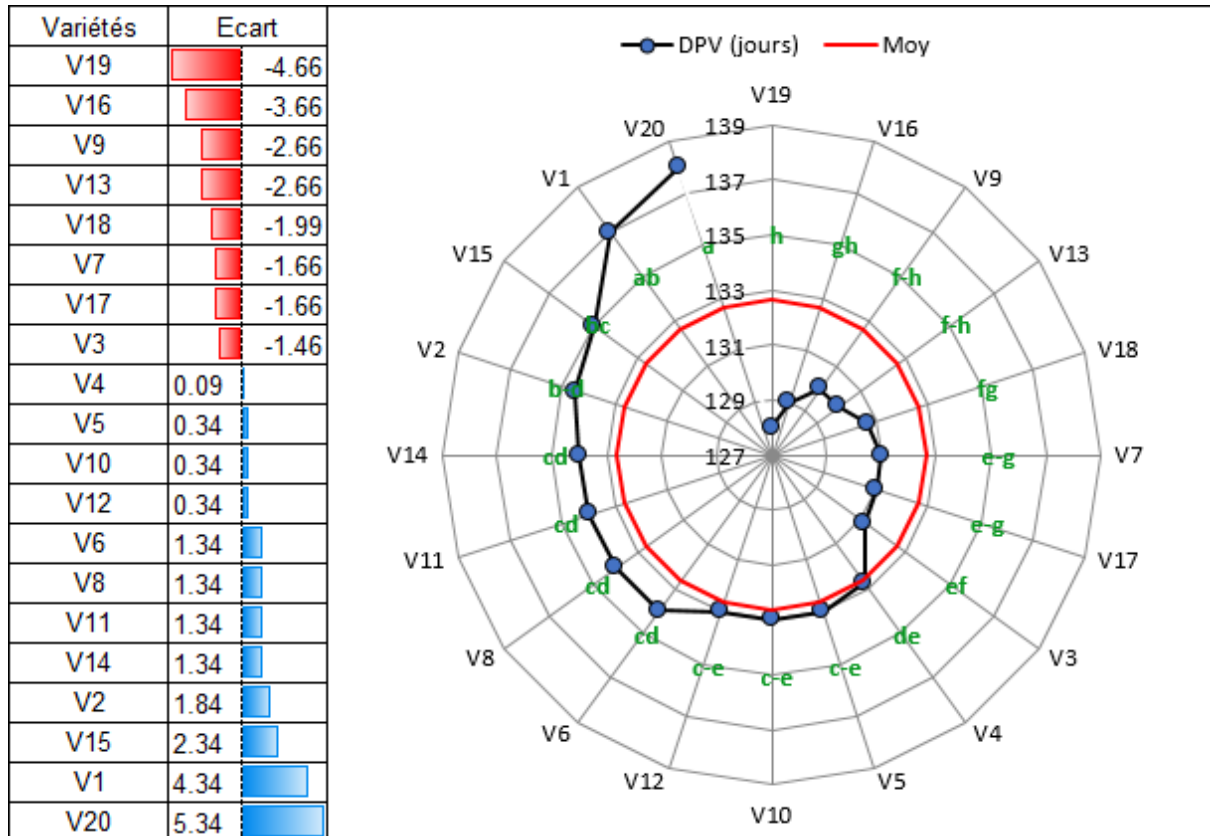


Figure 02 : Variation de la durée de la phase végétative chez les variétés de blé dur étudiées. La moyenne générale est indiquée en cercle rouge. Les variétés qui portent la même lettre ne sont pas significativement différentes par le test de la Ppds_{5%}.

II.2.2. Teneur en chlorophylle

L'amplitude observé pour cette variable est de 24.3 CCI autour d'une moyenne générale de 43.4 et une Ppds_{5%} de 22.0 CCI (Tableau 02). La valeur minimale prise par Chl est observée chez la variété Setifis (V15) avec 30 CCI alors que la teneur la plus élevée en chlorophylle des feuilles est exprimée par Simito (V12) avec 55 CCI (Tableau 03, Figure 03). La figure 03 montre que la moitié des variétés étudiées à savoir Saoura (V6), Mansourah (V8), Amar06 (V10), Mexicali75 (V17), Massinissa (V14), Ain Lahma (V13), Guemgoum Rkhem (V20), Megress (V7), Wahbi (V11) et Simeto (V12) affichent des écarts de la teneur en chlorophylle positifs ; les génotypes restants exhibent, par contre, des écarts négatifs relativement à la valeur moyenne générale du caractère mesuré (Figure 03).

Les différences de chlorophylle observées chez les génotypes de blé sont en fonction de la tolérance et l'adaptation au stress thermique (Pandey *et al.*, 2019 ; Poudel *et al.*, 2020). La stabilité de la chlorophylle est une caractéristique associée à la tolérance et l'adaptation aux stress qui caractérisent les milieux semi-arides (Anithakumari *et al.*, 2012). Les plantes de blé sous stress hydrique réagissent par une baisse de leur teneur en chlorophylle totale qui peut être due à une dilution suite au maintien d'une teneur relative en eau élevée. Cette baisse est d'autant plus importante que l'intensité du stress est plus accentuée (Bousba, 2012). D'autre part, Fokar *et al.* (1998) rapportent que le contenu en chlorophylle diminue après l'anthèse mais plus fortement chez les génotypes sensibles au stress thermique que chez ceux qui sont résistants.

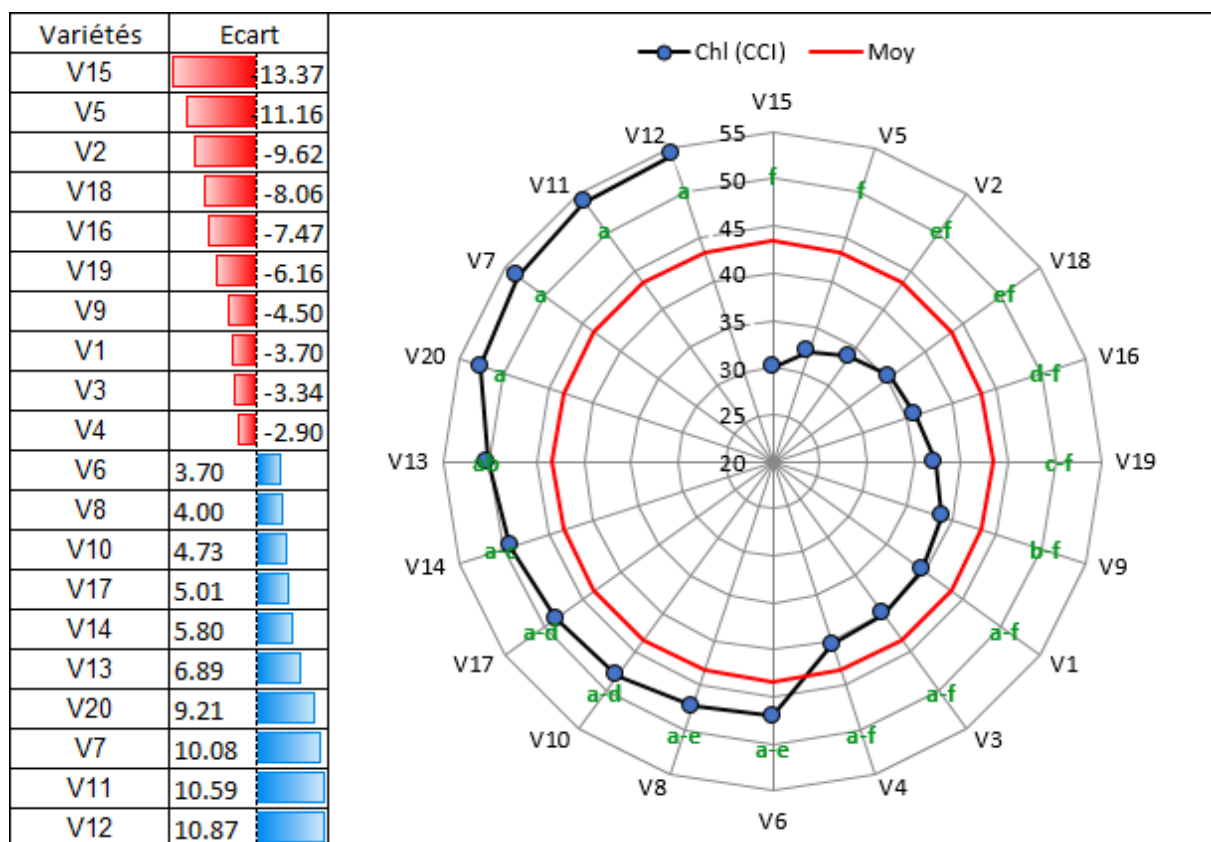


Figure 03 : Variation de la teneur en chlorophylle chez les variétés de blé dur étudiées. La moyenne générale est indiquée en cercle rouge. Les variétés qui portent la même lettre ne sont pas significativement différentes par le test de la Ppds_{5%}.

II.2.3. Température du couvert végétal

Les valeurs moyenne de cette variable varient de 29.7°C, valeur minimale prise par la variété Megress (V7), à 36.1°C valeur maximale observée chez Ofanto (V19), autour d'une moyenne générale de 32.8°C et une Ppds_{5%} de 4.5°C (Tableau 03, Figure 04). La figure 04

montre que 12 variétés affichent des écarts de la TCV négatifs relativement à la valeur moyenne générale.

La température du couvert végétal figure au rang des caractères physiologiques les plus utilisés pour la connaissance du statut hydrique de la plante. **Pradhan et al. (2022)** montre que la fermeture stomatique provoque sous stress l'élévation de la température du couvert végétale par manque d'échanges gazeux ainsi qu'une baisse de l'évapotranspiration. Selon **Thakur et al. (2022)** la capacité des plantes à maintenir une température foliaire basse est une indication de leur grande capacité à extraire l'eau du sol et à se rafraîchir par transpiration.

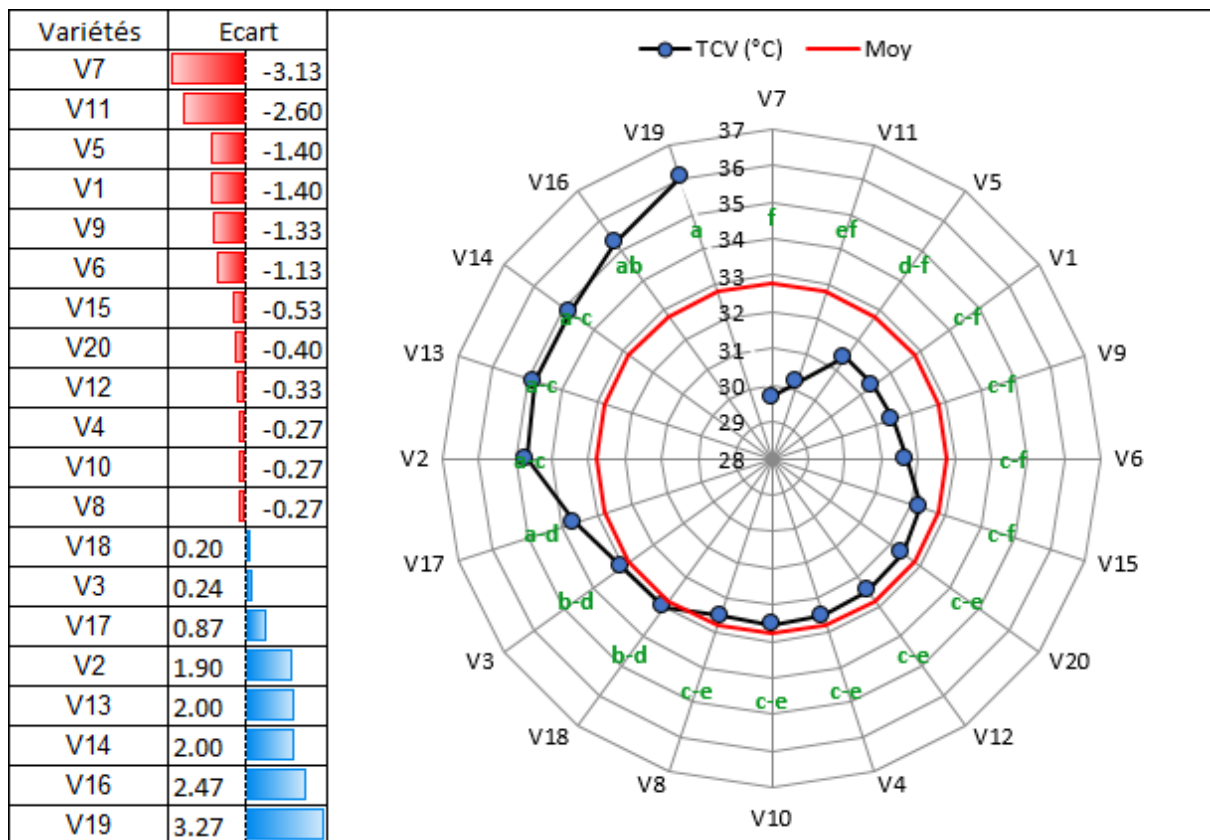


Figure 04 : Variation de la température du couvert végétal chez les variétés de blé dur étudiées. La moyenne générale est indiquée en cercle rouge. Les variétés qui portent la même lettre ne sont pas significativement différentes par le test de la Ppds_{5%}.

La température du couvert végétal peut être un excellent outil de sélection pour la tolérance et à l'adaptation au stress hydrique et thermique (**Lepekhov, 2022**). **Pradhan et al. (2014)** montrent que la déviation de la TCV de celle de l'air ambiant est associée positivement au rendement en grains. Sur cette base, il ressort que à savoir Megress (V7), Wahbi (V11), Boutaleb (V5), Mohamed Ben Bachir (V1), Vitron (V9), Saoura (V6), Setifis (V15), Guemgoum Rkhem (V20), Simeto (V12), Waha (V4), Amar06 (V10) et Mansourah (V8) sont

de bons géotypes qui peuvent être utilisées comme des géniteurs pour améliorer la tolérance aux stress de fin de cycle des régions semi-arides par le biais de la sélection.

II.2.4. Teneur relative en eau

Avec une moyenne générale de 71.0% et une Ppds_{5%} de 11.1%, les valeurs moyennes de la TRE oscillent entre 62.3%, valeur minimale prise par Belikh02 (V16), à 81.2% valeur maximale mesurée chez le cultivar Mohamed Ben Bachir (V1) (Tableau 03, Figure 05). Neuf variétés sur vingt étudiées à savoir Belikh02 (V16), Wahbi (V11), Amar06 (V10), Ain Lahma (V13), Ofanto (V19), Vitron (V9), Guemgoum Rkhem (V20), Mansourah (V8) et Setifis (V15), affichent, relativement à la valeur moyenne générale, des écarts négatifs de la TRE (Figure 05).

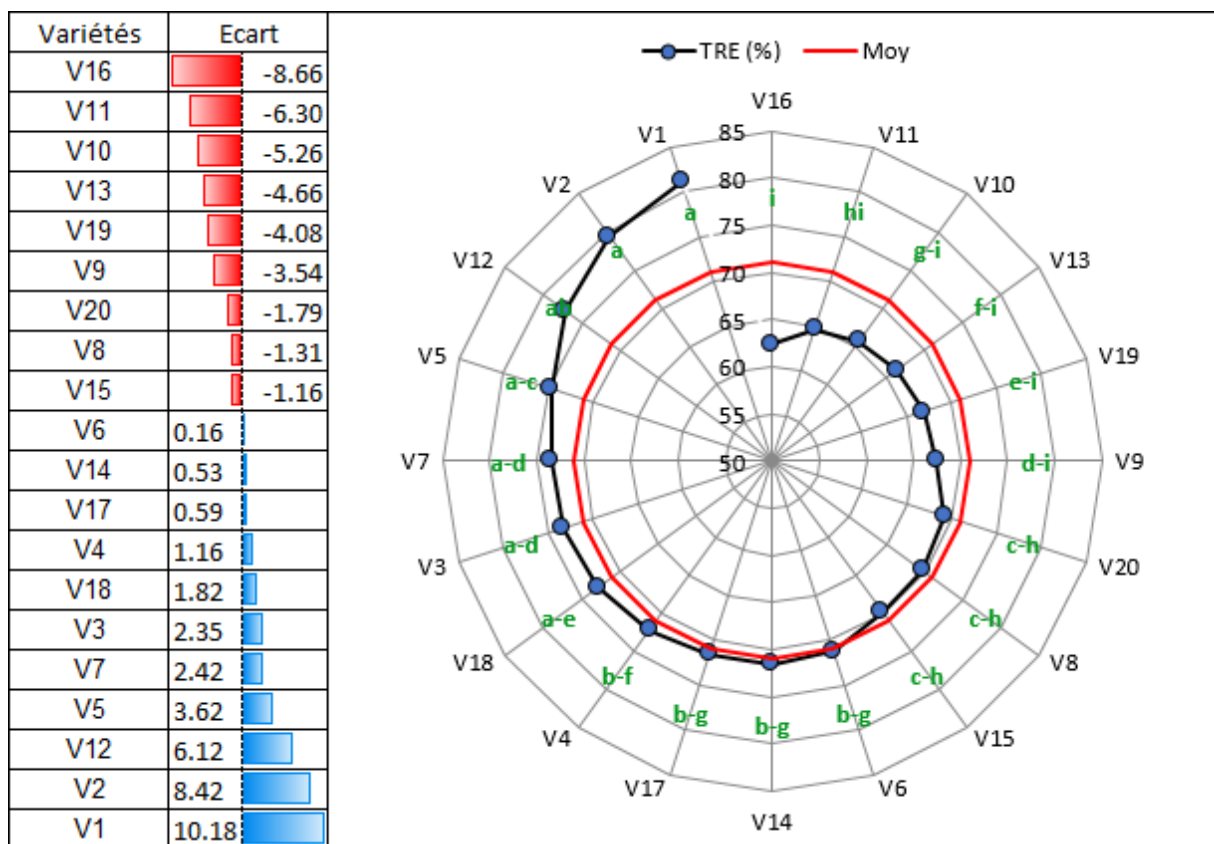


Figure 05 : Variation de la teneur relative en eau chez les variétés de blé dur étudiées. La moyenne générale est indiquée en cercle rouge. Les variétés qui portent la même lettre ne sont pas significativement différentes par le test de la Ppds_{5%}.

La teneur relative en eau est un paramètre physiologique indicateur de la tolérance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique. Les géotypes qui maintiennent une teneur relative en eau élevée sont les plus tolérants à la sécheresse (Larbi et Mekliche, 2004). Qayyum *et al.* (2021) notent que la diminution de la TRE est plus rapide chez les variétés sensibles que chez

les variétés résistantes. Les variétés suscitées à écarts négatifs comme Belikh02 (V16) semblent de bonnes sources pour améliorer la tolérance au stress hydrique dans les programmes futurs d'amélioration du blé.

II.2.5. Surface foliaire de la feuille étendard

Les moyennes de ce caractère varient de 21.9 cm², valeur minimale prise par la variété Belikh02 (V16), à 34.3 cm² valeur maximale observée chez Waha (V4), autour d'une moyenne générale de 30.0 cm² et une Ppds_{5%} de 10.2 cm² (Tableau 03, Figure 06). L'analyse de la figure 06 montre qu'en plus de Belikh02 (V16), les variétés Mohamed Ben Bachir (V1), Vitron (V9), Setifis (V15), Wahbi (V11), Mexicali75 (V17) et Megress (V7), expriment des écarts de la SF négatifs relativement à la valeur moyenne générale du caractère considéré. Les variétés restantes possèdent, par contre, des feuilles plus larges avec des écarts positifs par rapport à la moyenne.

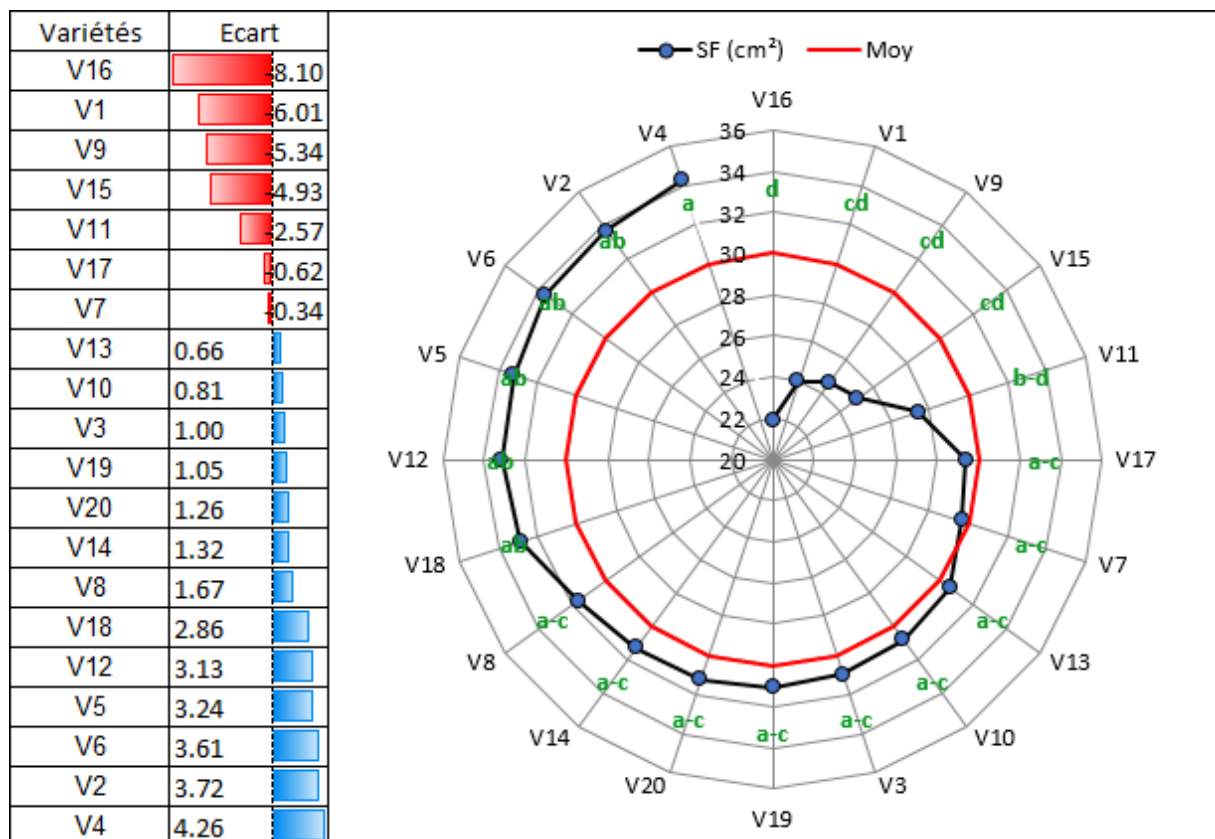


Figure 06 : Variation de la surface foliaire de la feuille étendard chez les variétés de blé dur étudiées. La moyenne générale est indiquée en cercle rouge. Les variétés qui portent la même lettre ne sont pas significativement différentes par le test de la Ppds_{5%}.

La surface foliaire conditionne la tolérance à la sécheresse, vu qu'une surface foliaire élevée perdra plus d'eau qu'une faible surface foliaire (**Belkharchouche et al., 2009**). De ce fait, une surface foliaire réduite comme celle des variétés dont les écarts de la SF sont négatifs, perdra moins d'eau, donc ces variétés adoptent une stratégie d'évitement, qui leurs permettent de maintenir un potentiel hydrique élevé dans la plante (**Belhassen et al., 1995**). **Benmahammed et al. (2008)** indiquent que suite à la variabilité climatique des hauts plateaux et à l'intensité des stress de fin de cycle, la stratégie d'évitement est théoriquement la plus intéressante, car la plante évite le stress au lieu de le contrer. En effet la réduction de la surface foliaire lorsque le stress hydrique s'installe est une stratégie développée par les plantes pour réduire de leurs besoins et pertes en eau (**Ali et al., 2022**). D'autre part, **Cherfia (2010)** a constaté que les variétés de blé étudiées qui se distinguent par les surfaces les plus élevées donnent un rendement en grains plus important. Toute fois une diminution de la surface foliaire peut affecter le rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique (**Lefi et al., 2004**).

II.2.6. Hauteur de la végétation

Les valeurs moyennes de cette variable varient de 69.3 cm, hauteur minimale observée chez la variété Mexicali75 (V17), à 110 cm hauteur maximale trouvée chez le cultivar Mohamed Ben Bachir (V1), autour d'une moyenne générale de 80.7 cm et une Ppds_{5%} de 14.5 cm (Tableau 03, Figure 07). Hormis les variétés anciennes Mohamed Ben Bachir (V1) et Guemgoum Rkhem (V20), et les variétés récentes Boutaleb (V5), Bousselam (V2), Ain Lahma (V13) et Wahbi (V11), toutes les autres variétés étudiées présentent des écarts de la HT négatifs relativement à la valeur moyenne générale de ce caractère.

Fellahi (2017) considérait que la valeur du rendement augmentait avec la diminution la hauteur de la végétation en présence des allèles de nanisme *Rht-B1b* et *Rht-D1b*. Selon **Benbelkacem et Kellou (2000)**, la caractéristique hauteur de la végétation peut participer à la biomasse aérobie, ce qui permet d'obtenir un rendement garanti. D'après **Rabti (2021)**, la hauteur contribue fortement à la formation de la biomasse aérienne chez les variétés anciennes mais ce rôle semble absent chez les variétés récentes où il est remplacé par le poids des épis.

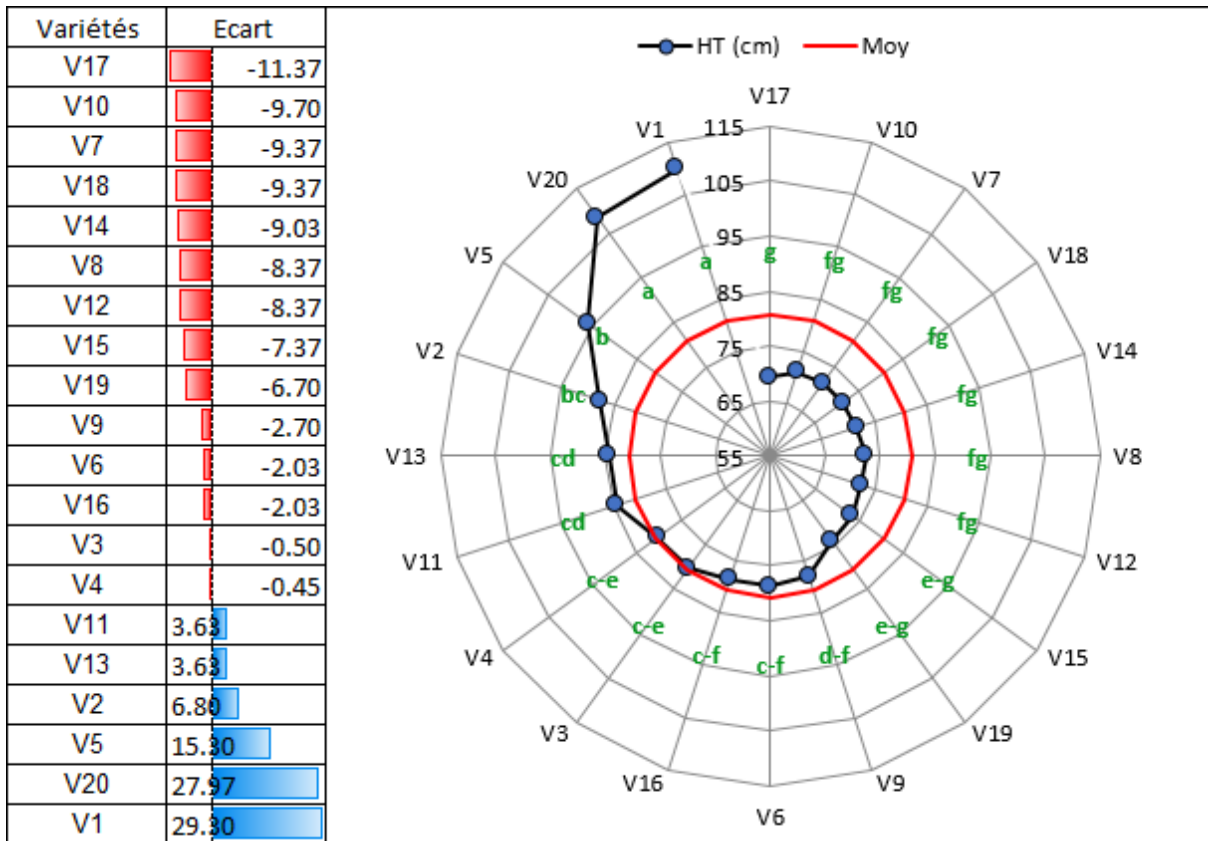


Figure 07 : Variation de la hauteur de la végétation chez les variétés de blé dur étudiées. La moyenne générale est indiquée en cercle rouge. Les variétés qui portent la même lettre ne sont pas significativement différentes par le test de la Ppds_{5%}.

II.2.7. Nombre d'épis/m²

Les valeurs moyennes du NE oscillent entre une valeur minimale de 185 épis/m², prise par la variété Mohamed Ben Bachir (V1), à une valeur maximale de 490 épis/m² observée chez la variété Ain Lahma (V13), soit une amplitude de 305 épis/m². La moyenne générale du caractère est de 367.8 épis/m² et la Ppds_{5%} est de 217.2 No/m² (Tableau 2, Figure 08).

La figure 08 montre que la moitié des variétés évaluées présentent des écarts négatifs par rapport à la moyenne. Les autres variétés sont plus intéressantes et affichent des écarts positifs relativement à la moyenne du caractère. Ces variétés sont, par ordre décroissant, Ain Lahma (V13), Amar06 (V10), Oued El Bared (V3), Wahbi (V11), Waha (V4), Zb/Fl (V18), Saoura (V6), Ofanto (V19), Megress (V7), Simeto (V12), Boutaleb (V5) (Figure 08).

En zone semi-aride, le nombre d'épis/m² constitue la principale composante du rendement en grains chez le blé (Fellahi *et al.*, 2013b). Mansouri *et al.* (2018) notent que le rendement en grains sous conditions semi-arides, sud méditerranéennes, peut être amélioré indirectement par la sélection du nombre d'épis/m², de la biomasse et de l'indice de récolte.

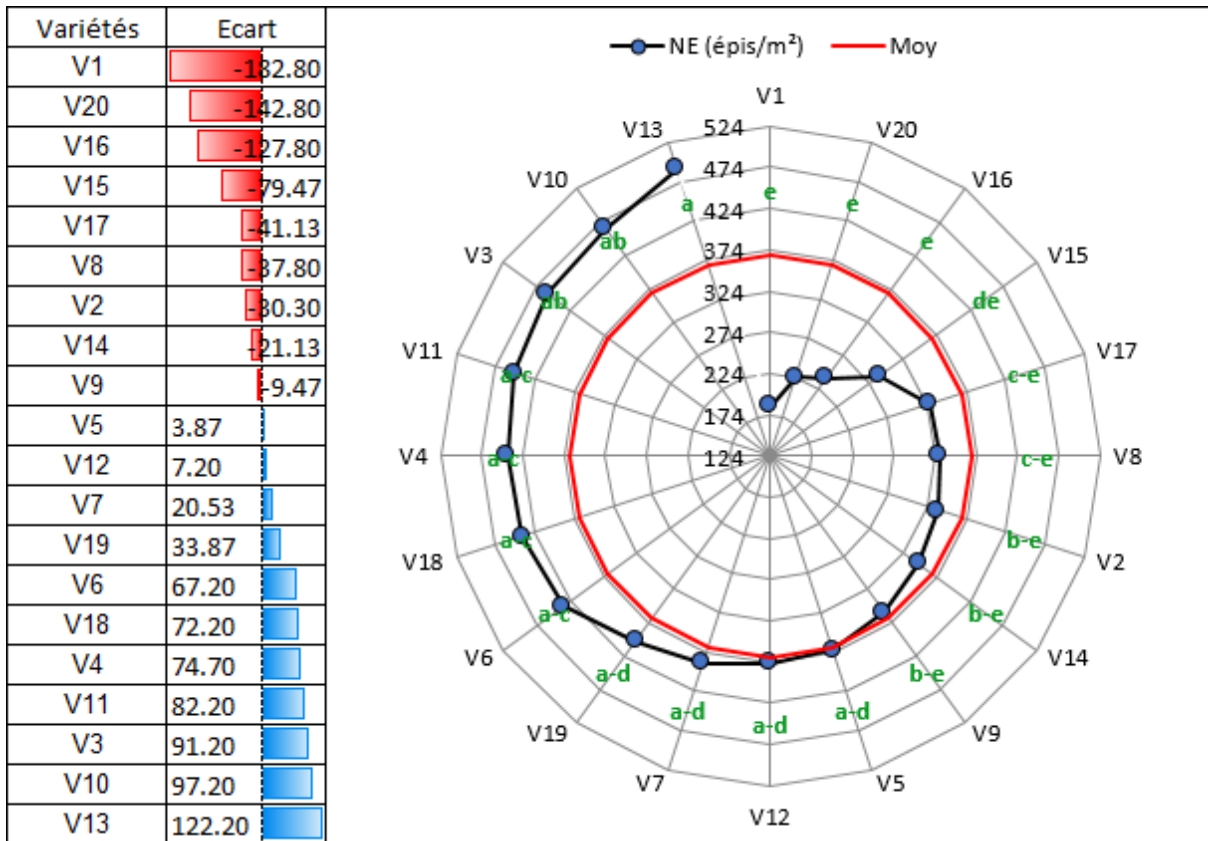


Figure 08 : Variation du nombre d'épis/m² chez les variétés de blé dur étudiées. La moyenne générale est indiquée en cercle rouge. Les variétés qui portent la même lettre ne sont pas significativement différentes par le test de la Ppds_{5%}.

II.2.8. Poids des épis

Avec une moyenne générale de 39.5 q/ha et une Ppds_{5%} de 22.0 q/ha, les valeurs moyennes du PNE varient de 13.7 q/ha, valeur minimale prise par Mohamed Ben Bachir (V1), à 52.2 q/ha, valeur maximale observée chez Wahbi (V11) (Tableau 03, Figure 09). Mis à part Mohamed Ben Bachir (V1), Guemgoum Rkhn (V20), Belikh02 (V16), Manssourah (V8), Setifis (V15), Bousselam (V2), ZB/FI (V18) et Massinissa (V14) qui affichent des écarts de PNE négatifs relativement à la valeur moyenne générale, toutes les autres variétés restantes élaborent des écarts positifs (Figure 09).

Le poids des épis comme celui de la biomasse arienne sont des indicateurs précieux de la capacité de production des génotypes en zones semi-arides (**Fellahi et al., 2013b ; Hannachi et al., 2013b**). L'analyse en chemin menée sur blé tendre a montré que le poids des épis est une voie importante par laquelle la plupart des caractères mesurés influencent indirectement le rendement en grain (**Lamara et al., 2022**). **Rabti (2021)** mentionnent que le poids des épis est positivement et significativement corrélé au nombre d'épis/m², au nombre de grains/épis, au

nombre de grains par m², au rendement en grains et à l'indice de récolte. Ce caractère semble influencer le rendement et ses composantes chez le blé dur. Selon le même auteur, les variétés locales aux gros épis et/ou produisant plus d'épis sont les plus performantes en termes de rendement en grains. Ce caractère peut servir de critère de criblage pour isoler les variétés les plus performantes en termes de rendement en grains (Rabti, 2021).

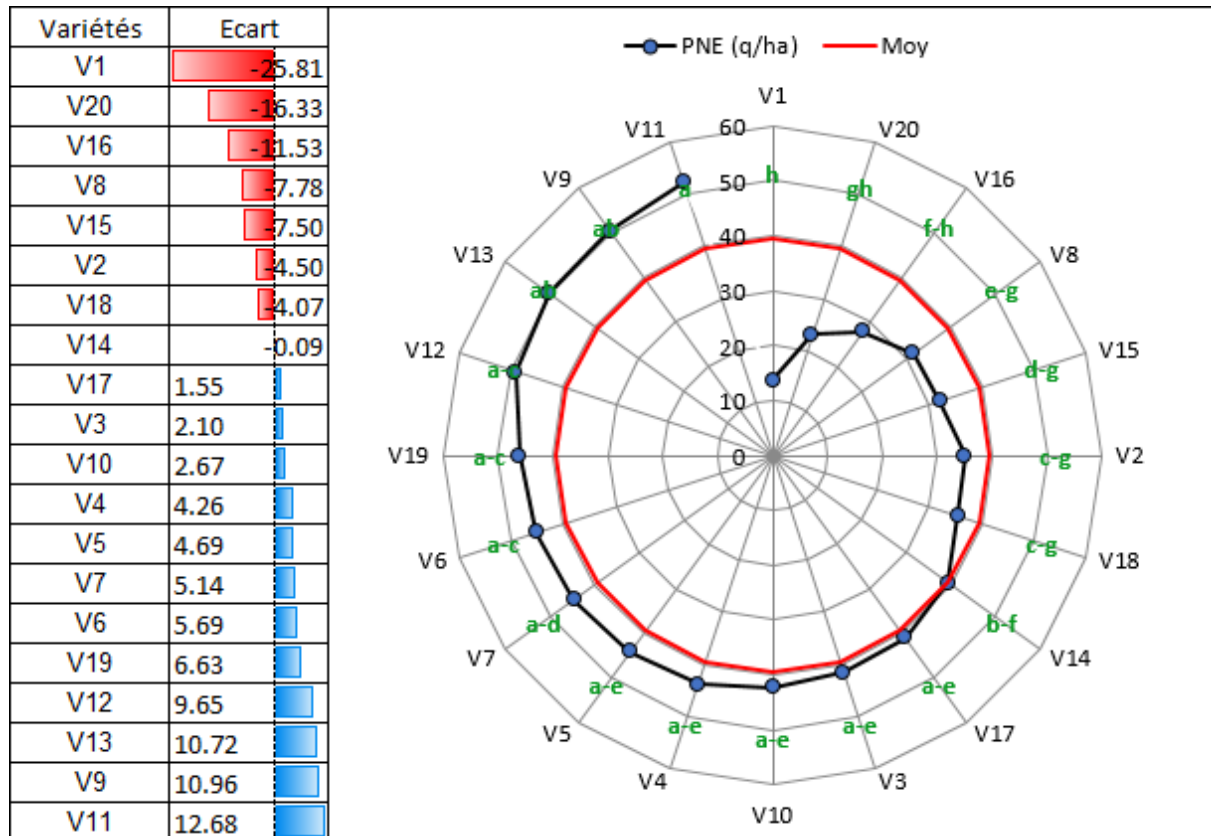


Figure 09 : Variation du poids des épis/m² chez les variétés de blé dur étudiées. La moyenne générale est indiquée en cercle rouge. Les variétés qui portent la même lettre ne sont pas significativement différentes par le test de la Ppds_{5%}.

II.2.9. Poids de mille grains

Les moyennes du PMG varient de 21.6 g chez ZB/FI (V18) à 41.0 g chez Boutaleb (V5), autour d'une moyenne générale de 30 g et une Ppds_{5%} de 8.7 g (Tableau 03, Figure 10). Les variétés Boutaleb (V5), Vitron (V9), Wahbi (V11), Simeto (V12), Belikh02 (V16), Guemgoum Rkhem (V20), Ain Lahma (V13), Megress (V7), Mansourah (V8) et à moindre degré Saoura (V6) et Mexicali75 (V17) sont les plus intéressantes en termes de la grosseur du grain en affichant des écarts de PMG positifs par rapport à la valeur moyenne générale de ce caractère (Figure 10).

Le poids de mille grains dépend des conditions de nutrition et de peuplement. Un PMG faible peut être le résultat de maladies de fin de cycle (fusariose), ou de pluies tardives associées à de fortes chaleurs (Gate *et al.*, 1991), cas de la campagne agricole d'étude d'où une forte sécheresse a été observée juste après anthèse et qui s'est étalée jusqu'à la maturité de la céréale. Une élévation brusque de la température durant la phase d'accumulation des réserves cause l'échaudage, fait chuter le taux d'azote dans le grain et le rend léger (Akter et Rafiqul Islam, 2017). Selon Grignac (1970) cette baisse du taux d'azote dans le grain ne favoriserait pas la formation d'un grain vitreux, ce même auteur relève une relation étroite entre le poids de mille grains et le mitadinage. Selon Gate (2008), le poids des grains, qui sont principalement composés d'amidon nouvellement formé après floraison dépend donc en premier lieu de la photosynthèse des deux dernières feuilles. L'optimum thermique de ce processus, pour le blé, se situe pour le remplissage des grains entre 14°C et 17°C. Le poids de mille grains est sous l'effet des composantes suivantes : matière fraîche, matière sèche, eau et matière protéique qui diminuent sous l'effet de l'élévation de la température (Nuttall *et al.*, 2018).

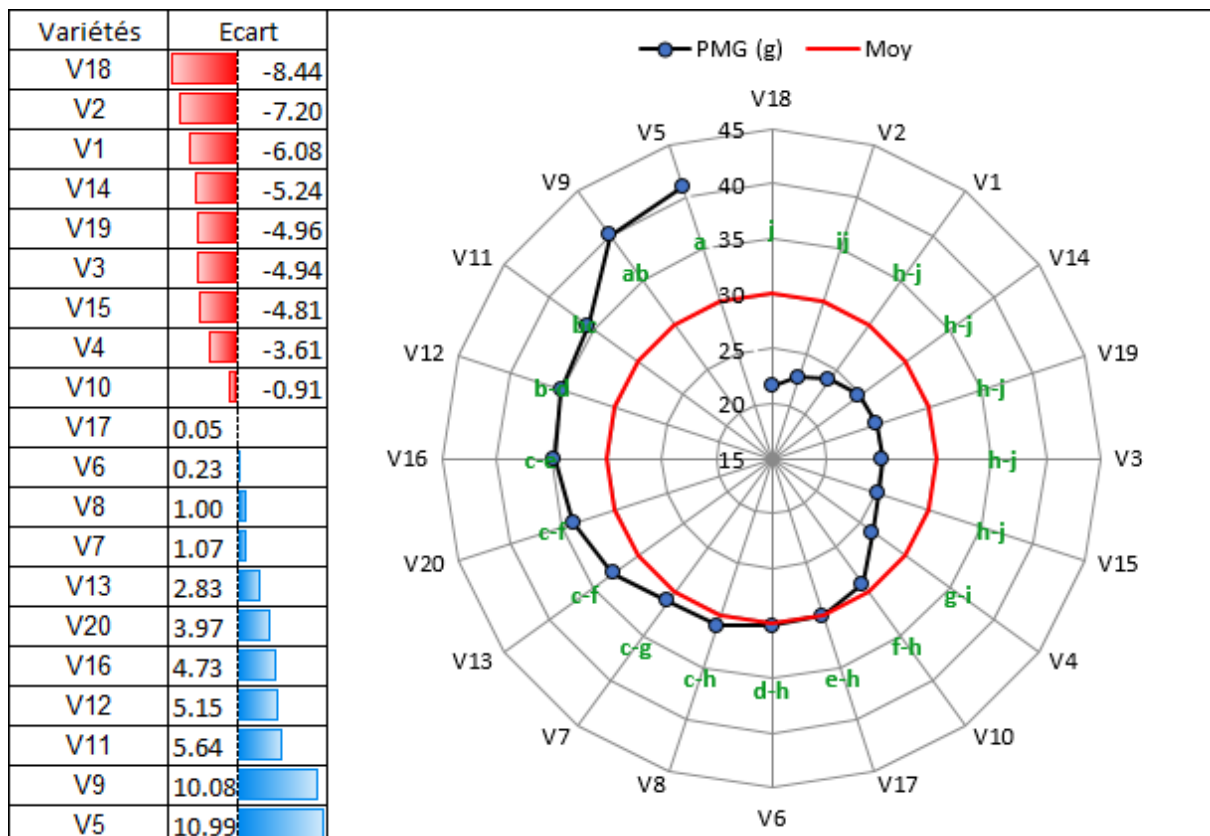


Figure 10 : Variation du poids de mille grains chez les variétés de blé dur étudiées. La moyenne générale est indiquée en cercle rouge. Les variétés qui portent la même lettre ne sont pas significativement différentes par le test de la Ppds5%.

II.2.10. Rendement en grains

Le rendement moyen des variétés étudié varie de 5.6 q/ha, valeur minimale prise par la variété locale Mohamed Ben Bachir (V1), à 32.0 q/ha valeur maximale observée chez Manssourah (V8), autour d'une moyenne générale de 18.8 q/ha et une Ppds_{5%} de 13.5 q/ha (Tableau 03, Figure 11). Manssourah (V8), Amar06 (V10), Boutaleb (V5), Ain Lahma (V13), Simeto (V12), Wahbi (V11), Mexicali75 (V17), Saoura (V6) et Ofanto (V19) sont les variétés qui ont montré une plus grande performance de rendement en grains en exhibant des écarts positifs relativement à la moyenne générale de l'essai (Figure 12).

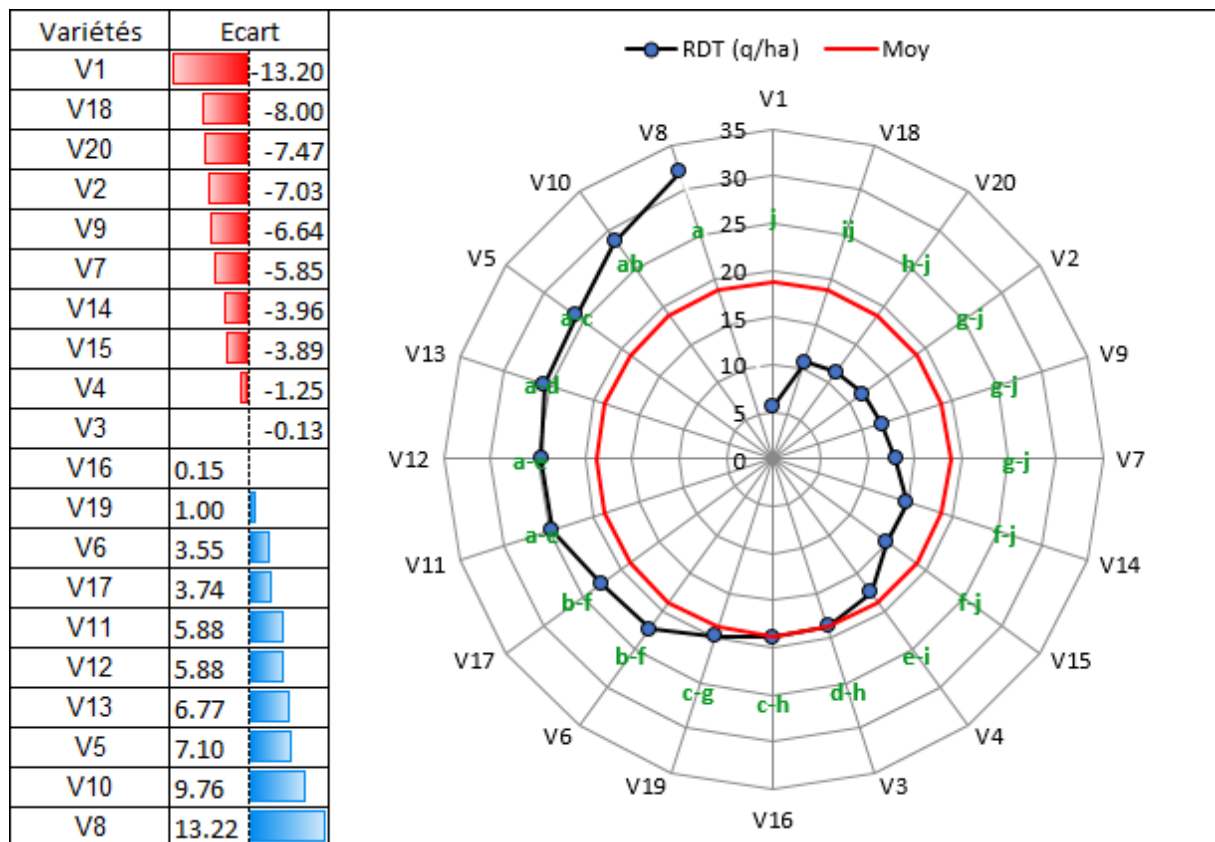


Figure 11 : Variation du rendement en grains chez les variétés de blé dur étudiées. La moyenne générale est indiquée en cercle rouge. Les variétés qui portent la même lettre ne sont pas significativement différentes par le test de la Ppds_{5%}.

Le rendement est un paramètre important est l'objectif final de tout processus de sélection. Plusieurs paramètres contribuent à l'élaboration de ce caractère entre autres, le nombre d'épi, le poids de mille grains et le nombre de grains par épi (Rabti, 2021). L'augmentation du rendement peut être effective sur la base de la performance de ces composantes et d'autres caractères étroitement associés (Fellahi et al., 2013c ; Hannachi et al., 2013b). Le rendement en grains a montré une corrélation positive et significative avec la

période de remplissage des grains, les talles productives par plante, le nombre de grains par épi, les épillets par épi, le poids de mille grains, le rendement biologique et l'indice de récolte aux niveaux phénotypique et génotypique (Wolde *et al.*, 2016). Dans une étude menée sur le blé tendre, Ashraf *et al.* (2011) ont marqué une association positive entre le nombre de talles par plante, le nombre d'épillets par épi, la longueur de l'épi, le nombre de grains par épi et le poids de mille grains avec le rendement en grains par plante aux niveaux génotypique et phénotypique.

II.2.11. Rendement en paille

Avec une moyenne générale de 34.2 q/ha et une Ppds_{5%} de 18.6 q/ha, les valeurs moyennes du PLL varient de 20.8 q/ha, valeur minimale observée chez Vitron (V9), à 42.7 q/ha, valeur maximale trouvée chez Guemguoum Rkhem (V20) (Tableau 03, Figure 12).

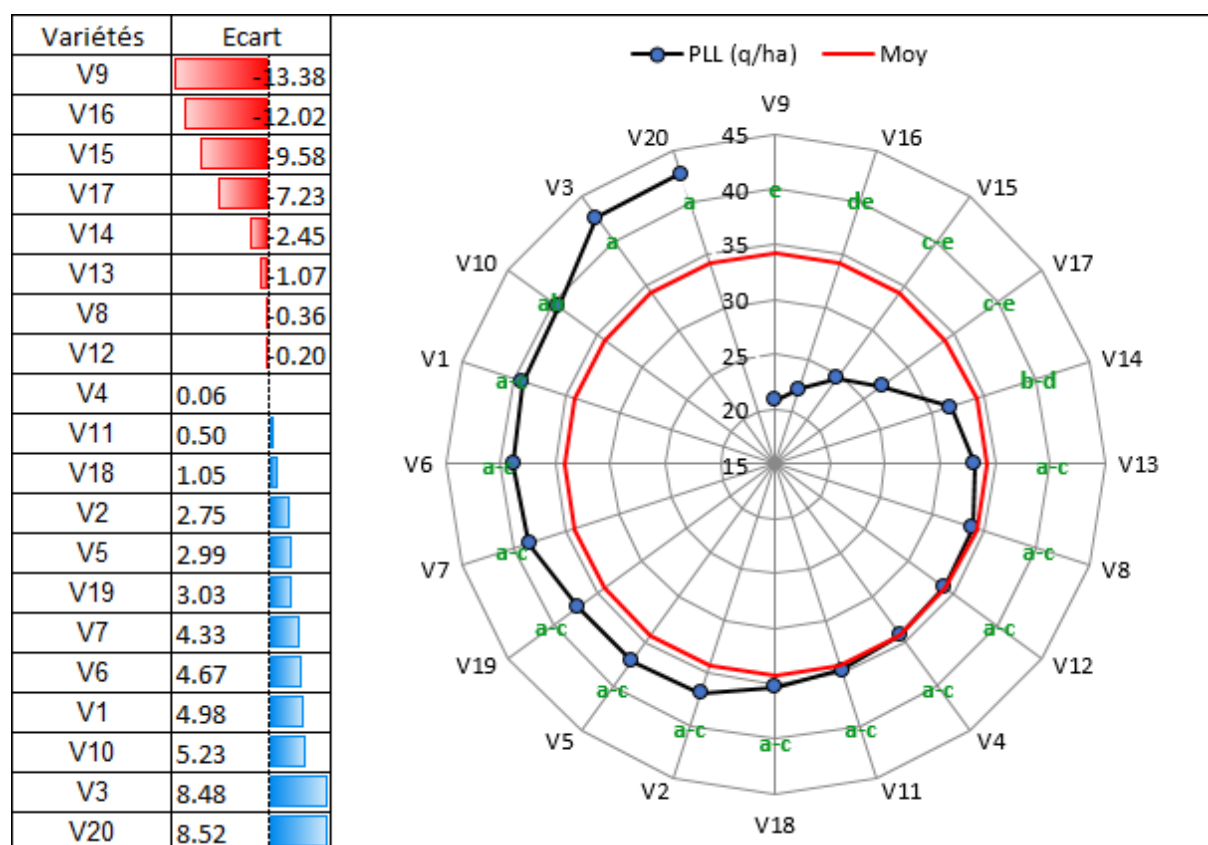


Figure 12 : Variation du rendement en paille chez les variétés de blé dur étudiées. La moyenne générale est indiquée en cercle rouge. Les variétés qui portent la même lettre ne sont pas significativement différentes par le test de la Ppds_{5%}.

Hormis Vitron (V9), Belikh02 (V16), Setifis (V15), Mexicali75 (V17), Masinissa (V14), Ain Lahma (V13), Manssourah (V8) et Simito (V12) qui expriment des écarts de rendement en

paille négatifs relativement à la valeur moyenne générale, toutes les autres variétés matérialisent plus de paille et enregistrent des écarts positifs (Figure 12).

Fellahi et al. (2013d) mentionnent que le rendement en paille est un facteur très important dans l'installation du système élevage-céréales, la paille produite par les céréales est une source d'énergie pour le bétail. **Chennafi et al. (2011)** rapporte que, la paille laissée sur champs contribue positivement à l'amélioration de la stabilité structurale, atténue l'effet érosif des pluies et augmente l'humidité résiduelle dans le sol. Ainsi, **Dai et al. (2016)** notent que les résidus de cultures comme la paille de blé et les cannes de maïs sont une importante source de matières premières cellulósiques pour la production du bioéthanol.

II.2.12. Biomasse aérienne

Les valeurs moyennes de cette variable varient de 72.3 q/ha, valeur minimale prise par la variété Belikh02 (V16), à 127.0 q/ha valeur maximale observée chez Oued El Bared (V3), autour d'une moyenne générale de 107.9 q/ha et une Ppds_{5%} de 52.9 q/ha (Tableau 03, Figure 13).

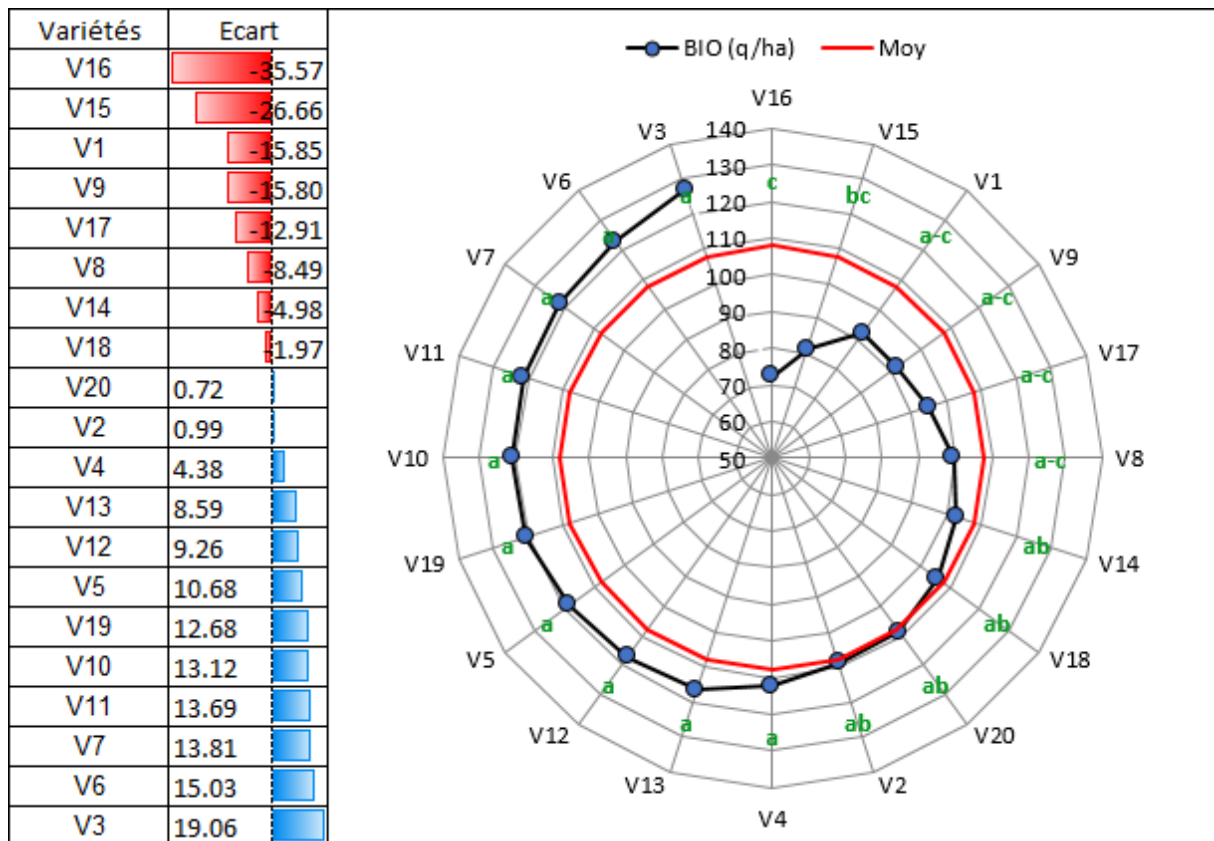


Figure 13 : Variation de la biomasse aérienne accumulée chez les variétés de blé dur étudiées. La moyenne générale est indiquée en cercle rouge. Les variétés qui portent la même lettre ne sont pas significativement différentes par le test de la Ppds_{5%}.

La figure 13 montre que 8 variétés à savoir Belikh (V16), Setifis (V15), Mohamed Ben Bachir (V1), Vitron (V9), Mexicali75 (V17), Manssourah (V8), Masinissa (V14) et ZB/Fl (V18) affichent des écarts négatifs relativement à la valeur moyenne générale du caractère ciblé. Les variétés restantes produisent plus de biomasse, leurs moyennes dépassent ainsi la moyenne de l'ensemble des variétés testées.

La capacité de produire une biomasse aérienne acceptable à maturité est une caractéristique désirable dans les zones semi-arides vu la variabilité du climat (**Bouzerzour et al., 2000 ; Benmahammed et al., 2010**). **Fellahi et al. (2013c)** ainsi que **Hannachi et al. (2013b)** soulignent que la biomasse élevée est la cause principale des rendements élevés enregistrés chez les deux espèces de blé cultivées. Ces auteurs rapportent une forte corrélation entre le rendement en grain et la biomasse aérienne ce qui montre que la sélection sur la base de la biomasse amène un gain appréciable dans le rendement. Certains auteurs tels que **Mekhlouf et al. (2001)** affirment qu'il faut assurer une production de biomasse aérienne suffisante pour garantir un rendement en grain considérable grâce à une redistribution optimale des ressources. **Golabadi et al. (2006)** mentionnent cependant que la sélection sur la base de la biomasse doit être faite sous conditions favorables, alors que sous conditions défavorables, la sélection doit être conduite sur la base du poids de l'épi et du poids de mille grains.

II.2.13. Indice de récolte

L'indice de récolte des variétés étudiées varie de 6.1% chez Mohamed Ben Bachir (V1) à 32.1% chez Manssourah (V8), la moyenne générale de ce caractère est de 17.5% et la Ppds_{5%} est de 9.6% (Tableau 03, Figure 14). La moitié des variétés affichent des écarts de HI négatifs relativement à la valeur moyenne générale et l'autre moitié expriment des valeurs de HI positifs dans le sens désiré de la sélection (Figure 14). Ces variétés sont par ordre décroissant Manssourah (V8), Belikh02 (V16), Amar06 (V10), Mexicali75 (V17), Ain Lahma (V13), Boutaleb (V5), Simeto (V12), Wahbi (V11) et à moindre degré Setifis (V15) et Saoura (V6).

L'indice de récolte est une caractéristique importante pour améliorer le rendement grain. Il représente le rapport du rendement en grains sur le rendement total (grains + paille). C'est un indicateur de la capacité du génotype à produire des grains sous les contraintes hydriques auxquelles il est soumis, une valeur élevée de ce rapport signifie que la translocation de photosynthétats vers les sites est bonne et qu'une part importante de ces derniers a contribué au remplissage des grains. L'indice de récolte explique clairement la liaison entre la biomasse aérienne et le rendement en grain, car il représente la part de la biomasse produite qui est valorisée sous forme de grain (**Dai et al., 2016**). **Rabti (2020)** notent que l'indice de récolte est

positivement corrélé avec le rendement en grain sous d'environnement de type méditerranéen. **Richards et al. (1997)** remarquent que l'indice de récolte sous les conditions de croissance non limitantes, est de 50%, il chute à des valeurs de 35% dans les régions arides. L'indice de récolte est apparu particulièrement sensible au défaut d'alimentation hydrique (**Nakhforoosh et al., 2015**), alors que d'autres auteurs concluent à une relative stabilité de ce caractère (**Dashtaki et al., 2004**). Ainsi, une réduction d'indice de récolte traduira, selon les phases, soit une limitation par la source ou le puits soit une limitation du transfert des assimilats de la source vers le puits (**Debaeke et al., 1996**).

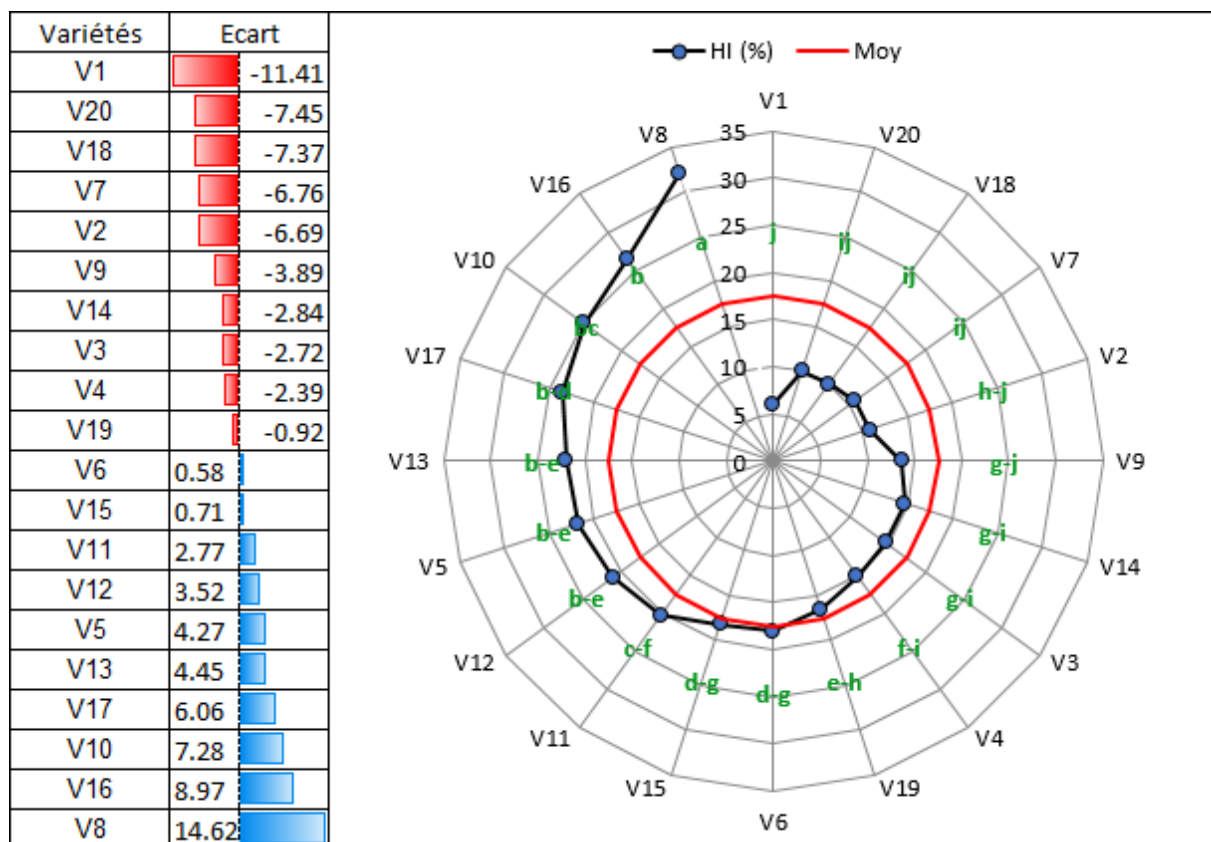


Figure 14 : Variation de l'indice de récolte chez les variétés de blé dur étudiées. La moyenne générale est indiquée en cercle rouge. Les variétés qui portent la même lettre ne sont pas significativement différentes par le test de la Ppds_{5%}.

II.3. Corrélation des caractères mesurés

Le sélectionneur est à la recherche de caractères qui s'expriment tôt au cours du cycle de développement de la plante et dans la liaison avec les variables d'intérêt est stable, et notamment la liaison avec le rendement en grains (**Fellahi et al., 2013c ; Hannachi et al., 2013b**). Ceci parce que la sélection sur la base du rendement grain s'est montrée le plus souvent inefficace (**Moragues et al., 2006**).

L'analyse des corrélations entre les paramètres mesurés est résumée en tableau 04. La DVP qui représente la phénologie de la plante, est négativement et significativement corrélée avec le nombre d'épis ($r = -0.451^*$) et le poids des épis ($r = -0.534^*$). D'autre part, elle présente une corrélation positive avec la hauteur de la végétation ($r = 0.587^*$). Ces résultats suggèrent que les variétés courtes à croissance plus ou moins précoce produisent plus de talles fertiles. Celles tardives sont plus hautes et matérialisent moins d'épis. La hauteur de la végétation est négativement liée au nombre ($r = -0.480^*$) et au poids des épis ($r = -0.521^*$). De plus ces deux dernières variables NE et PNE sont fortement liées entre elles ($r = 0.813^*$). Ces résultats indiquent que l'amélioration du poids épis est associée à l'amélioration du nombre épis. Le poids des épis semble dans ce cas précis influencer le rendement et ses composantes, suggérant que les variétés aux gros épis et/ou produisant plus d'épis sont les plus performantes en termes de rendement en grains.

Le nombre d'épis/m², en plus de ses corrélations avec DPV, HT et PNE, il affiche des liaisons positives et significatives avec la surface foliaire ($r = 0.533^*$), le rendement en grains ($r = 0.470$) et la biomasse aérienne ($r = 0.727^*$). Le poids des épis exhibe aussi des associations positives au rendement en grains ($r = 0.489^*$) et la biomasse aérienne accumulée ($r = 0.571^*$).

La surface de la feuille étandard est positivement corrélée avec la biomasse ($r = 0.709^*$) et le rendement en paille ($r = 0.587^*$). Ce résultat montre que les variétés à feuilles larges produisent plus de paille. Ceci est aussi important, vu que cet organe est le dernier qui reste en activité, avec l'épi et les barbes, pour produire les assimilés nécessaires au remplissage du grain. Une feuille étandard aux larges dimensions est certainement désirable en milieux favorables (Salmi *et al.*, 2015).

L'autre corrélation intéressante est celle liant le rendement en grains et l'indice de récolte ($r = 0.901^*$). En plus de ces corrélations positives et significatives à SF, NE et PNE ; la biomasse totale cumulée, est positivement et significativement corrélée au rendement en paille ($r = 0.758^*$), suggérant qu'une biomasse aérienne élevée est une assurance de l'obtention de rendements en paille élevés chez les variétés criblées.

Tableau 04 : Corrélations phénotypiques entre les caractères mesurés chez les variétés étudiées.

Variables	DPV	Chl	TCV	TRE	IC	SF	HT	NE	PNE	PMG	RDT	PLL	BIO	HI
DPV		0.165	-0.396	0.427	0.110	0.091	0.587	-0.451	-0.534	-0.106	-0.214	0.377	-0.039	-0.267
Chl	0.165		-0.269	-0.155	0.249	0.192	-0.090	0.203	0.283	0.274	0.320	0.270	0.408	0.155
TCV	-0.396	-0.269		-0.200	-0.402	0.076	-0.192	-0.033	-0.083	-0.357	0.051	-0.194	-0.214	0.180
TRE	0.427	-0.155	-0.200		-0.201	0.330	0.314	-0.231	-0.297	-0.360	-0.413	0.386	0.124	-0.528
IC	0.110	0.249	-0.402	-0.201		-0.300	-0.249	0.027	0.171	0.436	0.372	-0.397	-0.216	0.479
SF	0.091	0.192	0.076	0.330	-0.300		-0.122	0.533	0.343	-0.182	0.291	0.587	0.709	-0.018
HT	0.587	-0.090	-0.192	0.314	-0.249	-0.122		-0.480	-0.521	0.151	-0.374	0.392	-0.018	-0.431
NE	-0.451	0.203	-0.033	-0.231	0.027	0.533	-0.480		0.813	-0.016	0.470	0.235	0.727	0.178
PNE	-0.534	0.283	-0.083	-0.297	0.171	0.343	-0.521	0.813		0.370	0.489	-0.103	0.571	0.263
PMG	-0.106	0.274	-0.357	-0.360	0.436	-0.182	0.151	-0.016	0.370		0.406	-0.274	0.016	0.409
RDT	-0.214	0.320	0.051	-0.413	0.372	0.291	-0.374	0.470	0.489	0.406		0.006	0.326	0.901
PLL	0.377	0.270	-0.194	0.386	-0.397	0.587	0.392	0.235	-0.103	-0.274	0.006		0.758	-0.332
BIO	-0.039	0.408	-0.214	0.124	-0.216	0.709	-0.018	0.727	0.571	0.016	0.326	0.758		-0.101
HI	-0.267	0.155	0.180	-0.528	0.479	-0.018	-0.431	0.178	0.263	0.409	0.901	-0.332	-0.101	

DPV : Durée de la phase végétative (jours), Chl : Teneur en chlorophylle (CCI), TCV : Température du couvert végétal (°C), TRE : Teneur relative en eau (%), IC : Intégrité cellulaire (%), SF : Surface foliaire de la feuille étandard (cm²), HT : Hauteur de la végétation (cm), NE : Nombre d'épis/m² (No/m²), PNE : Poids des épis (q/ha), PMG : Poids de mille grains (g), RDT : Rendement en grains (q/ha), PLL : Rendement en paille (q/ha), BIO : Biomasse totale accumulée (q/ha), HI : Indice de récolte (%).

II.4. Typologie variétale

Comme la sélection sur la base d'un seul caractère induit à une variation pour les autres caractères mesurés (Fellahi *et al.*, 2020), il est intéressant de grouper les lignées évaluées sur la base des caractéristiques mesurées. La classification hiérarchique est une variété de techniques d'analyses statistiques multivariées qui permet le regroupement des objets dans des groupes homogènes, sur la base de leur similarité (Vachon *et al.*, 2005). La classification hiérarchique sur la base de l'ensemble des caractères mesurés dans la présente étude montre que les vingt variétés évaluées se répartissent en quatre groupes distincts (Figure 15).

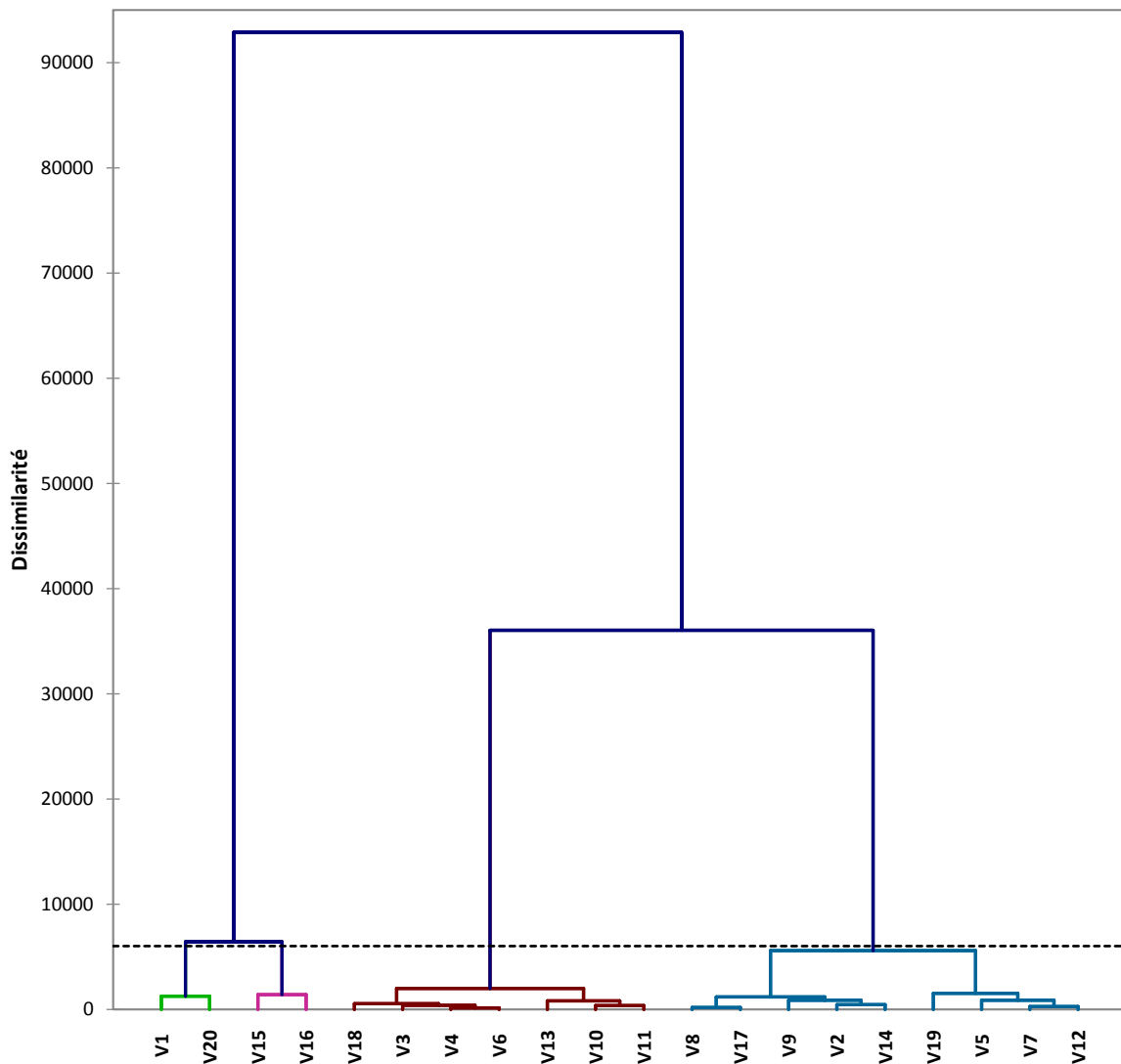


Figure 15 : Classification hiérarchique des vingt variétés de blé dur sur la base des caractères mesurés.

Le premier groupe (G1) est formé des variétés locales Mohamed Ben Bachir (V1) et Guemgoum Rkhem (V20). Le second groupe (G2) est représenté par les variétés Setifis (V15)

et Belikh02 (V16). Les variétés Oued El Bared (V3), Waha (V4), Saoura (V6), Amar06 (V10), Wahbi (V11), Ain Lahma (V13) et Zb/F1 (V18) constituent le troisième groupe (G3). Les variétés restantes à savoir Bousselam (V2), Boutaleb (V5), Megress (V7), Mansourah (V8), Vitron (V9), Simeto (V12), Massinissa (V14), Setifis (V15), Belikh02 (V16), Mexicali75 (V17) et Ofanto (V19) forment le dernier groupe (G4).

Les caractéristiques de chaque groupe sont illustrées en figure 15. Les variétés du premier groupe (G1) se différencient des autres variétés par leurs cycle végétatif le plus long, la teneur en chlorophylle dans leurs feuilles la plus élevée, la meilleure tolérance aux stress abiotiques (TRE élevée, TCV et IC faibles), la hauteur des plantes et la paille les plus importantes. Les variétés du deuxième groupe (G2) se caractérisent par leur précocité au stade épiaison, la faible teneur en chlorophylle dans leurs feuilles de petite taille, la sensibilité aux stress abiotiques, la grosseur de leurs grains, le rendement en paille et la biomasse les plus faibles avec une meilleure translocation des réserves produit de la photosynthèse vers le grain que de la paille.

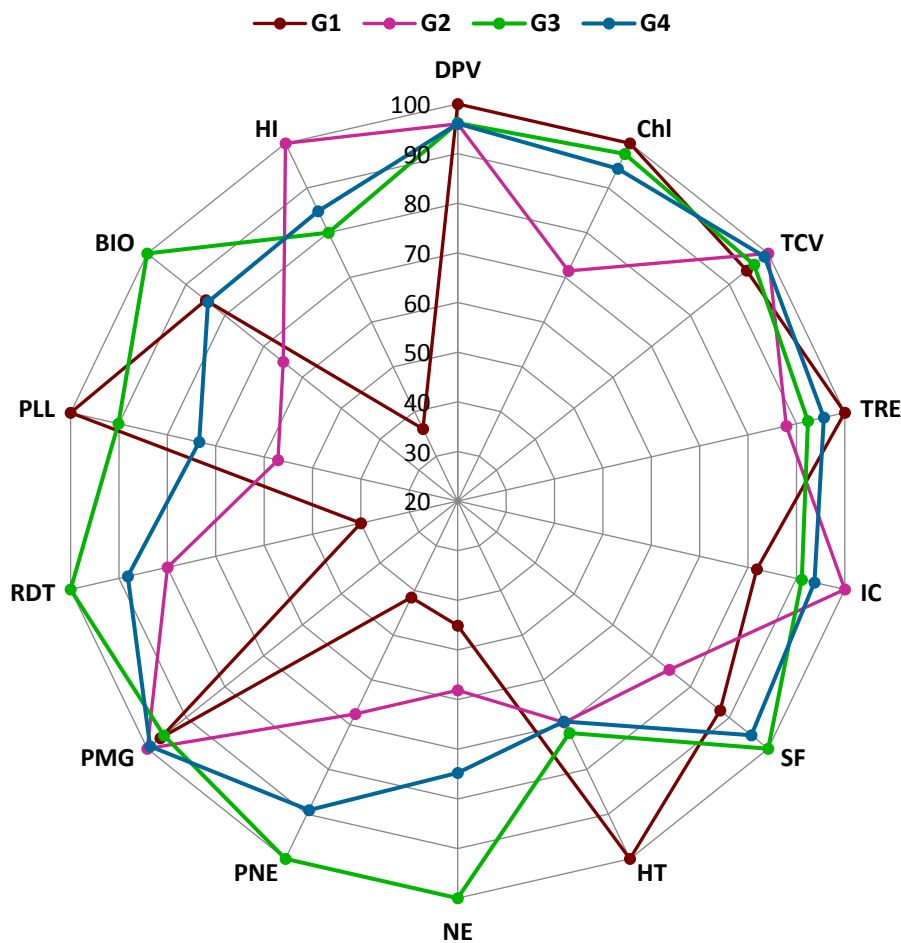


Figure 16 : Caractéristiques des quatre groupes de variétés de blé dur identifiés.

Le troisième groupe (G3) est celui des variétés les plus performantes en termes de rendement en grains et ses composantes à savoir le nombre d'épis, poids des épis et biomasse aérienne. Ses variétés présentent également un cycle végétatif court au même titre que le groupe G2, des feuilles larges, une hauteur moyenne et des grains à petite taille. Le quatrième groupe (G4) se caractérise par la précocité de ses variétés au même degré que celui noté chez les deux groupes précédents (G2 et G3) et la taille la plus réduite de leurs plantes.

Conclusión

Conclusion

La présente étude avait comme objectif d'analyser la variabilité phénotypique et d'évaluer les performances agronomiques et d'adaptation aux stress abiotiques d'une vingtaine de variétés de blé dur d'origine divers afin de déterminer les caractères et variétés capables de jouer en faveur de l'amélioration du rendement sous conditions contraignantes des environnements semi-arides.

Les résultats d'analyse de la variance indiquent un effet variété significatif à très hautement significatif pour l'ensemble de caractères étudiés, mis à part l'intégrité cellulaire ou taux des dommages cellulaires induits par le stress thermique. Les valeurs moyennes minimales et maximales des caractères mesurés sont variables en fonction du caractère lui-même et des variétés évaluées. Mohamed Ben Bachir (V1) présente les moyennes les plus importantes de la teneur relative en eau et de la hauteur de la végétation. Par contre, elle exprime les plus faibles valeurs du nombre d'épis/m², poids des épis, rendement en grains et indice de récolte. Oued El Bared (V3), Waha (V4), Boutaleb (V5) et Manssourah (V8) exhibent, respectivement, les meilleures moyennes de la surface foliaire, poids de mille grains et rendement en grains. Cette dernière variété extériorise aussi le meilleur indice de récolte. Le poids de mille grains le plus faible est observé chez Zb/Fl (V18) alors que la surface foliaire la plus réduite est notée chez Belikh02 (V16) qui possède également la teneur relative en eau la plus faible. Ain Lahma (V13), Wahbi (V11) et Oued El Bared (V3) détiennent, respectivement, le nombre d'épis, le poids des épis et la biomasse aérienne les plus conséquents. Mexicali75 (V17) est la variété la plus courte, Ofanto est la plus précoce alors que Guemgoum Rkhem (V20) est celle la plus tardive. Cette dernière a produit le rendement en paille le plus élevé, celui le plus faible est généré par la variété Vitron (V9). La meilleure teneur en chlorophylle des feuilles est observée chez la variété Simeto (V12), celle la plus faible est notée chez Setifis (V15). Ofanto (V19) et Megress (V7) présentent la température du couvert végétal la plus élevée et la plus faible, respectivement.

L'analyse des corrélations entre les caractères mesurés montre que le rendement en grains est fortement influencé par le nombre d'épis, le poids des épis et l'indice de récolte. Les résultats suggèrent aussi que les variétés précoces, plus ou moins courtes et à feuilles larges produisent plus d'épis/m² alors que celles tardives sont plus hautes et matérialisent moins d'épis et plus de paille.

La classification hiérarchique sur la base de l'ensemble des caractères mesurés indique que les vingt variétés évaluées se répartissent en quatre groupes qui divergent pour la

phénologie, la morphologie la tolérance aux stress et la performance agronomique. Le premier groupe (G1), constitué des variétés locales Mohamed Ben Bachir (V1) et Guemgoum Rkhem (V20), se différencie des autres groupes par la tardivité au stade épiaison, la teneur en chlorophylle des feuilles la hauteur des plantes et le rendement en pailles les plus élevés avec une meilleure tolérance aux stress abiotiques. Le groupe G2 qui regroupe les variétés Setifis (V15) et Belikh2 (V16) se caractérise par la précocité au stade épiaison, la faible teneur en chlorophylle, des feuilles de petite taille, la sensibilité aux stress abiotiques, la grosseur des grains, le rendement en paille et la biomasse les plus faibles avec un indice de récolté appréciable. Les variétés Oued El Bared (V3), Waha (V4), Saoura (V6), Amar06 (V10), Wahbi (V11), Ain Lahma (V13) et Zb/Fl (V18) qui forment le groupe G3 présentent le meilleur rendement en grains, le nombre et le poids des épis ainsi que la biomasse aérienne les plus élevés. Ces variétés possèdent aussi des feuilles larges et un cycle végétatif court à la même durée de la phase végétative que le groupe G2. Leur hauteur est juste moyenne mais leurs poids de mille grains est le plus faible. Le dernier groupe G4 est celui des variétés intermédiaires en l'occurrence Bousselam (V2), Boutaleb (V5), Megress (V7), Mansourah (V8), Vitron (V9), Simeto (V12), Massinissa (V14), Setifis (V15), Belikh02 (V16), Mexicali75 (V17) et Ofanto (V19).

L'ensemble des résultats obtenus peuvent être exploités par les sélectionneurs locaux pour des fins de sélection pour l'amélioration du blé en Algérie. En termes de perspective, il serait souhaitable de confirmer ces résultats sur plusieurs environnements, incorporer les outils modernes de la biotechnologie dans les stratégies conventionnelles d'amélioration qui réduiraient largement les effets de l'interaction génotype x environnement et offrent l'avantage d'une sélection efficace, rapide et précoce.

*Références
Bibliographiques*

Références bibliographiques

- Abeledo L. G., Savin R., Gustavo A., & Slafer, G. (2008).** Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European Journal of Agronomy*, **28**, 541-550.
- Adjabi, A., Bouzerzour, H., & Benmahammed, A. (2014).** Stability Analysis of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Grain Yield. *Journal of Agronomy*, **13**(3), 131-139.
- Akter, N., & Rafiqul Islam, M. (2017).** Heat stress effects and management in wheat. A review. *Agronomy for sustainable development*, **37**(5), 1-17.
- Ali, Z., Merrium, S., Habib-ur-Rahman, M., Hakeem, S., Saddique, M. A. B., & Sher, M. A. (2022).** Wetting mechanism and morphological adaptation; leaf rolling enhancing atmospheric water acquisition in wheat crop—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-19.
- Anithakumari, A. M., Nataraja, K. N., Visser, R. G., & van der Linden, C. G. (2012).** Genetic dissection of drought tolerance and recovery potential by quantitative trait locus mapping of a diploid potato population. *Molecular Breeding*, **30**(3), 1413-1429.
- Annicchiarico, P., Bellah, F., & Ghiari, T. (2005).** Defining sub regions estimating benefits for a specific adaptation strategy by breeding programs: a cas study. *Crop Science*, **45**, 1741-1749.
- Ashraf, A. A. E. M., Samir, R. A. H., & Moemen, H. T. (2012).** Genotypic and phenotypic interrelationships among yield and yield components in Egyptian bread wheat genotypes. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, **4**(1), 9-16.
- Bajji, M., Lutts, S., & Kinet, J. M. (2001).** Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science*, **160**(4), 669-681.
- Belhassen, E., This, D., & Monneveux, P. (1995).** L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. *Cahier d'Agriculture*, **1**, 251-261.
- Belkharchouche, H., Fellah, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Chellal, N. (2009).** Vigueur de croissance, translocation et rendement En grains du blé dur (*Triticum durum* desf.) Sous conditions semi arides. *Courrier du Savoir*, **9**, 17-24.

- Benbelkacem, A., & Kellou, K. (2000).** Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) cultivées en Algérie. *Durum wheat improvement in the Mediterranean region: new challenges. CIHEAM–IAMZ, Zaragoza, Spain*, 5-110.
- Benbelkacem, A. (2022).** Principes d'amélioration des Plantes : Stratégies de sélection variétale des céréales en Algérie. Journées scientifiques sur la Connaissance et le Savoir, 16-17 Mai 2022, Faculté SNV- STU & LCVRN, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj.
- Benmahammed, A., Bouzerzour, H., Mekhlouf, A., & Benbelkacem, A. (2008).** Variation de la teneur relative en eau, l'intégrité cellulaire, la biomasse et l'efficacité d'utilisation de l'eau des variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) conduites sous contraintes hydrique. *Recherche Agronomique*, **21**, 37-47
- Benmahammed, A., Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, A., & Bouzerzour, H. (2010).** Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi arides. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, **14**(1), 177-186.
- Bousba, R. (2012).** Caractérisation de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : Analyse de la physiologie et de la capacité en production. Thèse de doctorat en Sciences, Option : Bases génétique de la production végétale. Université de Constantine, 126 p.
- Bouzerzour, H., Bahlouli, F., Benmahammed, A., & Djekoun, A. (2000).** Cinétique d'accumulation et de répartition de la biomasse chez des génotypes contrastés d'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Sciences et Technologie*, **13**, 59-64.
- Chennafi, H., Bouzerzour, H., Aidaoui, A., & Saci, A. (2006).** Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi arid growth conditions. *Asian Journal Plant Science*, **5**, 854-860.
- Chennafi, H., Hannachi, A., Touahria, O., Fellahi, Z., Makhlof, M., & Bouzerzour, H. (2011).** Tillage and residue management effect on durum wheat [*Triticum turgidum* (L.) Thell. ssp. *turgidum* conv. *durum* (Desf.) MacKey] growth and yield under semi-arid climate. *Advances in Environmental Biology*, **5**(10), 3231-3241.
- Cherfia, R. (2010).** Etude de la variabilité morpho-physiologique et moléculaire d'une collection de blé dur algérien (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Magister, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie et Ecologie, Université de Constantine, 77 p.

- Dai, J., Bean, B., Brown, B., Bruening, W., Edwards, J., Flowers, M., Karow, R., Lee, C., Morgan, G., Ottman, M., Ransom, J., & Wiersma, J. (2016).** Harvest index and straw yield of five classes of wheat. *Biomass and Bioenergy*, **85**, 223-227.
- Dashtaki, M., Yazdansepas, A., Najafi Mirak, T., Ghannadha, M. R., Joukar, R., Islampour, M. R., Moayedi, A. A., Kouchaki, A. R., Nazeri, M., Abedi Oskooie, M. S., Aminzadeh, G., Soltani, R. & Ashouri, S. (2004).** Stability of grain yield and harvest index in winter and facultative bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Seed and Plant Improvement Journal*, **20**(3), 263-280.
- Debaeke, P., Puech, J., & Casals, M. L. (1996).** Elaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. I. Etude en lysimètres. *Agronomie*, **16**, 3-23.
- Fellahi, Z., Hannachi, A., Bouzerzour, H., & Boutekrabt, A. (2013a).** Line × tester mating design analysis for grain yield and yield related traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Agronomy*, 2013, Article ID 201851, 9 p.
- Fellahi, Z., Hannachi, A., Bouzerzour, H., & Boutekrabt, A. (2013b).** Study of interrelationships among yield and yield related attributes by using various statistical methods in bread wheat (*Triticum aestivum* L. em Thell.). *International Journal of Agronomy and Plant Production*, **4**(6), 1256-1266.
- Fellahi, Z., Hannachi, A., Bouzerzour, H., & Boutekrabt, A. (2013c).** Correlation between traits and path analysis coefficient for grain yield and other quantitative traits in bread wheat under semi arid conditions. *Journal of Agriculture and Sustainability*, **3**(1), 16-26.
- Fellahi, Z., Hannachi, A., Chennafi, H., Makhlouf, M., & Bouzerzour, H. (2013d).** Effets des résidus et du travail du sol sur la production de la biomasse et le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf., variété MBB) en lien avec l'utilisation de l'eau dans les conditions semi-arides des Hautes Plaines Sétifiennes. *Revue Agriculture*, **6**, 03-11.
- Fellahi, Z. (2017).** Analyse génétique d'un croisement line x tester, réponse à la sélection et tolérance des stress du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous condition semi arides. Thèse de Doctorat en Sciences, Spécialité : Production végétale, Université de Ferhat Abbas Sétif 1, Sétif, 230 p.
- Fellahi, Z., Hannachi, A. & Bouzerzour, H. (2020).** Expected genetic gains from mono trait and indices based selection in advanced bread wheat (*Triticum aestivum* L.) populations. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, **73**(2), 9131-9141
- Fokar, M., Nguyen, H. T., & Blum, A. (1998).** Heat tolerance in spring wheat. I. Estimating cellular thermotolerance and its heritability. *Euphytica*, **104**(1), 1-8.

Gate, P., Dagneaud, J., & Vignier, L. (1991). Bilan climatique des céréales : Principaux faits marquants et comportement variétal. *Rev. Perspectives agricoles*, **163**, 77-86.

Gate, P. (2008). Le blé et le changement climatique : impacts et perspectives. Journée de l'ASF du 1er février 2007 "Nouveaux objectifs de sélection face aux enjeux climatiques, énergétiques et environnementaux de demain". "Le Sélectionneur Français" (n° double 58 - 59), 15-30 p.

Golabadi, M., Arzani, A. S. A. M., & Maibody, S. M. (2006). Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. *African Journal of agricultural research*, **1**(5), 162-171.

Grignac, P. (1970). Amélioration de la qualité des variétés de blé dur. *Annales de l'amélioration des plantes*, **20**(2), 159-188.

Haddad, L. (2010). Contribution à l'étude de la stabilité des rendements du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. Mémoire de Magister, Département d'Agronomie. Université Ferhat Abbas Sétif 1, 70 p.

Haddad, L., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Zerargui, H., Hannachi, A., Bachir, A., Salmi, M. Oulmi, A. Nouar, H., & Laala, Z. (2016). Analysis of the phenotypic variability of some varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf) to improve the efficiency of performance under the constraining conditions of semiarid environments. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, **8**(3), 1021-1036.

Hannachi, A., Fellahi, Z., Bouzerzour, H., & Boutekrabt, A. (2013a). Diallel-cross analysis of grain yield and stress tolerance-related traits under semi-arid conditions in Durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, **4**(1), 1027-1033

Hannachi, A., Fellahi, Z., Bouzerzour, H., & Boutekrabt, A. (2013b). Correlation, Path Analysis and Stepwise Regression in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) under Rainfed Conditions. *Journal of Agriculture and Sustainability*, **3**(2), 122-131.

Hannachi, A. (2017). Aptitude à la combinaison, sélection mono et multi caractères et adaptabilité du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux conditions semi arides. Thèse de Doctorat en Sciences. Université Ferhat Abbas-Sétif1, 113 p.

Kourat, T., Smadhi, D., & Madani, A. (2022). Modeling the Impact of Future Climate Change Impacts on Rainfed Durum Wheat Production in Algeria. *Climate*, **10**(4), 50.

Lamara, A., Fellahi, Z., Hannachi, A., & Benniou, R. (2022). Assessing the phenotypic variation, heritability and genetic advance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) candidate lines grown under

rainfed semi-arid region of Algeria. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, **75**(3), 10107-10118.

Langridge, P., & Reynolds, M. (2021). Breeding for drought and heat tolerance in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, **134**(6), 1753-1769.

Larbi, A., & Mekliche, A. (2004). Relative water content (RWC) and leaf senescence as screening tools for drought tolerance in wheat. *Options Méditerranéennes. Série A, Séminaires Méditerranéens*, **60**, 193-196.

Lefi, E., Gulias, J., Cifre, J., Ben Yones, M., & Medrano, H. (2004). Drought effects on the dynamics of leaf production and senescence in field-grown *Medicago arborea* and *Medicago citrina*. *Annals of Applied Biology*, **144**, 176-196.

Lepekhov, S. B. (2022). Canopy temperature depression for drought-and heat stress tolerance in wheat breeding. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, **26**(2), 196.

Mansouri, A., Oudjehih, B., Benbelkacem, A., Fellahi, Z., & Bouzerzour, H. (2018). Variation and Relationships among Agronomic traits in Durum wheat [*Triticum turgidum* (L.) Thell. ssp. *turgidum* conv. *durum* (Desf.) MacKey] under South Mediterranean growth conditions: Stepwise and path analyses. *International Journal of Agronomy*, Volume 2018, Article ID 8191749, 11 p.

Mekaoussi, R. (2021). Etude de la variabilité et du contrôle génétique de la réponse aux stress hydrique et thermique du blé dur (*Triticum durum* DESF) : application des tests de la stabilité membranaire et de la rétention de l'eau des feuilles excisées. Thèse de Doctorat en Sciences, Spécialité : Production végétale, Université Ferhat Abbas Sétif 1, 119 p.

Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., & Dehbi, F. (2001). Rythme de développement et variabilité de réponses du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux basses températures. Tentatives de sélection pour la tolérance au gel. In : *Proceedings séminaire sur la valorisation des milieux semiarides*. Oum El Bouaghi, **23**, 75-80.

Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Sahraoui, A. H., & Harkati, N. (2006). Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, **17**(4), 507-513.

Moragues, M., del Moral, L. F. G., Moralejo, M., & Royo, C. (2006). Yield formation strategies of durum wheat landraces with distinct pattern of dispersal within the Mediterranean basin: II. Biomass production and allocation. *Field Crops Research*, **95**(2-3), 182-193.

- Nakhforoosh, A., Grausgruber, H., Kaul, H. P., & Bodner, G. (2015).** Dissection of drought response of modern and underutilized wheat varieties according to Passioura's yield-water framework. *Frontiers in plant science*, **6**, 570.
- Nuttall, J. G., Barlow, K. M., Delahunty, A. J., Christy, B. P., & O'Leary, G. J. (2018).** Acute high temperature response in wheat. *Agronomy Journal*, **110**(4), 1296-1308.
- Pandey, G. C., Geetika, M., Pradeep, S., & Vinay, S. (2019).** Terminal heat tolerance in wheat: an overview. *Journal of Cereal Research*, **11**(1), 1-16.
- Pask, A. J. D., Pietragalla, J., Mullan, D. M., & Reynolds, M. P. (2012).** *Physiological breeding II: A Field Guide to Wheat Phenotyping*. Mexico D. F. CIMMYT.
- Poudel, P. B., & Poudel, M. R. (2020).** Heat stress effects and tolerance in wheat: A review. *Journal of Biology and Today's World*, **9**(3), 1-6.
- Poutanen, K. S., Kårlund, A. O., Gómez-Gallego, C., Johansson, D. P., Scheers, N. M., Marklinder, I. M., Eriksen, A. K., Silventoinen, P. C., Nordlund, E., Sozer, N., Hanhineva, K. J., Kolehmainen, M., & Landberg, R. (2022).** Grains – a major source of sustainable protein for health. *Nutrition reviews*, **80**(6), 1648-1663.
- Pradhan, G. P., Xue, Q., Jessup, K. E., Rudd, J. C., Liu, S., Devkota, R. N., & Mahan, J. R. (2014).** Cooler canopy contributes to higher yield and drought tolerance in new wheat cultivars. *Crop Science*, **54**(5), 2275-2284.
- Pradhan, A., Aher, L., Hegde, V., Jangid, K. K., & Rane, J. (2022).** Cooler canopy leverages sorghum adaptation to drought and heat stress. *Scientific Reports*, **12**(1), 1-11.
- Qayyum, A., Al Ayoubi, S., Sher, A., Bibi, Y., Ahmad, S., Shen, Z., & Jenks, M. A. (2021).** Improvement in drought tolerance in bread wheat is related to an improvement in osmolyte production, antioxidant enzyme activities, and gaseous exchange. *Saudi Journal of Biological Sciences*, **28**(9), 5238-5249.
- Rabti, A., (2021).** Changements des caractères morpho-physiologiques induits par la sélection artificielle du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en Algérie, Thèse de Doctorat en sciences, Spécialité : Production végétale, Université Ferhat Abbas Sétif 1, 150 p.
- Reynolds, M. P., Pellegrineschi, A., & Skovmand, B. (2005).** Sink-limitation to yield and biomass: a summary of some investigations in spring wheat. *Annals of Applied Biology*, **146**, 39-49.

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

Salmi, M., Haddad, L., Oulmi, A., Benmahammed, A., & Benbelkacem, A. (2015). Variabilité phénotypique et sélection des caractères agronomiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *European Scientific Journal*, **11**(21), 99-111.

Shewry, P. R. (2021). The Contribution of Wheat to Human Nutrition and Health. A year on the field. (Nov 20). <https://www.yearonthefield.net/post/the-contribution-of-wheat-to-human-nutrition-and-health>.

Spagnoletti Zeuli, P. L., & Qualset, C. O. (1990). Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. *Plant Breeding*, **105**(3), 189-202.

Stiti, H. (2013). Evaluation de plusieurs combinaisons de traitements antifongiques sur une culture de blé dur « *Triticum durum* Desf. » dans la région de Guelma. Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945-Guelma, 74 p.

Thakur, V., Rane, J., & Nankar, A. N. (2022). Comparative Analysis of Canopy Cooling in Wheat under High Temperature and Drought Stress. *Agronomy*, **12**(4), 978.

Vachon, M., Beaulieu-Prévost, D., Ouellette, A., & Achille, M. (2005). Analyse de classification hiérarchique et qualité de vie. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, **1**, 25-30.

Wolde, T., Eticha, F., Alamerew, S., Assefa, E., Dutamo, D., & Mecha, B. (2016). Trait associations in some durum wheat (*Triticum durum* L.) accessions among yield and yield related traits at Kulumsa, south eastern Ethiopia. *Advances in Crop Science and Technology*, **4**(4), 234.

Résumé

Cette étude a été conduite au niveau du site expérimental de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC-Sétif) au cours de la campagne agricole 2021/2022. L'objectif est d'analyser la performance agronomique et d'adaptation d'une collection de variétés de blé dur évaluée sous conditions semi-arides. L'expérience est menée dans un dispositif complètement randomisé à trois répétitions. Les résultats indiquent la présence de la variabilité phénotypique pour presque l'ensemble des caractères mesurés, qui représentent la phénologie, la morphologie, la tolérance des stress et la performance de rendement. Les valeurs minimales et maximales des variables mesurées sont variables selon la variété testée. Le rendement en grains est positivement et significativement corrélé au nombre d'épis/m², poids des épis et l'indice de récolte. La classification hiérarchique répartie les 20 variétés étudiées en quatre groupes divergents. Les variétés locales Mohamed Ben Bachir (V1) et Guemgoum Rkhem (V20) du groupe G1 présentent l'avantage d'une meilleure tolérance aux stress abiotiques. Le groupe G3 formé de Oued El Bared (V3), Waha (V4), Saoura (V6), Amar06 (V10), Wahbi (V11), Ain Lahma (V13) et Zb/Fl (V18) est celui des variétés les plus productives. Les résultats obtenus peuvent être exploités par les sélectionneurs à des fins de sélection pour l'amélioration du blé dur en zone semi-aride.

Mots clés : *Triticum durum*, tolérance, performance, semi-aride, stress abiotiques.

Abstract

This study was conducted at the level of the Technical Institute for Field Crops (ITGC-Sétif) during the 2021/2022 crop season. The objective was to analyze the agronomic performance and adaptation of a collection of durum wheat varieties evaluated under semi-arid conditions. The experiment was led in a completely randomized design with three repetitions. The results indicated the presence of phenotypic variability for almost all the traits measured, which represent phenology, morphology, stress tolerance and yield performance. The minimum and maximum values of the measured variables vary according to the tested variety. The grain yield was positively and significantly correlated with the number of spikes/m², spikes weight and the harvest index. The hierarchical classification divided the 20 varieties under study into four divergent groups. The local varieties Mohamed Ben Bachir (V1) and Guemgoum Rkhem (V20) of the G1 group had the advantage of better tolerance to abiotic stresses. Oued El Bared (V3), Waha (V4), Saoura (V6), Amar06 (V10), Wahbi (V11), Ain Lahma (V13) and Zb/Fl (V18) that formed the G3 group were the most yielding varieties. The results obtained can be used by breeders in selection purposes for the improvement of durum wheat in semi-arid zones.

Key words: *Triticum durum*, tolerance, performance, semi-arid, abiotic stress.

ملخص

أجريت هذه الدراسة في الموقع التجريبي للمعهد التقني للمحاصيل الحقلية (ITGC-سطيف) خلال الموسم الفلاحي 2021/2022. الهدف منها هو تحليل كفاءة وتكيف مجموعة من أصناف القمح الصلب تحت ظروف بيئية شبه قاحلة. أجريت التجربة في تصميم عشوائي كامل بثلاث تكرارات. تشير النتائج إلى وجود تباين مظهري لجميع الصفات المقاسة تقريباً، والتي تمثل دورة حياة النبات، المورفولوجيا، تحمل الإجهاد وكفاءة المردود. اختلفت القيم الدنيا والقصى للمتغيرات المقاسة وفقاً للصنف الذي تم اختياره. ارتبط المردود الحبي بشكل إيجابي ومعنوي بعدد السنابل/م²، وزن السنابل ومؤشر الحصاد. قسم التصنيف الهرمي العشرين صنفا المدروسة إلى أربع مجموعات متباينة. تتمتع الأصناف المحلية محمد بن بشير (V1) ومقوم الرخم (V20) من المجموعة الأولى G1 بميزة تحمل أفضل للإجهادات اللاحيوية. المجموعة الثالثة G3 المكونة من واد الباراد (V3)، واحه (V4)، الساورة (V6)، عمار06 (V10)، وهبي (V11)، عين لحمه (V13) و Zb/Fl (V18) هي الأحسن إنتاجية. يمكن استخدام النتائج المحصل عليها في هذه الدراسة من قبل المربين لأغراض الانتخاب من أجل تحسين القمح الصلب في المناطق شبه القاحلة.

كلمات مفتاحية: *Triticum durum*، تحمل، كفاءة، شبه قاحل، إجهاد لا حيوي.