



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 بوعرييرج

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 :

Variations phénotypiques pour la tolérance aux stress
abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.)

Présenté par :

BENKHELIFA Chahrazed & DERBAL Cheyma

Soutenu le 12 / 06/ 2024, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	M. SEBBANE Mahieddine	MAB	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. BELGUERRI Hemza	MCB	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.

Année Universitaire 2023/2024

Remerciements

Avant tout, nous remercions « ALLAH » le tout puissant de nous avoir données le courage, la force, la santé et la persistance et de nous avoir permis de finaliser cette étude dans de meilleurs conditions.

*Nous voudrions remercier du fond du cœur notre encadrant **Dr FELLAHI Zine El Abidine** pour son soutien, ces conseils et remarques utiles, sa gentillesse et pour ces appréciations sur ce travail. Merci pour tout ce que nous avons appris de vous.*

*Nous remercions beaucoup les membres du jury **Dr SEBBANE Mahieddine** et **Dr BELGUERRI Hemza** qui nous ont fait l'honneur d'évaluer et de juger notre travail.*

*Nos remerciements les plus sincères vont également à l'ensemble des cadres du **CNCC** de Sétif d'avoir accepter et faciliter notre stage, de nous avoir aidé et de leur gentillesse.*

*Et bien sûr sans oublier Mr **'OUDAH Khalil** pour nous avoir aidé tout au long de la période de stage.*

Nous remercions, également, toute personne qui a participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Et nous espérons que ce travail soit la bonne expression de notre gratitude.

DEDICACES

Louanges à Dieu le tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant attendu

Je dédie ce travail à :

Mes très chers parents

A toi papa "Abdelhak" rien au monde ne vaut les efforts fournis jours et nuits pour mon avenir et mon bien être Qu'ALLAH le tout puissant te préserve, t'accorde la santé.

A à mon tous à la personne la plus chère à mon cœur, à mon amie de vie, à ma partie de cœur et d'âme Maman "Lynda". Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études. J'espère que bientôt j'arriverais à vous rendre un peu de tout ce que vous m'avez offert, qui n'a pas de prix.

Qu'ALLAH vous bénisse, protège et vous donnera la santé et longue vie.

À mes chères grands-pères et grand-mères.

A mes chères sœurs Raniya, Salsabîle et Sondose pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral

Sans oublier les personnes qui m'ont aidé de prêt ou de loin lors de la réalisation de ce travail surtout Dr Fellahí Z. et Mr. Ouadah K.

A tous mes amis surtout Safa et Nour El Houda sans oublier ma chères binôme Cheyma pour leur encouragement.

Benkhelifa Chahrazed



DEDICACES

Chaque début est une fin, chaque bon effort résultent un bon fruit et chaque travailleur acharnée a une part, finalement je l'ai fait faire.

Je dédie ce travail

A moi

A mon père, mon seul soutien et la raison de mon succès.

*A ma mère, la lumière de mes yeux, la raison de mon bonheur et ma deuxième mère
ma tante Noura.*

A mon cher frère et mes sœurs sont ceux qui sont toujours à mon côté.

*Bien sur mon grand-père et ma grand-mère, que dieu leur procure une bonne santé et
longue vie.*

*Mon binôme Chahra, ma chère amie qui a toujours été ma source de force et de
courage.*

Mes chères amis Safa et Houda, merci de nous aider pendant la période de stage.

A toute ma famille sans exception.

*Sans oublier ma grand-mère qui a toujours été un pilier dans ma vie, que Dieu ait ton âme
ma chère grand-mère, ton image restera gravée dans mon esprit pour toujours.*

*N'oublions pas les personnes qui ont apporté leur aide, de près ou de loin, lors de la
réalisation de ce travail, en particulier Dr Fellahi. Z. et Mr Ouadah K.*

Derbal Cheyma



Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures et photos

Liste d'abréviations

Introduction 1

Chapitre I : Matériel et méthodes

I.1. Site, matériel végétal et dispositif expérimental..... 3

I.2. Mesures et notations..... 5

I.2.1. Caractères phénologiques..... 5

I.2.1.1. Précocité au stade épiaison (PREC, jours) 5

I.2.2. Caractères physiologiques..... 5

I.2.2.1. Teneur relative en eau (TRE, %) 5

I.2.2.2. Intégrité de la membrane cellulaire (IMC, %)..... 6

I.2.2.3. Teneur en chlorophylle des feuilles (CHL, Spad) 7

I.2.2.4. Température du couvert végétal (TCV, °C) 8

I.2.3. Caractères morphologiques 8

I.2.3.1. Surface foliaire de la feuille étendard (SF, cm²) 9

I.2.3.2. Poids spécifique foliaire (PSF, mg/cm²) 9

I.3. Analyse des données 9

Chapitre II : Résultats et discussion

II.1. Analyse de la variance 12

II.2. Etude des valeurs moyennes 12

II.2.1. Précocité au stade épiaison 13

II.2.2. Teneur relative en eau 14

II.2.3. Intégrité de la membrane cellulaire 15

II.2.4. Teneur en chlorophylle 17

II.2.5. Température du couvert végétal 18

II.2.6. Surface foliaire de la feuille étendard 20

II.2.6. Poids spécifique foliaire 21

II.3. Corrélations des caractères mesurés..... 22

II.4. Paramètres génétiques et non-génétiques de la variation 24

II.5. Classification multivariée des variétés de blé étudiées 25

Conclusion..... 29

Références bibliographiques..... 31

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des génotypes de blé dur étudiés	4
Tableau 2 : Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères mesurés.....	12
Tableau 3 : Valeurs minimales, maximales et moyennes des caractères mesurés	12
Tableau 4 : Coefficients de corrélations phénotypiques entre caractères mesurés chez les génotypes de blé dur étudiés	23
Tableau 5 : Paramètres génétiques et non génétiques des caractères mesurés.....	24
Tableau 6 : Valeurs centrales des caractères mesurés chez les groupes de génotypes de blé identifiés	27

Liste des figures et photos

Figure 1 :	Précipitations et températures mensuelles moyennes, minimales et maximales enregistrées au cours de la campagne agricole 2023-2024 au site expérimental du CNCC de Sétif.....	3
Figure 2 :	Variation observée au niveau de la précocité au stade épiaison (PREC, jours) des génotypes étudiés.....	13
Figure 3 :	Variation observée au niveau de la teneur relative en eau (TRE, %) des génotypes étudiés.....	14
Figure 4 :	Variation observée au niveau de l'intégrité de la membrane cellulaire (IC, %) des génotypes étudiés.....	16
Figure 5 :	Variation observée au niveau de la teneur en chlorophylle des feuilles (CHL, Spad) des génotypes étudiés.....	17
Figure 6 :	Variation observée au niveau de la température du couvert végétal (TCV, °C) des génotypes étudiés.....	19
Figure 7 :	Variation observée au niveau de la surface foliaire de la feuille étendard (SF, cm ²) des génotypes étudiés.....	20
Figure 8 :	Variation observée au niveau du poids spécifique foliaire (PSF, mg/cm ²) des génotypes étudiés.....	22
Figure 9 :	Classification hiérarchique multivariée des génotypes de blé étudiés sur la base des caractères mesurés.....	26
Photo 1 :	Détermination de la teneur relative en eau des génotypes de blé étudiés.....	6
Photo 2 :	Mesure de l'intégrité de la membrane cellulaire des génotypes de blé étudiés	7
Photo 3 :	Mesure in situ de la teneur en chlorophylle des feuilles par le chlorophylle-mètre portable Spad-502 chez les génotypes de blé étudiés.....	8
Photo 4 :	Mesure de la température du couvert végétale à l'aide d'un thermomètre à infrarouge portable chez les génotypes de blé étudiés.....	8

Liste d'abréviations

ANOVA : Analyse de la variance.

CHL : Teneur en chlorophylle.

CNCC : Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plants

CV_e : Coefficients de la variabilité environnementale.

CV_g : Coefficients de la variabilité génotypique.

CV_p : Coefficients de la variabilité phénotypique.

ddl : Degré de liberté.

IMC : Intégrité de la membrane cellulaire.

Ppds : Plus petite différence significative.

PS : Poids sec de la feuille étendard.

PSF : Poids spécifique foliaire.

SF : Surface foliaire de la feuille étendard.

SV : Source de variation.

TRE : Teneur relative en eau.

Introduction

Introduction

Les céréales occupent une place primordiale à l'échelle mondiale en tant que pilier fondamental de l'alimentation humaine et animale, tout en étant des moteurs économiques majeurs (**Adoui et al., 2017**). Ces cultures fournissent une grande part des calories et des nutriments essentiels nécessaires à la santé humaine, notamment les glucides, protéines, vitamines et minéraux, assurant ainsi une sécurité alimentaire indispensable pour des milliards de personnes (**Garutti et al., 2022**). Le riz, le blé et le maïs, entre autres, sont des aliments de base pour de nombreuses populations, jouant un rôle crucial dans leur subsistance.

Du point de vue économique, les céréales représentent une part substantielle de l'activité agricole mondiale, générant des revenus pour des millions d'agriculteurs et contribuant significativement aux échanges commerciaux internationaux. Des pays tels que les États-Unis, la Chine et l'Inde se positionnent en tant que producteurs et exportateurs majeurs de ces denrées, influençant ainsi les économies nationales et les flux commerciaux à l'échelle mondiale (**FAO, 2021**).

Outre leur importance alimentaire et économique, les céréales jouent un rôle crucial sur le plan environnemental et social. Elles contribuent de manière vitale à la sécurité alimentaire mondiale, offrant une résilience face aux changements climatiques en étant cultivées dans une variété de climats et de sols (**Dhankher et Foyer, 2018**). De plus, elles sont souvent ancrées dans les traditions culturelles et les modes de vie, soutenant des pratiques agricoles ancestrales et des systèmes alimentaires traditionnels (**Perniola et al., 2015**).

En Algérie, les céréales revêtent une importance capitale tant pour l'alimentation que pour l'économie nationale (**Benbelkacem, 2023**). Le pays cultive principalement le blé dur (*Triticum durum* Desf.), le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et l'orge (*Hordeum vulgare* L.), ces cultures étant la base de nombreux régimes alimentaires locaux. Le blé dur, en particulier, est un élément essentiel de la cuisine algérienne, utilisé dans la préparation de plats traditionnels tels que le couscous et les pâtes, soulignant ainsi son rôle central dans la culture alimentaire du pays (**Rabti, 2021**).

Le blé dur occupe la deuxième place derrière le blé tendre dans le genre *Triticum*, avec 600 genres et plus de 5000 espèces répertoriés (**Feillet, 2000**). Cette espèce est spécifiquement

destiné à être consommé par les humains. C'est la principale culture de céréales en Afrique du Nord et dans les régions proches et moyen-orientales (**Ammar, 2023**).

En Algérie, la production nationale de blé dur est confrontée à des défis majeurs, notamment le stress abiotique, en particulier le stress hydrique. Dans un pays où le climat semi-aride est prédominant, la disponibilité en eau pour l'agriculture est souvent limitée, ce qui entrave directement les rendements des cultures (**Hannachi et Fellahi, 2023**). Les sélectionneurs locaux sont confrontés à la tâche complexe de trouver des variétés de blé dur adaptées à ces conditions environnementales spécifiques (**Fellahi et al., 2024**).

Pour relever ce défi, la recherche génétique joue un rôle crucial dans la quête de variétés adaptées. Les programmes de sélection végétale visent à identifier les traits génétiques associés à la tolérance au stress hydrique et à les intégrer dans de nouvelles variétés (**Mazouz et Bouzerzour, 2017**). Cela nécessite des croisements minutieux entre différentes lignées pour obtenir des résultats prometteurs. Cependant, pour entamer efficacement un programme d'amélioration génétique, il est impératif de rechercher des sources de tolérance aux stress dans le germoplasme disponible, représentant la diversité génétique des plantes (**Rabti et al., 2020**). En identifiant et en caractérisant les traits génétiques associés à la tolérance au stress hydrique dans différentes sources de germoplasme, les sélectionneurs peuvent enrichir leur pool génétique et sélectionner les lignées les plus prometteuses pour la création de nouvelles variétés (**Haddad et al., 2021**).

C'est dans cette optique que s'inscrit notre travail qui vise à étudier la variabilité phénotypique pour la tolérance aux stress abiotiques, en particulier hydrique et thermique, à l'intérieur d'une collection variée de cultivars de blé dur en milieu semi-aride à l'Est de l'Algérie. Ceci aidera à identifier et déterminer les génotypes porteurs des gènes de tolérance au stress abiotique, offrant ainsi une voie prometteuse pour les programmes d'amélioration future.

Chapitre I :
Matériel et méthodes

I. Matériel et méthodes

I.1. Site, matériel végétal et dispositif expérimental

L'expérimentation a été conduite sur le site expérimental du Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plants (CNCC), laboratoire régional de Sétif, durant la campagne agricole 2023-2024. Le site expérimental est situé aux coordonnées géographiques 36° 09' N et 5° 22' E, à une altitude de 1081 m au-dessus du niveau de la mer. Le site est influencé par le système climatique des hauts plateaux, caractérisé par un hiver froid, des pluies irrégulières, des gels de printemps fréquents et une fin de cycle souvent chaude et sèche.

Les précipitations et les températures mensuelles enregistrées au cours de la campagne d'étude sont illustrées en Figure 1. La quantité totale de pluie enregistrée de septembre à mai est de 235.55 mm. Les mois de décembre, février et, dans une moindre mesure, novembre ont été pluvieux, cumulant ensemble une portion significative du total des précipitations de la campagne 2023-2024. Les mois d'octobre et d'avril ont enregistré des précipitations mensuelles de 1.02 mm et 4.06 mm respectivement, ce qui en fait les mois les plus secs.

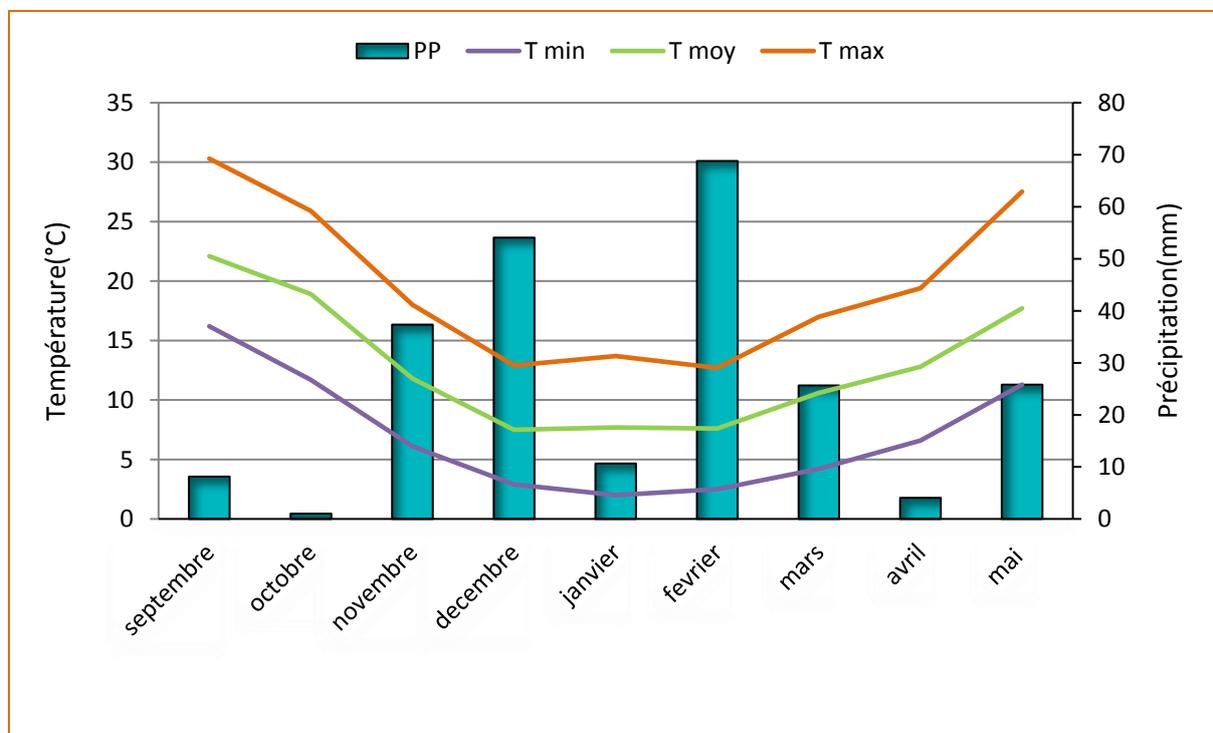


Figure 1 : Précipitations et températures mensuelles moyennes, minimales et maximales enregistrées au cours de la campagne agricole 2023-2024 au site expérimental du CNCC de Sétif (<https://fr.tutiempo.net/>).

Les températures mensuelles ont été très variables pendant la campagne d'étude. L'hiver a été marqué par des températures minimales extrêmes, débutant en décembre et se prolongeant jusqu'à février. Le mois de janvier a enregistré la température minimale la plus basse, à 2°C. La température moyenne de l'air a considérablement augmenté à partir de mars et avril, atteignant des valeurs de 10.6°C et 12.8°C respectivement. La période de mars à mai, correspondant aux stades de gonflement-épiation et de remplissage du grain, a été sèche avec une augmentation sensible des températures. Ce phénomène a provoqué une fin accélérée du cycle de vie de la végétation, réduisant ainsi la durée de la phase végétative, la hauteur de la végétation et la durée de remplissage du grain.

Le matériel végétal utilisé est constitué de 71 cultivars de blé dur (Tableau 1). L'expérimentation a été mise en place selon un dispositif complètement randomisé avec trois répétitions.

Tableau 1 : Liste des génotypes de blé dur étudiés.

Code	Génotype	Code	Génotype	Code	Génotype
G1	Boussalem	G25	Ardente	G49	Sahel
G2	Longlois	G26	Antalis	G50	Simeto
G3	GTA dur	G27	Cham3	G51	Oued El Bared
G4	Massinissa	G28	Eider	G52	Cannizo
G5	Iride	G29	Bolonga	G53	Karim
G6	Prospero	G30	Boutaleb	G54	Ramirez
G7	Polo	G31	Capeiti	G55	Arco Marzio
G8	Pitagora	G32	Emiliolipido	G56	Durbel
G9	Boniduro	G33	Chen's	G57	Maestral
G10	Carioca	G34	Vitron	G58	Kebir
G11	Aristo	G35	Ovidio	G59	Cirta
G12	Arcoduro	G36	Amar1	G60	Megress
G13	Orjaune	G37	Marakas	G61	Syatlaent
G14	Wahbi	G38	Setifis	G62	Synilo
G15	Arcobaleno	G39	Sigus	G63	Syleonardo
G16	Mohamed Ben Bachir	G40	Zmalet El Amir	G64	Colarco
G17	Casanova	G41	Saragolla	G65	Colosseo
G18	Guemgoum Rkhem	G42	Oum Rabi5	G66	Gouraya
G19	Mansourah	G43	Itij	G67	Calo
G20	Ofanto	G44	Hebda03	G68	Odissio
G21	Kenobi	G45	Core	G69	Amar06
G22	Saourah	G46	Inrat69	G70	Grecale
G23	Oued Zenati368	G47	Mimo	G71	Waha
G24	Poggio	G48	Mexicali75		

Le semis des variétés de blé a été réalisé le 24 décembre 2023 à l'aide d'un semoir expérimental de type Wintersteiger. Chaque variété a été semée dans une parcelle d'un mètre de long, comprenant six rangées espacées de 20 cm. La densité de semis était de 250 graines/m². L'essai a été conduit selon les techniques culturales recommandées pour la culture des céréales. Le précédent cultural était une jachère travaillée, le premier labour ayant été effectué en décembre 2022, suivi de deux passages du cover-crop en mois de juillet et octobre, puis un hersage en novembre. L'essai a été fertilisé avec 100 kg/ha d'engrais de fond Mono-Ammonium Phosphate (52% P₂O₅ + 12% N) et 60 kg/ha d'engrais NPK (4% N + 20% P + 25% K) pendant le tallage.

I.2. Mesures et notations

I.2.1. Caractères phénologiques

I.2.1.1. Précocité au stade épiaison (PREC, jours) : la précocité au stade épiaison est déterminée en comptant le nombre de jours calendaires à partir du 1^{er} janvier jusqu'à la date à laquelle 50 % des plantes ont atteint l'épiaison. La date d'épiaison est marquée par l'apparition des barbes hors de la gaine de la dernière feuille complètement développée, appelée la feuille étendard ou feuille drapeau.

I.2.2. Caractères physiologiques

I.2.2.1. Teneur relative en eau (TRE, %) : c'est un indicateur physiologique de la capacité des espèces à tolérer le stress hydrique. La mesure de teneur relative en eau a été effectuée au stade épiaison selon la méthode décrite par **Pask et al. (2012)**, sur un échantillon de cinq feuilles prélevées pour chaque génotype et chaque répétition. Les feuilles étendard sont coupées à la base du limbe et immédiatement pesées pour avoir le poids de la matière fraîche (PF). Elles sont ensuite placées dans des tubes à essai remplis de 10 ml d'eau distillée et conservées à l'obscurité dans un endroit frais (Photo 1). Après 24 heures, les feuilles sont retirées, essuyées avec du papier buvard pour enlever l'eau de surface, puis pesées de nouveau pour obtenir le poids de la pleine turgescence (PT). Enfin, les échantillons sont séchés dans une étuve réglée à 80°C pendant 48 heures et pesés pour obtenir leur poids sec (PS). La teneur relative en eau est calculée selon la formule suivante :

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

Où :

TRE = teneur relative en eau,
PF = poids frais de la feuille excisée,
PS = poids sec de la feuille,
PT = poids de la feuille à la turgescence.



Photo 1 : Détermination de la teneur relative en eau des génotypes de blé étudiés.

1.2.2.2. Intégrité de la membrane cellulaire (IMC, %) : elle est mesurée sur les deux dernières feuilles entièrement développées pour déterminer le taux de dommage cellulaire causé par le stress thermique, selon la méthode de **Bajji et al. (2001)**. Deux feuilles sont prises au hasard par génotype et par répétition. Ces feuilles sont lavées à l'eau courante et sont découpées en morceaux de 1 cm de long. Un échantillon de 10 segments du limbe foliaire est placé dans un tube à essai et lavé trois fois avec de l'eau distillée pour éliminer les poussières adhérentes susceptibles d'influencer la conductivité de la solution. Trois tubes sont utilisés par traitement. 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 mesure de la conductivité (EC1) est effectuée avec un conductimètre 24 heures après le traitement

initial (Photo 2). Les tubes sont ensuite placés dans un bain-marie à 100°C pendant 60 minutes. Une deuxième mesure de la conductivité (EC2) est réalisée 24 heures après le passage des échantillons au bain-marie. Le pourcentage de cellules endommagées par le stress thermique est estimé selon la formule suivante :

$$IMC (\%) = 100 \times (EC1/EC2)$$

Où :

IC = pourcentage de cellules endommagées par le stress thermique ;

EC1 = conductivité avant passage au bain-marie ;

EC2 = conductivité après passage au bain-marie.



Photo 2 : Mesure de l'intégrité de la membrane cellulaire des génotypes de blé étudiés.

1.2.2.3. Teneur en chlorophylle des feuilles (CHL, Spad) : elle est mesurée au stade épiaison à l'aide d'un chlorophylle-mètre portable de type Spad-502 (Photo 3). Cet appareil est conçu pour effectuer des mesures rapides et non destructives sur des échantillons de feuilles intactes. Dans notre essai, trois lectures sont réalisées pour chaque variété et chaque répétition, puis la moyenne de ces trois lectures est calculée.



Photo 3 : Mesure *in situ* de la teneur en chlorophylle des feuilles par le chlorophylle-mètre portable Spad-502 chez les génotypes de blé étudiés.

1.2.2.4. Température du couvert végétal (TCV, °C) : elle est mesurée à l'aide d'un thermomètre à infrarouge portable (Photo 4). Trois lectures sont effectuées pour chaque variété et chaque répétition, puis la moyenne de ces trois lectures est calculée.



Photo 3 : Mesure de la température du couvert végétal à l'aide d'un thermomètre à infrarouge portable chez les génotypes de blé étudiés.

1.2.3. Caractères morphologiques

1.2.3.1. Surface foliaire de la feuille étendard (SF, cm²) : elle a été mesurée au stade épisaison. La longueur (L) et la plus grande largeur (l) de la feuille étendard ont été mesurées sur un échantillon de six feuilles prélevées au hasard pour chaque variété et chaque répétition.

La surface moyenne de la dernière feuille entièrement développée a été estimée selon la méthode de **Spagnoletti-Zeuli et Qualset (1990)** à l'aide de la formule suivante :

$$SF (cm^2) = 0.749 (L \times l)$$

Où :

SF = surface moyenne de la feuille étendard (cm^2),

L = longueur moyenne de la feuille étendard (cm),

l = largeur moyenne de la feuille étendard (cm),

0.749 = coefficient de régression de la surface estimée à partir du papier grammage sur celle déduite par le produit ($L \times l$).

I.2.3.2. Poids spécifique foliaire (PSF, mg/cm^2) : il est mesuré sur la dernière feuille entièrement développée selon la méthode décrite par **Amanullah (2015)**. Les feuilles sont séchées dans une étuve pendant 24 heures à $80^\circ C$ pour obtenir leur poids sec (PS), après avoir mesuré leur surface foliaire (SF). Le poids spécifique foliaire (PSF) est calculé par :

$$PSF (mg/cm^2) = \frac{PS}{SF}$$

Où :

PSF = poids spécifique foliaire (mg/cm^2),

PS = poids sec de la feuille étendard (mg),

SF = surface moyenne de la feuille étendard (cm^2).

I.3. Analyse des données

Les données collectées sont soumises à une analyse de la variance à un facteur étudié selon la procédure décrite par **Cruz (2013)**. Lorsque le test F , calculé par le rapport du carré moyen génotype sur le carré moyen résiduel, est significatif, cela indique des différences significatives entre les variétés pour la variable mesurée.

Les variances génétique (σ^2_g), phénotypique (σ^2_p) et environnementale (σ^2_e) des génotypes étudiés sont déduites de la table d'analyse de la variance comme suit :

$$\sigma_p^2 = \frac{CM_t}{r}$$

$$\sigma_e^2 = \frac{CM_e}{r}$$

$$\sigma_g^2 = \sigma_p^2 - \sigma_e^2$$

Où :

CM_t = carré moyen des traitements,

CM_e = carré moyen résiduel de l'expérience,

σ_p^2 = variance phénotypique,

σ_g^2 = variance génotypique,

σ_e^2 = variance environnementale de la variable considérée,

r = nombre de répétitions.

Les coefficients de la variabilité phénotypique (CV_p) et génotypique (CV_g) sont calculés par caractère comme indiqué par **Fellahi et al. (2013)** :

$$CV_p = 100 \left(\frac{\sqrt{\sigma_p^2}}{\bar{Y}} \right)$$

$$CV_g = 100 \left(\frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{Y}} \right)$$

$$CV_e = 100 \left(\frac{\sqrt{\sigma_e^2}}{\bar{Y}} \right)$$

Où :

σ_p^2 = variance phénotypique,

σ_g^2 = variance génétique,

σ_e^2 = variance environnementale,

\bar{Y} = moyenne génétique du caractère considéré.

Le rapport CV_g/CV_e montre à quel point la variance globale est causée par le génotype (**Cruz et al., 2012**). C'est une indication de la facilité de sélection du génotype pour la caractéristique souhaitée (**Fellahi et al., 2020**). Des valeurs de rapport de CV_g/CV_e proches de l'unité représentent un scénario favorable à la sélection.

L'héritabilité au sens large (h^2_{sl}) est déterminée selon **Falconer et Mackay (1996)** par le rapport de la variance génétique (σ_g^2) à la variance phénotypique (σ_p^2) :

$$h_{sl}^2(\%) = 100 \left(\frac{\sigma_g^2}{\sigma_p^2} \right)$$

L'héritabilité est classée comme faible ($h_{sl}^2 \leq 30$), moyenne ($30 < h_{sl}^2 \leq 60$) et élevée ($h_{sl}^2 > 60$).

Les coefficients de corrélation phénotypique entre les caractères sont calculés en utilisant la formule de Pearson pour mesurer la corrélation linéaire entre deux variables. Cette formule est donnée par :

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Où :

r = coefficients de corrélation de Pearson,

X_i et Y_i = valeurs individuelles des deux variables,

\bar{X} et \bar{Y} = moyenne génétique du caractère considéré.

La classification hiérarchique des génotypes est faite sur la base des valeurs moyennes de l'ensemble des caractères mesurés en utilisant la méthode de Ward.

Toutes les analyses sont réalisées à l'aide du logiciel Past, version 4.06 (**Hammer et al., 2001**) et Microsoft Excel un seuil de risque de 5%.

Chapitre II :
Résultats et discussion

II. Résultats et discussion

II.1. Analyse de la variance

L'analyse de la variance (ANOVA) a révélé un effet de 'génotype' très hautement significatif ($p < 0.001$) pour l'ensemble des caractères étudiés (Tableau 2), ce qui indique une variabilité génétique substantielle au sein de la collection évaluée. Cette variabilité génétique est une ressource précieuse pour l'amélioration génétique des caractères ciblés par la sélection. Les coefficients de variation (CV) sont très faibles, ce qui atteste de la rigueur et de la précision avec lesquelles les expériences ont été menées. Ces données soutiennent l'idée que la sélection génétique peut être efficacement utilisée pour améliorer les caractères mesurés grâce à la variabilité génétique disponible.

Tableau 2 : Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères mesurés.

SV	ddl	PREC	TRE	IMC	CHL	TCV	SF	PSF
Génotype	70	74.42***	53.09***	73.43***	28.50***	9.30***	22.32***	1.20***
Erreur	142	4.47E-14	9.05	32.34	2.18	1.94E-15	7.16	0.41
CV (%)		1.91E-07	3.55	6.55	3.18	4.07E-07	16.73	10.00

SV : Source de variation, ddl : degré de liberté, PREC : Précocité au stade épiaison (jours), TRE : Teneur relative en eau (%), IMC : Intégrité de la membrane cellulaire (%), CHL : Teneur en chlorophylle (Spad), TCV : Température du couvert végétal (°C), SF : Surface foliaire de la feuille étandard (cm²), PSF : poids spécifique foliaire (mg/cm²), CV (%) : Coefficient de variation (%), *** : effets significatifs au seuil de probabilité de 0.001%.

II.2. Etude des valeurs moyennes

Les valeurs extrêmes minimales et maximales des caractères mesurés varient en fonction du génotype testé, comme indiqué dans le Tableau 3. Cette variation génétique présente offre des opportunités pour la sélection et l'amélioration des caractères ciblés.

Tableau 3 : Valeurs minimales, maximales et moyennes des caractères mesurés.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Ppds (5%)
PREC	104.00	126.00	113.77	4.98	3.50E-07
TRE	69.88	91.73	84.65	4.21	4.86
IMC	72.67	97.14	86.88	4.95	9.18
CHL	39.43	53.97	46.50	3.08	2.38
TCV	20.80	30.00	24.08	1.76	1.58E-07
SF	9.91	22.68	15.99	2.73	4.32
PSF	4.75	8.34	6.41	0.63	1.03

PREC : Précocité au stade épiaison (jours), TRE : Teneur relative en eau (%), IMC : Intégrité de la membrane cellulaire (%), CHL : Teneur en chlorophylle (Spad), TCV : Température du couvert végétal (°C), SF : Surface foliaire de la feuille étandard (cm²), PSF : Poids spécifique foliaire (mg/cm²).

Dans les régions arides à semi-arides, il est recommandé d’adopter des variétés à cycle relativement court en raison de la distribution temporelle des précipitations, comme l’ont souligné **Kezhlouf et al. (2006)**. Les génotypes précoces peuvent éviter la sécheresse terminale grâce à cette forme d’esquive, ce qui est crucial pour améliorer les productions des zones sèches (**Megherbi et al., 2012**). La sélection de l’épiaison précoce est ainsi un moyen efficace d’augmenter les rendements dans ces régions (**Hannachi et Fellahi, 2023**).

II.2.2. Teneur relative en eau

Les valeurs moyennes de la teneur relative en eau (TRE) variaient de 69.88%, valeur minimale mesurée chez le génotype G25 à 91.73%, valeur maximale notée chez G43 (Tableau 3, Figure 3).

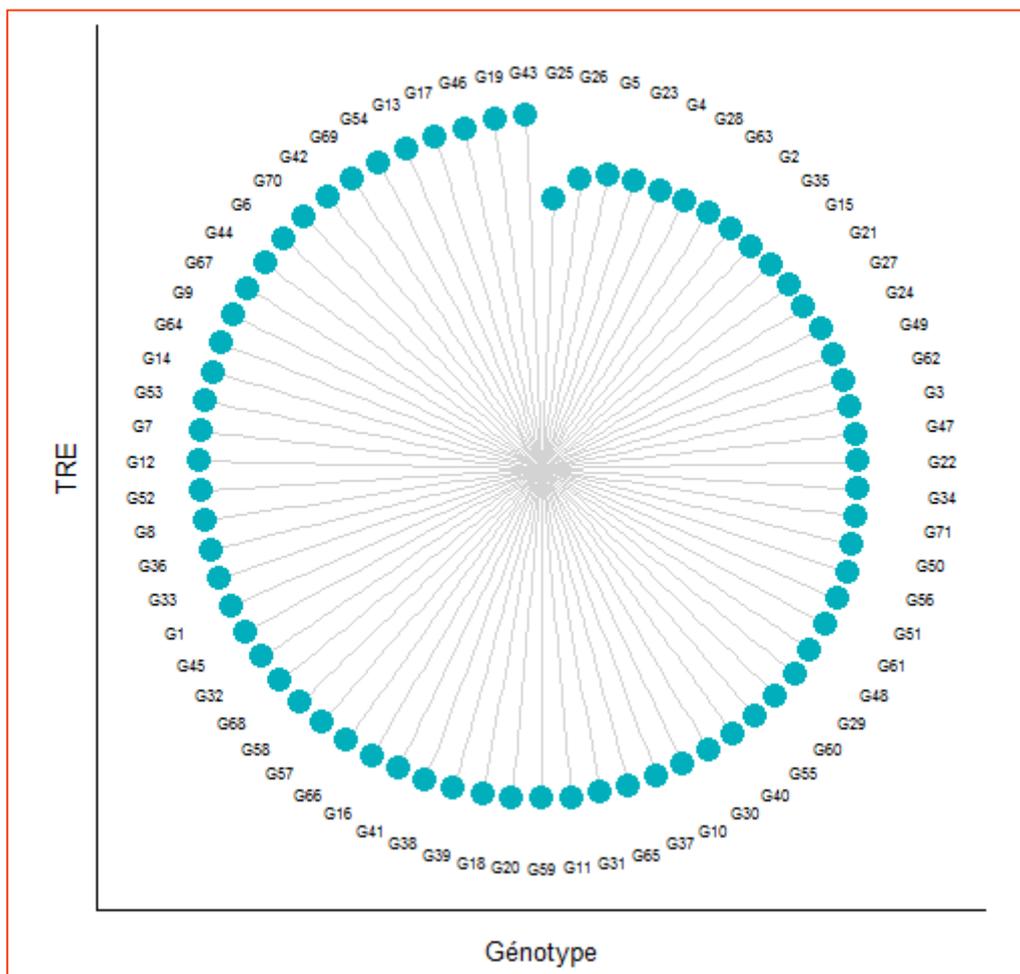


Figure 3 : Variation observée au niveau de la teneur relative en eau (TRE, %) des génotypes étudiés.

La moyenne générale de la TRE est de 84.65% avec une plus petite différence significative (Ppds_{5%}) de 4.86 % (Tableau 3). Selon nos résultats, 30 génotypes ont enregistré des valeurs supérieures à la moyenne générale de la TRE. Ces génotypes, dont l'état hydrique est meilleur sous stress hydrique, sont suggérés pour la sélection afin d'accumuler les gènes de tolérance au stress hydrique dans le matériel génétique adapté aux zones semi-arides en tant que futurs géniteurs.

La teneur relative en eau (TRE) joue un rôle crucial dans l'évaluation de l'état hydrique des plantes. Elle montre la diminution de l'absorption d'eau par les tissus végétaux et la perte d'eau due aux contraintes hydriques (Houasli *et al.*, 2013). Les génotypes qui maintiennent une TRE élevée lors du stress hydrique sont probablement les plus tolérants et donc les plus productifs (Sassi *et al.*, 2012). Qayyum *et al.* (2021) ont observé que la diminution de la TRE est plus rapide chez les variétés sensibles comparées aux variétés résistantes. Cette variation génétique pourrait être attribuée à des différences dans la capacité du système racinaire à assimiler l'eau, à contrôler les pertes d'eau par les surfaces élaboratrices, ou dans la capacité d'adaptation osmotique pour maintenir la turgescence cellulaire et les activités physiologiques (Bouakez et Hamadouche, 2015).

La croissance des plantes est fortement influencée par le manque d'eau, particulièrement dans les régions arides et semi-arides. Amoumen et Benherbiche (2013) ont constaté une diminution du contenu moyen en eau chez les plantes stressées, soulignant l'importance de la TRE dans la tolérance au stress hydrique.

II.2.3. Intégrité de la membrane cellulaire

La valeur la plus élevée de l'intégrité cellulaire est notée chez le génotype G10 avec un taux de 97.13%, tandis que la valeur la plus faible est observée chez le génotype G62 avec un taux de 72.66%. La moyenne générale de ce caractère est de 86.87% avec une plus petite différence significative (Ppds_{5%}) de 9.18% (Tableau 3, Figure 4). D'après les variations observées, 32 génotypes affichent des valeurs d'IMC en dessous de la moyenne générale. Les génotypes tels que G62, G19, G37, G71 et G29 attirent particulièrement l'attention en raison de leur tolérance potentielle au stress thermique. Ces génotypes peuvent être intégrés dans les futurs programmes de sélection pour améliorer la tolérance au stress thermique dans les zones semi-arides. À l'inverse, les génotypes comme G10, G35 et G31 sont les plus sensibles au stress thermique, avec des taux de dommages cellulaires plus élevés.

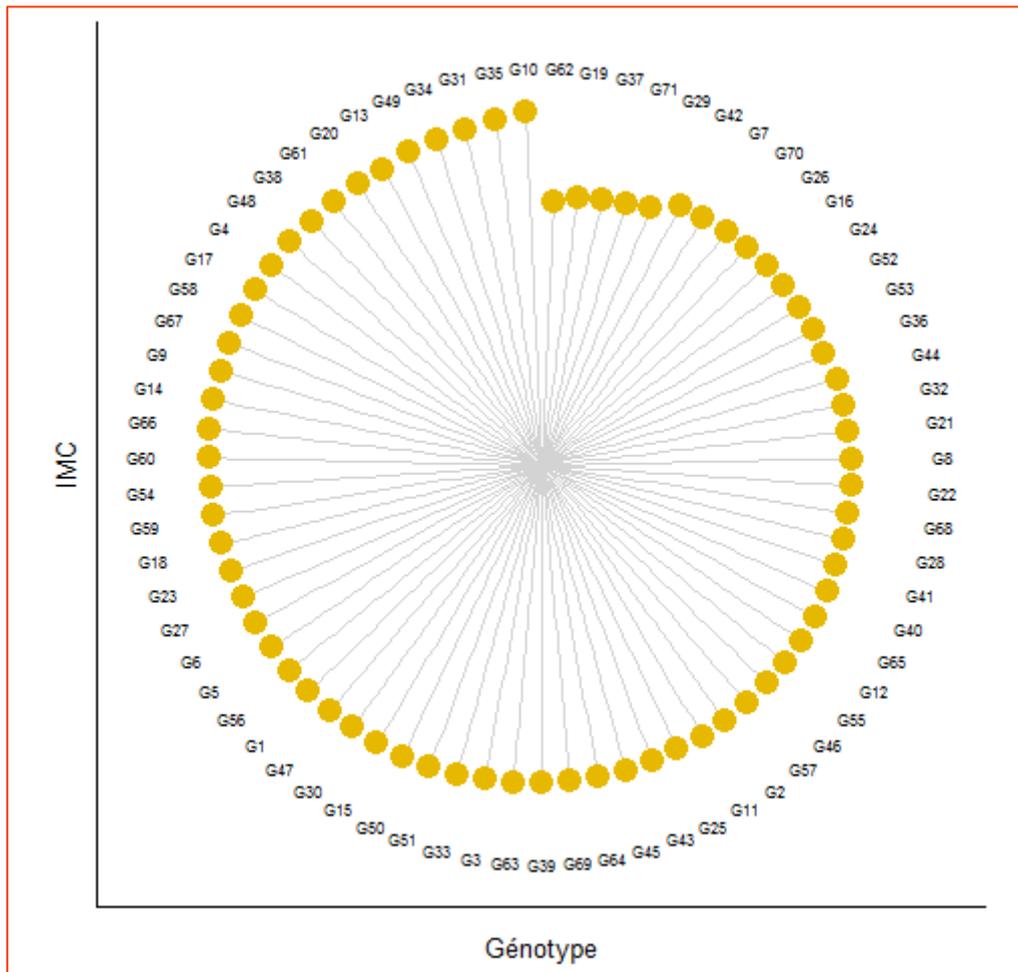


Figure 4 : Variation observée au niveau de l'intégrité de la membrane cellulaire (IC, %) des génotypes étudiés.

D'après **Hamli et al. (2015)**, le test de la stabilité de la membrane plasmique est une technique prometteuse pour améliorer la sélection en vue de la tolérance aux stress hydriques et thermiques. L'intégrité cellulaire est utilisée pour distinguer les génotypes tolérants de ceux qui sont sensibles au stress. La stabilité de la membrane plasmique est mesurée par la quantité d'électrolytes qui s'échappent des cellules affectées par le stress thermique (**Rabti, 2021**). **Ni et al. (2018)** ont observé une relation étroite entre le pourcentage de dommages cellulaires causés par le choc thermique et la diminution de la productivité des génotypes testés. **Rabti et al. (2020)** ont examiné le comportement de deux sources de germoplasme de blé dur, ancienne et récente. Leurs résultats suggèrent que les échantillons de ces deux sources ont un degré de tolérance similaire au stress thermique. Toutefois, des variations existent à l'intérieur de chaque source, et en général, le matériel végétal ancien semble légèrement plus susceptible de tolérer les stress abiotiques que le germoplasme récent.

II.2.4. Teneur en chlorophylle

Les valeurs de la teneur en chlorophylle (CHL) ont varié entre 39.43 Spad, valeur minimale observée chez le génotype G18, et 53.97 Spad, valeur maximale notée chez le génotype G20, avec une moyenne de 46.50 Spad et une plus petite différence significative ($P_{pds5\%}$) de 2.38 Spad (Tableau 3, Figure 5). Parmi les génotypes étudiés, 36 ont affiché des teneurs en chlorophylle inférieures à la moyenne générale de 46.50 Spad, tandis que 35 génotypes ont exhibé des moyennes supérieures (Figure 5). Ces génotypes à haute teneur en chlorophylle sont particulièrement intéressants en raison de leur potentiel élevé de photosynthèse, leur capacité à convertir les photons en énergie de manière efficace, et sont donc souhaités pour des programmes de sélection.

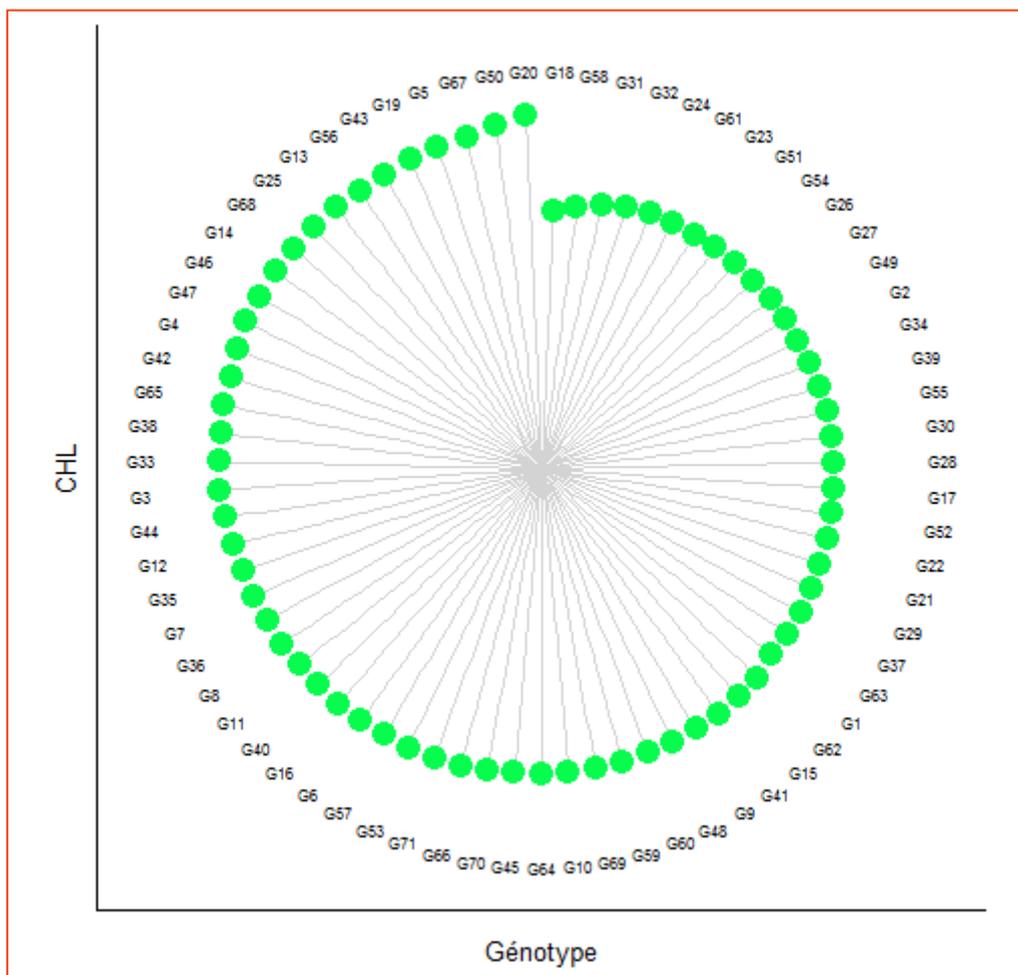


Figure 5 : Variation observée au niveau de la teneur en chlorophylle des feuilles (CHL, Spad) des génotypes étudiés.

Les travaux de **Condorelli *et al.* (2018)** ont montré que les feuilles de blé dur soumises au stress hydrique ont subi une diminution notable de leur teneur en chlorophylle.

La chute des niveaux de chlorophylle est causée par la diminution de l'ouverture des stomates, visant à limiter les pertes d'eau par transpiration et à améliorer la capacité à attirer le CO₂ atmosphérique indispensable à la photosynthèse (Bota *et al.*, 2016 ; Ouyang *et al.*, 2017 ; Liu *et al.*, 2021). Il est indiqué qu'une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur sous stress hydrique. Selon Chaouachi *et al.* (2024), les variations de chlorophylle observées chez les différentes variétés de blé résultent de leur tolérance au stress. Pour tolérer et s'adapter au stress thermique, il est important d'utiliser la stabilité de la chlorophylle comme caractéristique de sélection (Li *et al.*, 2021a).

Une teneur élevée en chlorophylle est directement liée à une meilleure efficacité photosynthétique, ce qui peut conduire à des rendements plus élevés. En sélectionnant des génotypes avec une teneur en chlorophylle élevée, on peut améliorer l'efficacité de la photosynthèse et donc le potentiel de productivité des cultures dans des conditions variées (Chaouachi *et al.*, 2024).

II.2.5. Température du couvert végétal

Le génotype G57 a enregistré la valeur maximale de la température du couvert végétal (TCV) avec 30.00°C, tandis que le génotype G15 a enregistré une valeur minimale de 20.80°C parmi les 71 génotypes étudiés. La température moyenne générale se situe à 24.08°C, avec une plus petite différence significative (Ppds_{5%}) de 1.58E-07°C (Tableau 3). En ce qui concerne la variation observée au niveau de ce caractère, il convient de souligner que 31 génotypes ont exprimé des valeurs supérieures à la moyenne générale de TCV, semblant être plus affectés par le stress hydrique. En outre, 40 génotypes ont des températures du couvert végétal inférieures à la moyenne générale. Parmi eux, les génotypes G15, G14 et G70 semblent être les plus aptes à supporter le stress hydrique.

La température du couvert végétal (TCV) est un paramètre crucial pour évaluer le stress hydrique et son impact sur la croissance et le développement des plantes. Il existe plusieurs méthodes pour estimer et mesurer la température d'un couvert végétal ; toutefois, il est possible d'explorer des voies prometteuses grâce à la télédétection infrarouge thermique (Pask *et al.*, 2012). Son avantage réside dans sa rapidité et sa facilité d'acquisition, indispensables pour un diagnostic hydrique. Cela a entraîné la création de plusieurs indicateurs de stress hydrique basés sur la relation qui existe entre la température, les propriétés optiques des végétaux et leur état hydrique (Reynolds *et al.*, 2012).

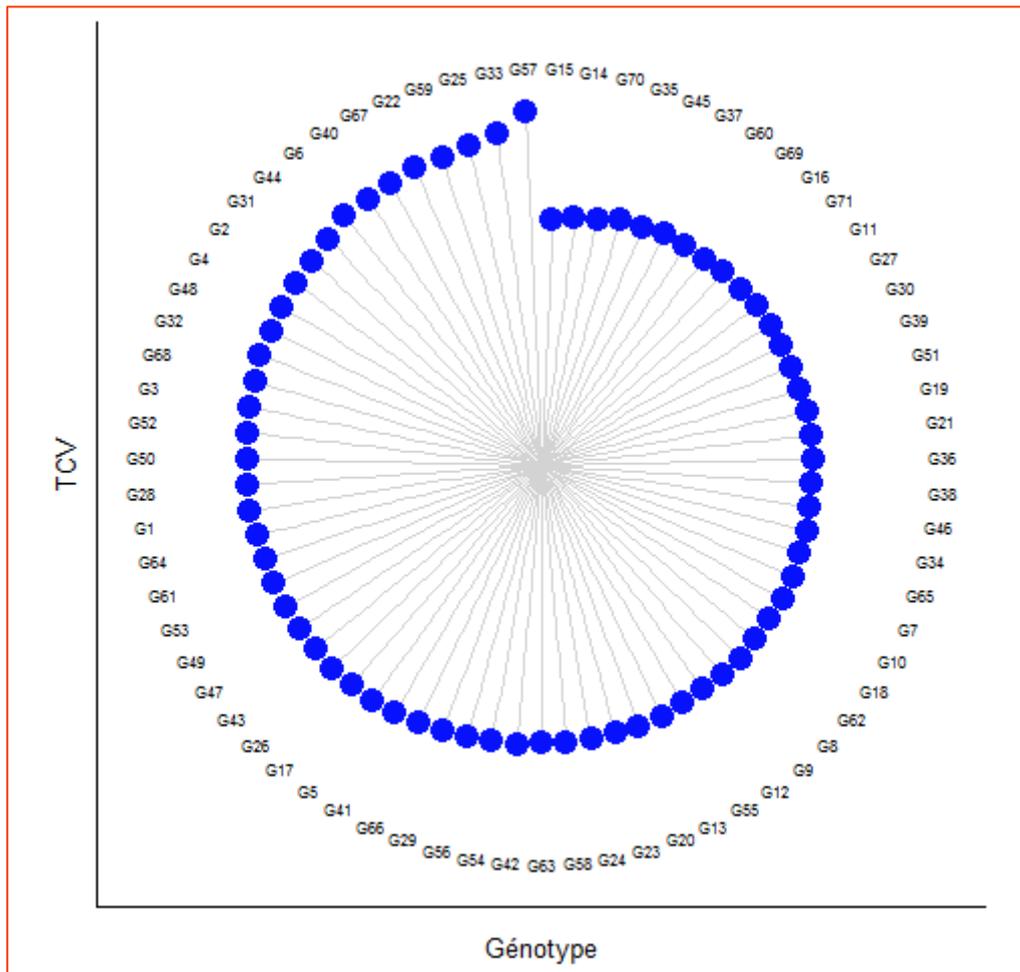


Figure 6 : Variation observée au niveau de la température du couvert végétal (TCV, °C) des génotypes étudiés.

Une étude réalisée par **Gautam et al. (2015)** suggère que la TCV peut être utilisée comme l'un des critères importants pour sélectionner des génotypes stables dans des conditions de stress thermique tardif et très tardif, ce qui peut aider à améliorer la production et la productivité du blé dur pendant les périodes de stress thermique terminal. Une faible TCV a été fréquemment utilisée comme critère de sélection dans des conditions de déficit hydrique, comme le soulignent **Lepekhov (2022)**. Ce chercheur souligne l'importance de la TCV comme un indicateur crucial dans la sélection de génotypes résistants au stress hydrique et thermique, ce qui peut contribuer à l'amélioration de la production agricole dans des conditions environnementales difficiles.

II.2.6. Surface foliaire de la feuille étendard

La surface de la feuille étendard (SF) la plus large est observée chez G61 avec 22.68 cm², tandis que la plus petite surface est notée chez G57 avec 9.91 cm² (Tableau 3, Figure 6). La moyenne générale du caractère est de 15.99 cm², avec une plus petite différence significative (Ppds_{5%}) de 4.32 cm² (Tableau 3). On note que 36 génotypes présentent des écarts positifs relativement à la valeur moyenne de la SF. Ces génotypes sont suggérés comme des futurs géniteurs pour leurs capacités photosynthétiques élevées pour les zones potentielles caractérisées par le peu ou l'absence des stress abiotiques tels que le manque d'eau de fin de cycle.

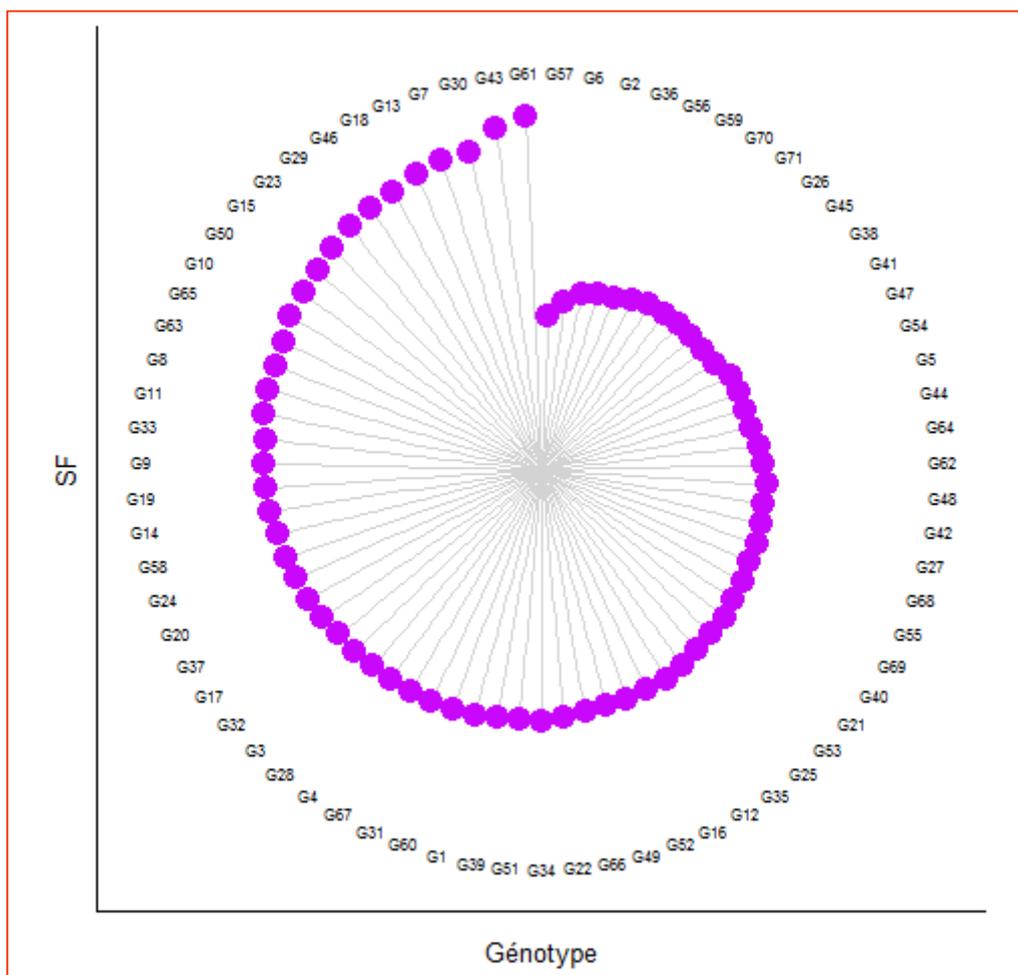


Figure 7 : Variation observée au niveau de la surface foliaire de la feuille étendard (SF, cm²) des génotypes étudiés.

La surface foliaire de la feuille étendard (SF) est un trait important dans la caractérisation des génotypes de blé dur. Les variations observées parmi les différents

génotypes offrent des opportunités pour la sélection de ceux qui présentent des performances supérieures en termes de surface foliaire. Ces génotypes peuvent être utilisés dans des programmes de sélection visant à améliorer les capacités photosynthétiques et la productivité des cultures, notamment dans des zones caractérisées par des stress abiotiques limités.

La surface foliaire est un déterminisme important de la transpiration. Une des premières réactions des plantes au déficit hydrique est de réduire la surface foliaire (**Jahan et al., 2023**). De ce fait, une surface foliaire réduite, perdra moins d'eau. Ainsi, ces variétés adoptent une stratégie d'évitement, ce qui leur permet de maintenir un potentiel hydrique élevé dans la plante (**Li et al., 2021b**). Sous stress hydrique, on note principalement une diminution importante de la taille et de la surface foliaire. Cette diminution est une des réponses des végétaux à la déshydratation, et elle contribue à la conservation des ressources en eau, ce qui permet la survie de la plante (**Seleiman et al., 2021**). **Ali et al. (2022)** ont montré que la réduction de la surface foliaire lorsque le stress hydrique s'installe est une stratégie développée par les plantes pour réduire leurs besoins et pertes en eau. D'autre part, les variétés de blé étudiées qui se distinguent par les surfaces les plus élevées donnent un rendement en grains plus important (**Ullah et al., 2021**).

II.2.7. Poids spécifique foliaire

La valeur maximale du poids spécifique foliaire est notée chez G57 avec 8.34 mg/cm². La valeur minimale de ce caractère est de 4.75 mg/cm² observée chez G2. La moyenne générale s'élève à 6.41 mg/cm², avec une plus petite différence significative (Ppds_{5%}) de 1.03 mg/cm². Il ressort que 37 génotypes présentent un PSF supérieur à la moyenne générale alors que les génotypes restants montrent un PSF inférieur dont G57, G17, G60, G33, G67, G43, G4 et G53, qui semblent mieux placés pour être exploités dans les programmes futurs de sélection visant l'amélioration du poids spécifique foliaire (Figure 8).

Le poids spécifique foliaire (PSF) est un paramètre important à considérer dans la sélection des génotypes de blé dur. Un poids spécifique foliaire élevé est un signe d'une plus grande capacité à se photosynthétiser (**Amanullah, 2015**). La réponse des plantes à la contrainte hydrique est influencée par le poids spécifique foliaire, ce qui en fait un critère simple pour choisir des génotypes offrant une grande efficacité dans l'utilisation de l'eau en cas de déficit hydrique (**Ben-Amar et al., 2020**).

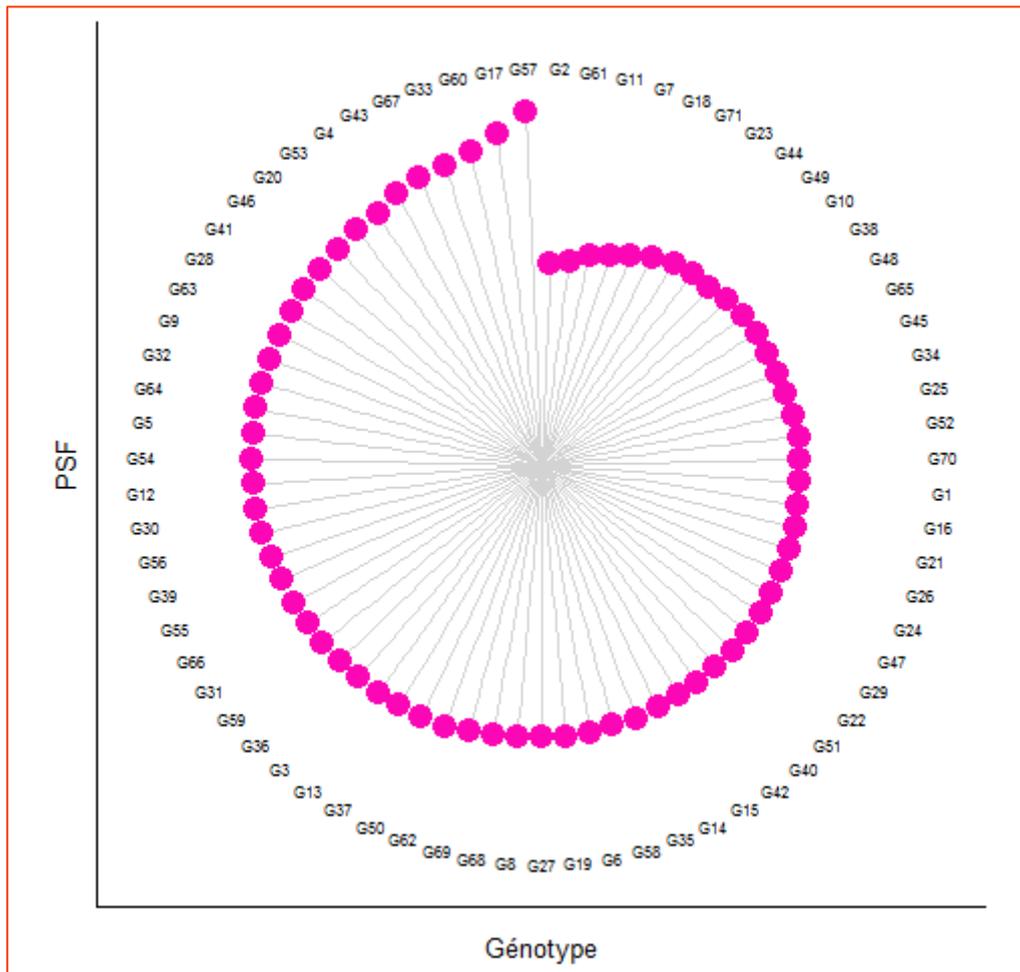


Figure 8 : Variation observée au niveau du poids spécifique foliaire (PSF, mg/cm²) des génotypes étudiés.

Le processus de réduction de la surface foliaire et l'augmentation du poids spécifique foliaire permettent aux plantes de faire face au manque d'eau en réduisant leur transpiration (Fouad, 2018). Selon Fathi (2022), il est possible d'améliorer la photosynthèse des feuilles de manière apparente en favorisant une bonne nutrition azotée et une épaisseur foliaire plus importante, ce qui est souvent associé à un poids spécifique foliaire élevé. De plus, le poids spécifique foliaire peut également être utilisé comme un indicateur de la production de paille (Belkharchouche *et al.*, 2009).

II.3. Corrélations des caractères mesurés

Le tableau 4 présente les coefficients de corrélations phénotypiques entre différentes variables mesurées chez les génotypes de blé dur. Parmi ces corrélations, certaines sont significatives et apportent des informations intéressantes sur les relations entre ces variables. Tout d'abord, une corrélation négative significative est observée entre la précocité au stade

épiaison (PREC) et le poids spécifique foliaire (PSF), avec un coefficient de -0.293*. Cela indique que les génotypes qui atteignent le stade d'épiaison plus tôt tendent à avoir un poids spécifique foliaire plus élevé. En d'autres termes, les plantes précoces développent des feuilles plus denses.

Tableau 4 : Coefficients de corrélations phénotypiques entre caractères mesurés chez les génotypes de blé dur étudiés.

Variables	PREC	TRE	IMC	CHL	TCV	SF	PSF
PREC							
TRE	-0.077						
IMC	0.015	-0.057					
CHL	-0.166	0.169	-0.036				
TCV	0.174	-0.081	0.096	0.091			
SF	0.049	0.089	0.138	-0.044	-0.249*		
PSF	-0.293*	0.249*	0.089	0.261*	0.263*	-0.107	

PREC : Précocité au stade épiaison, TRE : Teneur relative en eau, IMC : Intégrité de la membrane cellulaire, CHL : Teneur en chlorophylle, TCV : Température du couvert végétal, SF : Surface foliaire de la feuille étendant, PSF : Poids spécifique foliaire. * : Coefficient de corrélation significatifs au seuil de 0.05.

Il existe une corrélation positive significative entre la teneur relative en eau (TRE) et le poids spécifique foliaire (PSF), avec un coefficient de 0.249*. Cette relation suggère que les génotypes avec une meilleure rétention d'eau tendent à avoir des feuilles plus lourdes et plus denses. Ainsi, une teneur en eau plus élevée est associée à une densité foliaire accrue.

Une autre corrélation positive significative est trouvée entre la teneur en chlorophylle (CHL) et le poids spécifique foliaire (PSF), avec un coefficient de 0.261*. Cela indique que les génotypes avec une teneur en chlorophylle plus élevée ont tendance à avoir des feuilles plus denses. Une teneur en chlorophylle plus importante, qui peut être un indicateur de meilleure capacité photosynthétique, est donc liée à une densité foliaire supérieure.

De plus, la température du couvert végétal (TCV) est positivement et significativement corrélée avec le poids spécifique foliaire (PSF), avec un coefficient de 0.263*. Les génotypes ayant une température du couvert végétal plus élevée tendent à avoir un poids spécifique foliaire plus élevé. Une température plus élevée peut refléter une activité métabolique plus intense, contribuant à des feuilles plus lourdes et plus denses.

La surface foliaire de la feuille étendant (SF) et la température du couvert végétal (TCV) sont négativement et significativement liées, avec un coefficient de -0.249*. Cela indique que les génotypes avec une plus grande surface foliaire tendent à avoir une

température du couvert végétal plus basse. Une plus grande surface foliaire pourrait permettre une évapotranspiration plus efficace, aidant à refroidir le couvert végétal.

Toutes ces corrélations significatives observées entre les différentes variables mesurées chez les génotypes de blé dur révèlent des relations importantes entre la précocité, la teneur en eau, la teneur en chlorophylle, la température du couvert végétal et le poids spécifique foliaire. Elles offrent des perspectives précieuses pour la sélection et l'amélioration.

II.4. Paramètres génétiques et non-génétiques de la variation

La rentabilité de la sélection pour un caractère particulier dans une population dépend en grande partie des facteurs génétiques et non-génétiques affectant l'expression phénotypique (Fellahi *et al.*, 2019). Les paramètres génétiques et non-génétiques des caractères mesurés chez les génotypes de blé sont donnés dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Paramètres génétiques et non-génétiques des caractères mesurés.

Paramètre	PREC	TRE	IMC	CHL	TCV	SF	PSF
σ_p^2	24.81	17.70	24.48	9.50	3.10	7.44	0.40
σ_g^2	24.81	14.68	13.70	8.77	3.10	5.05	0.26
σ_e^2	1.49E-14	3.02	10.78	0.73	6.47E-16	2.39	0.14
h^2_{sl} (%)	100.00	82.95	55.96	92.35	100.00	67.93	65.69
CV_g (%)	4.38	4.53	4.26	6.37	7.31	14.06	7.99
CV_g/CV_e	4.08E+07	2.21	1.13	3.48	6.92E+07	1.46	1.38

PREC : Précocité au stade épiaison, TRE : Teneur relative en eau, IMC : Intégrité de la membrane cellulaire, CHL : Teneur en chlorophylle, TCV : Température du couvert végétal, SF : Surface foliaire de la feuille étandard, PSF : Poids spécifique foliaire, σ_p^2 : Variance phénotypique, σ_g^2 : Variance génotypique, σ_e^2 : Variance environnementale, h^2_{sl} : Héritabilité au sens large, CV_g : Coefficient de variation génotypique, CV_e : Coefficient de variation environnementale.

Les valeurs du coefficient de variation génotypique (CV_g) varient de 4.26% pour l'intégrité de la membrane cellulaire à 14.06% pour la surface foliaire. Concernant le coefficient de détermination génotypique ou héritabilité au sens large (h^2_{sl}), elles oscillent entre 55.96% pour l'intégrité de la membrane cellulaire et 100.00% pour la durée de la phase végétative et la température du couvert végétal. En général, le ratio CV_g/CV_e est supérieur à l'unité pour l'ensemble des caractères. Ces résultats suggèrent donc une faible influence de l'environnement sur l'expression de ces caractéristiques dans cette expérience, ce qui indique une prédominance de la variabilité génétique dans l'expression des traits étudiés.

L'héritabilité est un élément clé pour prédire la réaction à la sélection. Elle mesure la part de variation d'un trait attribuable aux différences génétiques au sein d'une population (Fellahi *et al.*, 2018 ; Salmi *et al.*, 2019). Une héritabilité élevée indique que les différences entre individus sont principalement dues à des facteurs génétiques, ce qui favorise une sélection efficace et rapide. Cependant, il convient de noter que l'héritabilité peut varier selon les traits étudiés et les populations. Certains traits peuvent présenter une héritabilité élevée, ce qui signifie que la variabilité génétique est un facteur déterminant dans leur expression phénotypique. En revanche, d'autres caractéristiques peuvent avoir une héritabilité plus faible, suggérant que leur variabilité phénotypique est principalement influencée par des facteurs environnementaux.

II.5. Classification multivariée des variétés de blé étudiées

La classification hiérarchique multivariée des variétés de blé évaluées révèle la présence de trois groupes distincts (Figure 9). Le premier cluster (C1) regroupe les génotypes G1, G2, G7, G15, G16, G18, G21, G22, G23, G24, G25, G26, G27, G28, G30, G31, G35, G39, G40, G42, G44, G49, G51, G54, G55, G58 et G63. Le deuxième cluster (C2) comprend les génotypes G3, G4, G5, G6, G8, G9, G10, G11, G12, G13, G14, G17, G20, G32, G33, G34, G36, G38, G41, G43, G45, G46, G47, G48, G50, G52, G53, G56, G57, G59, G60, G61, G64, G65, G66, G67, G68, G69 et G70. Les génotypes restants forment le troisième cluster (C3), comprenant G19, G29, G37, G62 et G71.

Les distances observées entre ces trois groupes de génotypes sont de 7.94 entre C1 et C2, de 14.41 entre C1 et C3, et de 13.74 entre C2 et C3. Ces résultats suggèrent une diversité significative entre les groupes, avec des caractéristiques distinctes entre les génotypes qui les composent.

Les valeurs centrales des caractères mesurés chez les groupes de génotypes de blé identifiés sont données en Tableau 6. Ces valeurs fournissent un aperçu des différences entre les groupes de génotypes de blé en ce qui concerne les caractères mesurés, ce qui peut être utile pour comprendre et interpréter la variabilité observée dans l'étude.

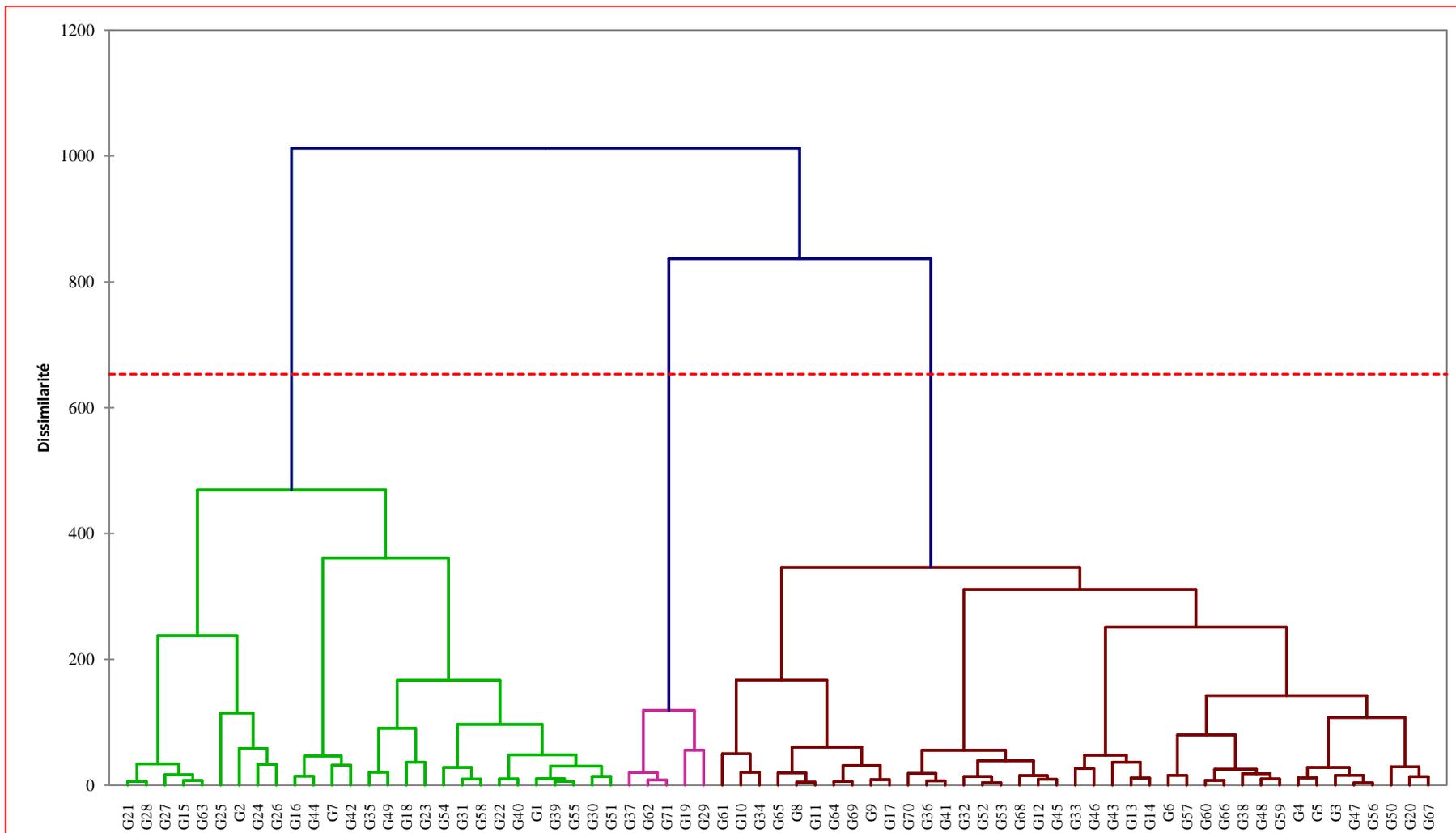


Figure 9 : Classification hiérarchique multivariée des génotypes de blé étudiés sur la base des caractères mesurés.

Tableau 6 : Valeurs centrales des caractères mesurés chez les groupes de génotypes de blé identifiés.

Groupe	PREC	TRE	IMC	CHL	TCV	SF	PSF
C1	117.63	82.57	87.08	44.53	24.02	16.19	6.17
C2	111.49	86.11	88.29	47.84	24.27	15.83	6.59
C3	110.80	84.55	74.78	46.67	22.92	16.23	6.26

PREC : Précocité au stade épiaison (jours), TRE : Teneur relative en eau (%), IMC : Intégrité de la membrane cellulaire (%), CHL : Teneur en chlorophylle (Spad), TCV : Température du couvert végétal (°C), SF : Surface foliaire de la feuille étendard (cm²), PSF : Poids spécifique foliaire (mg/cm²).

Le groupe C1 semble se caractériser par une tardivité légèrement plus élevée par rapport aux autres groupes, ce qui peut être un désavantage dans des conditions environnementales spécifiques nécessitant une maturité précoce pour éviter les stress climatiques tardifs. Ce groupe présente également une teneur relative en eau légèrement inférieure et une teneur en chlorophylle modérée. Cela suggère que les variétés de ce groupe pourraient être adaptées à des environnements moins stressants en termes de disponibilité en eau, mais pourraient nécessiter une gestion spécifique pour maintenir des niveaux optimaux de chlorophylle et de rendement.

Le groupe C2, bien qu'il partage une similarité avec le groupe C1 en termes d'intégrité de la membrane cellulaire et de la température du couvert végétal, montre des caractéristiques distinctes telles qu'une précocité meilleure, une teneur relative en eau et une teneur en chlorophylle plus élevées, une surface foliaire légèrement plus réduite avec un poids spécifique foliaire légèrement plus important. Cela suggère une capacité potentielle à maintenir une photosynthèse efficace même dans des conditions environnementales moins favorables, ce qui pourrait conduire à des rendements plus élevés dans certaines conditions.

Le groupe C3, en revanche, semble présenter une précocité légèrement plus faible par rapport au groupe C2, ce qui pourrait être bénéfique dans des régions où des cycles de croissance plus courts sont nécessaires. De plus, ce groupe montre des teneurs relatives en eau et en chlorophylle intermédiaires, une température du couvert végétal légèrement plus basse, ce qui pourrait indiquer une meilleure tolérance à la sécheresse dans des environnements où le manque d'eau, couplé aux températures élevées, peut être préjudiciable à la croissance des plantes.

En combinant ces informations avec les données sur les caractères mesurés, les sélectionneurs peuvent mieux comprendre la diversité génétique présente dans les variétés de

blé étudiées et choisir les géotypes les mieux adaptés à des environnements spécifiques ou à des objectifs de sélection particuliers, comme la résistance aux stress environnementaux ou l'optimisation du rendement.

Conclusión

Conclusion

Cette étude a révélé une variabilité génétique substantielle parmi les 71 géotypes de blé dur, offrant des opportunités pour la sélection et l'amélioration des caractères étudiés. En termes de précocité au stade épiaison (PREC), les géotypes à durée de phase végétative courte comme G65 sont particulièrement avantageux dans les régions arides et semi-arides, où ils peuvent éviter la sécheresse terminale et améliorer les rendements. Pour la teneur relative en eau (TRE), les géotypes comme G43, qui maintiennent une TRE élevée sous stress hydrique, sont suggérés pour améliorer la tolérance à la sécheresse. Concernant l'intégrité de la membrane cellulaire (IMC), les géotypes comme G62, G19, et G71, tolérants au stress thermique, sont recommandés pour améliorer la tolérance aux conditions climatiques difficiles. Les géotypes avec une teneur élevée en chlorophylle (CHL), tels que G20, possèdent un potentiel photosynthétique supérieur, essentiel pour des rendements accrus. Les géotypes comme G15 et G14, avec des températures du couvert végétal (TCV) plus basses, montrent une meilleure résistance au stress hydrique, faisant d'eux des candidats prometteurs pour les environnements arides. Les géotypes avec une grande surface foliaire (SF), tels que G61, sont avantageux pour des capacités photosynthétiques élevées, améliorant la productivité dans des conditions de stress abiotique limité. Un poids spécifique foliaire (PSF) élevé, comme observé chez G57, indique une meilleure capacité photosynthétique et une adaptation au stress hydrique, cruciales pour les zones arides.

Les résultats révèlent plusieurs corrélations significatives entre les variables mesurées chez les géotypes de blé dur. Une corrélation négative (-0.293*) est observée entre la précocité au stade épiaison (PREC) et le poids spécifique foliaire (PSF), indiquant que les géotypes précoces ont des feuilles plus denses. Des corrélations positives existent entre la teneur relative en eau (TRE) et PSF (0.249*), la teneur en chlorophylle (CHL) et PSF (0.261*), ainsi que la température du couvert végétal (TCV) et PSF (0.263*), suggérant que des géotypes avec une meilleure rétention d'eau, une teneur en chlorophylle plus élevée, ou une température de couvert plus élevée tendent à avoir des feuilles plus lourdes et plus denses. Enfin, une corrélation négative (-0.249*) entre la surface foliaire de la feuille étendard (SF) et TCV montre que les géotypes avec une plus grande surface foliaire ont une température de couvert plus basse, possiblement due à une évapotranspiration plus efficace.

Les géotypes de blé dur étudiés montrent une forte composante génétique dans l'expression des traits phénotypiques, comme le suggèrent les valeurs élevées d'héritabilité et

les ratios CV_g/CV_e . Cela indique une opportunité prometteuse pour la sélection et l'amélioration génétique, permettant une adaptation efficace aux conditions environnementales variées.

La classification hiérarchique multivariée des variétés de blé a révélé la présence de trois groupes distincts. Le premier groupe (C1) comprend 26 génotypes et se distingue par une tardivité plus élevée, une teneur relative en eau inférieure et une teneur en chlorophylle modérée, suggérant une adaptation à des environnements moins stressants en termes de disponibilité en eau. Le second groupe (C2) comprend 39 génotypes et présente des caractéristiques telles qu'une meilleure précocité, une teneur relative en eau et une teneur en chlorophylle plus élevées, et un poids spécifique foliaire plus important, indiquant une meilleure capacité de photosynthèse et une adaptation potentielle à des conditions environnementales moins favorables. Le troisième groupe (C3) comprend 5 génotypes qui sont plus précoces par rapport au groupe C2, des teneurs relatives en eau et en chlorophylle intermédiaires, et une température du couvert végétal plus basse, suggérant une meilleure tolérance à la sécheresse dans des environnements où le manque d'eau et les températures élevées sont des facteurs limitants. Les distances entre les groupes sont significatives, indiquant une diversité génétique marquée qui permettent aux sélectionneurs de cibler des génotypes spécifiques pour des environnements ou des objectifs de sélection particuliers, comme la tolérance aux stress environnementaux ou l'optimisation du rendement.

Les résultats montrent une variabilité génétique significative parmi les génotypes étudiés, offrant des opportunités pour la sélection et l'amélioration des caractères étudiés. Les génotypes identifiés pour leurs performances supérieures peuvent être intégrés dans des programmes de sélection pour améliorer la tolérance au stress hydrique et thermique, la capacité photosynthétique, et la productivité des cultures.

En perspectives, il serait pertinent de poursuivre les recherches pour confirmer ces résultats dans d'autres environnements et conditions climatiques, ainsi que d'explorer l'utilisation de ces génotypes dans des programmes de croisement pour maximiser les avantages génétiques.

*Références
Bibliographiques*

Références bibliographiques

- Adoui, N., Benderradji, L., Messaoudi, N., Brini, F., Boudour, L. (2017).** Analyse Moléculaire De La Diversité Génétique Des Protéines De Réserves Chez Quatre Variétés De Blé Dur (*Triticum turgidum* L. var *durum*). *European Scientific Journal*, **13**(36), 249-265.
- Ali, Z., Merrium, S., Habib-ur-Hamane, 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.
- Ammar, K. (2023).** Breeding durum wheat for resiliency to climate change and extreme environments: Achievements and current strategy at CIMMYT. *International Symposium on 'La Production du Blé et la Sécurité Alimentaire'*. INRAA, 12-13 Décembre 2023.
- Amanullah. (2015).** Specific leaf area and specific leaf weight in small grain crops wheat, rye, barley, and oats differ at various growth stages and NPK source. *Journal of Plant Nutrition*, **38**(11), 1694-1708.
- Amoumen, S. et Benhebireche, N. (2013).** Contribution à l'étude de la tolérance au déficit hydrique du blé dur (*Triticum durum* Desf). Mémoire de Master. Université Kasdi Merbah Ouargla.
- 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.
- Ben-Amar, A., Mahboub, S., Bouizgaren, A., Mouradi, M., Nsarellah, N. E., & El Bouhmadi, K. (2020).** Relationship between leaf rolling and some physiological parameters in durum wheat under water stress. *African Journal of Agricultural Research*, **16**(7), 1061-1068
- Benbelkacem, A. (2023).** Overview of Wheat Breeding in Algeria. *International Symposium on 'La Production du Blé et la Sécurité Alimentaire'*. INRAA, 12-13 Décembre 2023.
- Benmahammed, A., Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, A. et Bouzerzour, H. 2010.** Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **14**: 177-186.
- Belkharchouche, H., Fellah, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Chellal, N. (2009).** Vigueur de croissance, translocation et rendement en grains de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *Courrier du savoir*, **9**, 17-24.
- Bouakez, D. et Hamadouche, I. (2015).** Effet du stress hydrique au stade de germination sur la croissance de quelque génotype du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Master Université Frères Mentouri, Constantine.
- Bota, J., Tomás, M., Flexas, J., Medrano, H., & Escalona, J. M. (2016).** Differences among grapevine cultivars in their stomatal behavior and water use efficiency under progressive water stress. *Agricultural Water Management*, **164**, 91-99.
- Condorelli, G. E., Maccaferri, M., Newcomb, M., Andrade-Sanchez, P., White, J. W., French, A. N., ... & Tuberosa, R. (2018).** Comparative aerial and ground based high throughput phenotyping for

the genetic dissection of NDVI as a proxy for drought adaptive traits in durum wheat. *Frontiers in plant science*, **9**, 349736.

Chaouachi, L., Marín-Sanz, M., Barro, F., & Karmous, C. (2024). Study of the genetic variability of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in the face of combined stress: water and heat. *AoB Plants*, **16**(1), plad085.

Cherfia, R. (2010). Etude de la variabilité Morpho- physiologique et moléculaire d'une collection de blé dur algérien (*Triticum durum* Desf.) Mémoire Magister, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie et Ecologie, Université de Constantine, 77 p.

Cruz, C. D., Regazzi, A. J., & Carneiro, P. C. S. (2012). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: Editora UFV

Cruz, C. D. (2013). GENES – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative. *Acta Scientiarum. Agronomy*, **35**(3), 271-276.

Dhankher, O. P., & Foyer, C. H. (2018). Climate resilient crops for improving global food security and safety. *Plant, Cell & Environment*, **41**(5), 877-884.

Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (1996). Introduction to Quantitative Genetics (4th ed.). Pearson Education.

Fathi, A. (2022). Role of nitrogen (N) in plant growth, photosynthesis pigments, and N use efficiency: *A. Agrisost*, **28**, 1-8.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021). "Cereal Supply and Demand Brief." www.fao.org

Feillet, P. (2000). *Le grain de blé composition et utilisation*. INRA, Paris, 308p.

Fellahi, Z., Hannachi, A., Guendouz, A., Bouzerzour, H., Rabti, A., & Bouzerzour, H. (2019). Héritabilité, corrélation et gain de sélection précoce en F2 de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous conditions semi-arides. *Journal Algérien des régions arides*, **13**(2), 37-49.

Fellahi, Z., Hannachi, A., & Bouzerzour, H. (2020). Expected genetic gains from mono trait and index-based selection in advanced bread wheat (*Triticum aestivum* L.) populations. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, **73**(2), 9131-9141.

Fellahi, Z. E. A., Boubellouta, T., Hannachi, A., Belguet, H., Louahdi, N., Benmahammed, A., ... & Rebouh, N. Y. (2024). Exploitation of the Genetic Variability of Diverse Metric Traits of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum* Desf.) Cultivars for Local Adaptation to Semi-Arid Regions of Algeria. *Plants*, **13**(7), 934.

Fouad, H. (2018). Physiological traits and drought tolerance indices in advanced genotypes of bread wheat (*Triticum aestivum* L). *Egyptian Journal of Agronomy*, **40**(2), 145-154.

Garutti, M., Nevola, G., Mazzeo, R., Cucciniello, L., Totaro, F., Bertuzzi, C. A., ... & Puglisi, F. (2022). The impact of cereal grain composition on the health and disease outcomes. *Frontiers in nutrition*, **9**, 888974

- Gautam, A., Prasad, S. S., Jajoo, A., & Ambati, D. (2015).** Canopy temperature as a selection parameter for grain yield and its components in durum wheat under terminal heat stress in late sown conditions. *Agricultural Research*, **4**(3), 238-244.
- Haddad, L., Bachir, A., Ykhelef, N., Benmahmmed, A., Oulmi, A., & Bouzerzour, H. (2021).** Durum wheat (*Triticum turgidum* ssp *durum*) improvement during the past 67-year in Algeria: performance assessment of a set of local varieties under rainfed conditions of the eastern high plateaus. *Jordan journal of Biological Sciences*, **14**(2), 327-336.
- Hammer, O., Harper, D. A. T., & Ryan P. D. (2001).** Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronic*, **4**, 1-9.
- Hamli, S (2015).** Étude de la tolérance du blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) au choc thermique: criblage des plantules et déterminisme génétique de la tolérance. Thèse de Doctorat. Université Ferhat Abbas Setif1, Sétif 1, 133 p.
- Hannachi, A., & Fellahi, Z. (2023).** Efficiency of index-based selection for potential yield in durum wheat [*Triticum turgidum* (L.) ssp. *turgidum* convar. *durum* (Desf.) Mackey] lines. *Italian Journal of Agronomy*, **18**, 2182.
- Houasli, C., Boudia, M., Garcia-Tejero, I. F., Mellouki, S., & Mateos, L. (2013).** Physiological response of olive tree (*Olea europaea* L.) to water deficit. *Journal of Agricultural Science and Technology*, **15**, 1565-1576
- Jahan, E., Sharwood, R. E., & Tissue, D. T. (2023).** Effects of leaf age during drought and recovery on photosynthesis, mesophyll conductance and leaf anatomy in wheat leaves. *Frontiers in Plant Science*, **14**, 1091418.
- Kezhlouf, H., Bensaid, S., & Ali, B. (2006).** Adaptation des variétés à cycle court dans les régions arides et semi-arides. *Revue des Sciences Agronomiques*, **15**(3), 123-135
- 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.
- Li, P., Ma, B., Palta, J. A., Ding, T., Cheng, Z., Lv, G., & Xiong, Y. (2021b).** Wheat breeding highlights drought tolerance while ignores the advantages of drought avoidance: A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, **122**, 126196.
- Li, Z., Tang, M., Hassan, M. J., Zhang, Y., Han, L., & Peng, Y. (2021a).** Adaptability to high temperature and stay-green genotypes associated with variations in antioxidant, chlorophyll metabolism, and γ -aminobutyric acid accumulation in creeping bentgrass species. *Frontiers in Plant Science*, **12**, 750728
- Liu, X. J., Yin, B. Z., Hu, Z. H., Bao, X. Y., Wang, Y. D., & Zhen, W. C. (2021).** Physiological response of flag leaf and yield formation of winter wheat under different spring restrictive irrigation regimes in the Haihe Plain, China. *Journal of Integrative Agriculture*, **20**(9), 2343-2359.
- Mazouz, L., & Bouzerzour, H. (2017).** Etude de la contribution des paramètres phénomorphologiques dans la sélection du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans le climat semiaride. Synthèse: *Revue des Sciences et de la Technologie*, **35**: 45-58.

- Megherbi, A., Mehdadi, Z., Toumi, F., Moueddene, K., & Boudjra, S. E. B. (2012).** Tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.) et identification des paramètres morphologiques d'adaptation dans la région de Sidi Bel-Abbés (Algérie occidentale). *Acta Botanica Gallica*, **159**(1), 137-143.
- Ni, Z, Li, H, Zhao, Y, Peng, H, Hu, Z, and Xin, M (2018).** Genetic improvement of heat tolerance in wheat: Recent progress in understanding the underlying molecular mechanisms. *Crop J.* **6**, 32-41.
- Ouyang, W., Struik, P. C., Yin, X., & Yang, J. (2017).** Stomatal conductance, mesophyll conductance, and transpiration efficiency in relation to leaf anatomy in rice and wheat genotypes under drought. *Journal of Experimental Botany*, **68**(18), 5191-5205.
- Pask, A. J. D., Pietragalla, J., Mullan, D. M., & Reynolds, M. P. (2012).** Physiological breeding a field guide to wheat phenotyping Mexico D.F. CIMMYT.
- Perniola, M., Lovelli, S., Arcieri, M., & Amato, M. (2015).** Sustainability in cereal crop production in Mediterranean environments. *The sustainability of agro-food and natural resource systems in the Mediterranean Basin*, 15-27
- Qayyum, A., Al Ayoubi, S., Sher, A., Bibi, Y., Ahmed, 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., Mekaoussi, R., Fellahi, Z., Hannachi, A., Benbelkacem, A., Benmahammed, A., & Bouzerzour, H. (2020).** Characterization of old and recent durum wheat (*Triticum turgidum* L.) Tell. convar. *Durum* (Desf.) Mackey] Varieties assessed under south Mediterranean Conditions. *Egyptian Journal of Agronomy*, **42**(3): 307-320.
- Rabti, A. (2021).** Changements des caractères morpho-physiologiques induits par la sélection artificielle du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en Algérie. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département d'Agronomie, Université Ferhat Abbes- Sétif.
- Reynolds, C. A., Jackson, T. J., & Rawls, W. J. (2012).** Estimation of plant water content and leaf area index from optical measurements. *Remote Sensing of Environment*, **82**(2-3), 331-345.
- Salmi, M., Benmahammed, A., Benderradji, L., Fellahi, Z., Bouzerzour, H., Oulmi, A., & Benbelkacem, A. (2019).** Génération signifie analyse des caractères physiologiques et agronomiques ciblés dans le croisement du blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Revista Facultad Nacional de Agronomia Medellin*, **72**(3), 8971-8981.
- Sassi, K., Abid, G., Jenni, L., Dridi-El Mohandes, B., & Boubaker, M. (2012).** Etude Comparative de six variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis du stress hydrique. *Journal of Animal & Plant Sciences*, **15**(2), 2157-2170.
- 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.
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., ... & Battaglia, M. L. (2021).** Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, **10**(2), 259.

Ullah, M. I., Mahpara, S., Bibi, R., Shah, R. U., Ullah, R., Abbas, S., ... & Khan, M. I. (2021). Grain yield and correlated traits of bread wheat lines: Implications for yield improvement. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(10), 5714-5719.

Résumé

La présente étude a été menée au niveau du site expérimental du Centre National de Contrôle et Certification des semences et plants (CNCC-Sétif) au cours de la campagne agricole 2023/2024 avec comme objectif d'analyser la variabilité phénotypique pour la tolérance aux stress abiotiques, à l'intérieur d'une collection variée de cultivars de blé dur en milieu semi-aride à l'Est de l'Algérie. L'analyse de la variance (ANOVA) a confirmé des différences très hautement significatives entre les génotypes pour tous les caractères étudiés, renforçant l'importance de cette diversité pour les programmes de sélection. Des génotypes spécifiques, tels que G65 pour la précocité au stade épiaison et G43 pour la teneur relative en eau, se distinguent par leurs caractéristiques favorables, tandis que d'autres, comme G62, G19 et G71, sont recommandés pour leur tolérance au stress thermique. Les corrélations phénotypiques entre différentes variables mesurées chez les génotypes de blé dur révèlent des relations significatives importantes. Les résultats soulignent l'importance des facteurs génétiques dans l'expression de ces traits ce qui offrent des perspectives précieuses pour la sélection et l'amélioration de ces caractères chez le blé dur. La classification hiérarchique a révélé trois groupes distincts de génotypes, chacun présentant des caractéristiques spécifiques adaptées à des conditions environnementales variées. Ces résultats offrent aux sélectionneurs la possibilité de cibler des génotypes particuliers pour des environnements ou des objectifs de sélection spécifiques, tels que la tolérance aux stress environnementaux ou l'optimisation du rendement.

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

Abstract

The present study was conducted at the experimental site of the National Center for Seed and Plant Control and Certification (CNCC-Setif) during the 2023/2024 agricultural season. The objective was to analyze the phenotypic variability for tolerance to abiotic stresses within a diverse collection of durum wheat cultivars in the semi-arid region of eastern Algeria. The analysis of variance (ANOVA) confirmed highly significant differences among the genotypes for all the traits studied, highlighting the importance of this diversity for breeding programs. Specific genotypes, such as G65 for earliness and G43 for relative water content, stand out for their favorable characteristics, while others, such as G62, G19, and G71, are recommended for their heat stress tolerance. Phenotypic correlations between different variables measured in the durum wheat genotypes reveal important significant relationships. The results underscore the importance of genetic factors in the expression of these traits, offering valuable prospects for the selection and improvement of these traits in durum wheat. Hierarchical classification revealed three distinct groups of genotypes, each presenting specific characteristics adapted to varying environmental conditions. These results provide breeders with the opportunity to target specific genotypes for particular environments or breeding objectives, such as tolerance to environmental stresses or yield optimization.

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

ملخص

تم إجراء هذه الدراسة في الموقع التجريبي للمركز الوطني لمراقبة البذور والشتائل وتصديقها (CNCC-سطيف) خلال الموسم الزراعي 2024/2023 بهدف تحليل التباين الظاهري لتحمل الإجهادات غير الحيوية ضمن مجموعة متنوعة من أصناف القمح الصلب في المنطقة شبه الجافة بشرق الجزائر. أكدت تحليلات التباين (ANOVA) وجود فروقات عالية المعنوية بين الأنماط الوراثية لجميع الصفات المدروسة، مما يعزز أهمية هذا التنوع لبرامج التربية. تتميز أنماط وراثية معينة، مثل G65 من حيث التبكير في مرحلة التسنبل وG43 من حيث المحتوى النسبي من الماء، بخصائصها المواتية، بينما توصى أخرى، مثل G62، G19، وG71، لتحملها للإجهاد الحراري. تكشف الارتباطات الظاهرية بين المتغيرات المختلفة المقاسة في الأنماط الوراثية للقمح الصلب عن علاقات مهمة ومعنوية. تؤكد النتائج على أهمية العوامل الوراثية في تعبير هذه الصفات، مما يوفر آفاقاً قيمة لاختيار وتحسين هذه الصفات في القمح الصلب. كشف التصنيف الهرمي عن ثلاث مجموعات مميزة من الأنماط الوراثية، كل منها يقدم خصائص محددة تتكيف مع ظروف بيئية متنوعة. توفر هذه النتائج للمربين إمكانية استهداف أنماط وراثية معينة لبيئات أو أهداف تربية محددة، مثل تحمل الإجهادات البيئية أو تحسين المرود.

كلمات مفتاحية: *Triticum durum*، إجهادات لا حيوية، تحمل، خصائص فسيولوجية، شبه قاحلة.