



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 Ibrahim 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 de la performance d'adaptation des variétés
anciennes et nouvelles de blé tendre (*Triticum aestivum* L.)
aux conditions des zones semi-arides d'altitude

Présenté par :

BOUABTA Silia & BOUKHETALA Rahil

Soutenu le 24 / 06/ 2023, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	M. ZAFOUR Mohamed Djilil	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. BELGUERRI Hemza	MCB	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.

Année Universitaire 2022/2023

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**, notre 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 membres de jury, **Dr. ZAFOUR Mohamed Djilil** en qualité de président et **Dr. BELGUERRI Hemza** en qualité d'examineur qui nous ont fait l'honneur d'évaluer et 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 et le CNCC de Sétif d'avoir été si gentils avec nous et de nous avoir permis de réaliser notre mémoire chez eux.

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

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

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mon père, pour son appui et son encouragement celui m'a guidé vers la voie de réussite.

A ma mère, la source de mes joies, pour son amour son soutien sa tendresse.

A mon cher frère **Mohammad Tayeb**.

A la fleur de la maison ma chère sœur **Malak**.

A ma grand-mère, que dieu leur procure une bonne santé et longue vie.

A celle qui m'a accompagné, m'a supporté tout le long du travail mon amie et binôme **Rahil**.

A tous mes collègues de la promo "Amélioration des plantes 2022-2023".

A toutes les personnes que je connais et que je n'ai pas cité, à ceux que j'aime et m'aiment.

Sílía

Dédicace

Le tour n'était pas court et ne devait pas l'être, le rêve n'était pas proche et la route n'était pas pleine de facilités, mais je l'ai fait.

Je dédie ma graduation à celui dont je porte le nom avec fierté, à celui qui a récolté les épines de mon chemin pour paver le chemin de la connaissance à mon "**cher père**".

Après la grâce de Dieu, ce que je suis est dû à mon père, qui n'a pas renoncé même à une petite partie de ce que nous avons obtenu, et à l'homme qui s'est efforcé toute sa vie d'être meilleur que lui.

A la main invisible qui a enlevé les épines de mon chemin et qui a porté chaque instant de douleur que je traversais et qui m'a soutenu dans ma faiblesse et ma moquerie, "**ma mère**".

Mes frères, mes belles sœurs, et camarades au fil des années, et à tous ceux qui m'ont aidé et soutenu sur ce chemin, je vous suis reconnaissant à tous, et je ne serais pas arrivé sans votre grâce après Dieu.

Rahil

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..... 4

I.2. Mesures et notations..... 7

I.2.1. Caractères phénologiques..... 7

I.2.1.1. Durée de la phase végétative (DPV, jours) 7

I.2.2. Caractères physiologiques..... 7

I.2.2.1. Teneur relative en eau (TRE, %) 7

I.2.2.2. Intégrité cellulaire (IC, %) 8

I.2.2.3. Teneur en chlorophylle des feuilles (Chl, Spad) 9

I.2.3. Caractères morphologiques 9

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

I.2.3.2. Poids spécifique foliaire (PSF, mg/cm²) 10

Chapitre II : Résultats et discussion

II.1. Analyse de la variance 12

II.2. Etude des valeurs moyennes 12

II.2.1. Durée de la phase végétative (DPV)..... 12

II.2.2. Teneur relative en eau (TRE) 15

II.2.3. Intégrité cellulaire (IC)..... 17

II.2.4. Teneur en chlorophylle des feuilles (Chl) 19

II.2.5. Surface foliaire de la feuille étendard (SF) 21

II.2.6. Poids spécifique foliaire (PSF) 23

II.3. Corrélations des caractères mesurés..... 25

II.4. Paramètres génétiques et non-génétiques de la variation 25

II.5. Classification multivariée des variétés de blé étudiées 26

Conclusion..... 29

Références bibliographiques..... 31

Liste des tableaux

Tableau 1 : Code et nom des variétés de blé tendre étudiées	5
Tableau 2 : Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères mesurés.....	12
Tableau 3 : Valeurs minimales, maximales et moyennes des caractères mesurés	13
Tableau 4 : Paramètres génétiques et non génétiques des caractères mesurés.....	26

Liste des figures et photos

Figure 1 :	Pluies et températures mensuelles moyennes, minimales et maximales enregistrées au cours de la campagne agricole 2022/2023 au site expérimental de Sétif	4
Figure 2 :	Ecart des valeurs prises par la phase végétative (DPV, jours) des variétés étudiées par rapport à la moyenne générale du caractère	14
Figure 3 :	Ecart des valeurs prises par la teneur relative en eau (TRE, %) des variétés étudiées par rapport à la moyenne générale du caractère	16
Figure 4 :	Ecart des valeurs prises par l'intégrité cellulaire (IC, %) des variétés étudiées par rapport à la moyenne générale du caractère	18
Figure 5 :	Ecart des valeurs prises par la surface foliaire de la feuille étendard (SF, cm ²) des variétés étudiées par rapport à la moyenne générale du caractère	20
Figure 6 :	Ecart des valeurs prises par la teneur en chlorophylle (Chl, Spad) des variétés étudiées par rapport à la moyenne générale du caractère	22
Figure 7 :	Ecart des valeurs prises par le poids spécifique (mg/cm ²) des variétés étudiées par rapport à la moyenne générale du caractère	24
Figure 8 :	Régression de l'intégrité cellulaire sur le poids spécifique foliaire des variétés de blé évaluées	25
Figure 9 :	Classification multivariée des variétés de blé étudiées	27
Figure 10 :	Caractéristiques des trois groupes de variétés de blé identifiés	28
Photo 1 :	Des échantillons de feuilles placées dans des tubes à essai remplis de 10 ml d'eau distillée pour déterminer la teneur relative en eau	8
Photo 2 :	Des échantillons de feuilles placées dans des tubes à essai remplis de 10 ml d'eau distillée pour déterminer le taux de dommage cellulaire causées par le stress thermique	9
Photo 3 :	Mesure de la teneur en chlorophylle des feuilles par le chlorophylle-mètre type Spad-502	9

Liste d'abréviations

ANOVA : Analyse de la variance.

Chl : Teneur en chlorophylle.

CIMMYT : Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo (Centre international d'amélioration du maïs et du blé).

ddl : Degré de liberté.

DPV : Durée de la phase végétative.

DSASI : Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information.

FAO : Food and Agriculture Organization.

FDPS : Ferme de Démonstration et de Production de Semences.

IC : Intégrité cellulaire.

IGC : International Grains Council.

INRAA : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie.

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures.

MADR : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

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 essentielle dans les systèmes agricoles mondiaux en tant que cultures de base, fournissant une source vitale de nourriture, de revenus et de sécurité alimentaire pour de nombreuses populations (FAO, 2019). Elles représentent une source importante de glucides, de fibres, de vitamines et de minéraux dans l'alimentation humaine. Elles sont utilisées pour produire une variété de produits alimentaires tels que le pain, les pâtes, les céréales pour le petit-déjeuner, les biscuits et les pâtisseries (Sindhu et Khatkar, 2021). Les céréales sont également utilisées dans l'industrie de l'alimentation animale pour nourrir le bétail, les volailles et les poissons (Ganesan et Rajauria, 2020). Sur le plan économique, les céréales représentent souvent une part importante des exportations agricoles de nombreux pays. Elles contribuent à la sécurité alimentaire mondiale en fournissant une base alimentaire stable et abordable pour les populations (Rabbi et al., 2023).

Le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) est l'une des céréales les plus importantes cultivées dans de nombreux pays à travers le monde. Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) occupe, par contre, une place importante surtout dans les régions au climat de type méditerranéen (Xynias et al. 2020 ; Rabti et al., 2020 ; Haddad et al., 2021 ; Hannachi et Fellahi, 2023). La production mondiale de blé est estimée à environ 774 millions de tonnes avec une superficie emblavée de l'ordre de 220 millions d'hectares (IGC, 2022). Environ 90 à 95 % du blé produit dans le monde est du blé tendre, qui est moulu en farines raffinées ou entières pour la production d'une grande variété de pains levés et plats (Padilla-Torres et al., 2022).

Ces chiffres peuvent varier d'une année à l'autre en raison de facteurs tels que les conditions climatiques, les prix des céréales, les politiques agricoles et les préférences des agriculteurs pour d'autres cultures. Les principaux pays producteurs de blé tendre sont la Chine, l'Inde, les États-Unis, la Russie, le Canada et la France (<https://www.statista.com/>). Ces pays bénéficient de conditions climatiques favorables et disposent de vastes superficies agricoles propices à la culture du blé.

En Algérie, les céréales occupent une place importante dans l'agriculture et l'alimentation du pays. Les principales céréales cultivées sont, par ordre décroissant, le blé dur, l'orge et le blé tendre (Fellahi, 2017). Le blé dur est principalement utilisé pour la production de semoule, qui est utilisée dans la préparation de plats traditionnels tels que le couscous et les pâtes. L'orge est principalement utilisée pour l'alimentation animale. Elle joue

un rôle essentiel dans l'industrie de l'élevage en fournissant une source de nourriture pour le bétail. Le blé tendre est utilisé pour la production de farine destinée à la consommation humaine.

La superficie moyenne emblavée en céréales en Algérie est estimée à environ 3.4 millions d'hectares. Parmi ces céréales, Le blé dur occupe environ 1.49 million d'hectares, la superficie emblavée en orge est estimée à environ 0.98 million d'hectares. Le blé tendre est réparti sur 0.35 million d'hectares environ (**DSASI, 2020**).

La production de blé dur en Algérie est estimée à environ 2.58 millions de tonnes contre 0.53 million de tonnes pour le blé tendre (**DSASI, 2020**). Cependant, il est important de noter que la production peut varier considérablement d'une année à l'autre en fonction des conditions climatiques, des pratiques agricoles, des préférences des agriculteurs et des efforts de soutien du gouvernement. L'Algérie est un pays importateur net de blé, ce qui signifie qu'elle dépend en grande partie des importations pour répondre à sa demande intérieure d'où la production nationale est loin de couvrir les besoins de la population locale (**Lamara et al., 2022**).

Le rendement du blé en Algérie peut varier d'une année à l'autre en raison de divers facteurs tels que les conditions climatiques, les pratiques agricoles et les technologies utilisées. Le rendement moyen du blé en Algérie est de 1.8 tonnes par hectare (**Benbelkacem, 2022**). Cependant, il est important de noter que ces chiffres peuvent varier d'une région à l'autre et d'une saison à l'autre. Également, le rendement du blé peut être influencé par des facteurs tels que la disponibilité et la qualité des semences, les pratiques de fertilisation, les techniques de gestion des cultures, la gestion des maladies et des ravageurs (**Benbelkacem, 2022**).

La céréaliculture en générale et celle en blé tendre en particulier est principalement pratiquée en zones semi-arides caractérisées par de nombreuses contraintes climatiques où la production connaît de fortes variations spatiales et annuelles. Les stress abiotiques tels que le froid hiver-printemps et la sécheresse couplée aux hautes températures menacent sérieusement la production (**Bachiri et al., 2018**). L'Algérie cherche à augmenter sa production pour réduire les importations. Le gouvernement algérien a mis en place des politiques pour encourager la production nationale de blé dur et réduire la dépendance aux importations. Cela comprend des mesures telles que le soutien aux agriculteurs, la distribution

de semences de qualité, l'amélioration des infrastructures agricoles et l'augmentation des incitations financières (**MADR, 2019**).

L'augmentation des superficies cultivées et l'irrigation ne sont pas évidents compte tenu de la rareté des ressources hydriques et vu que la majeure partie des superficies réservées aux céréales a été déjà exploitée (**Hannachi et al., 2013 ; Salmi et al., 2015**). L'amélioration de la production agricole par voie génétique d'un matériel végétal plus adapté aux conditions du milieu de production semble une alternative de choix. Ceci sera possible en procédant à une sélection sur la base des caractères physiologiques (teneur relative en eau, intégrité cellulaire, teneur en chlorophylle, température du couvert végétal, ...etc.), morphologiques (hauteur de la végétation, surface foliaire, ...etc.) et phénologiques (durée de la phase végétative, date de maturation, ...etc.) associées à la tolérance aux différents stress abiotiques (**Langridge et Reynolds, 2021 ; Sarkar et al., 2021**). Cette action permettra aux sélectionneurs de développer de nouvelles variétés qui combinent de bonnes valeurs agronomiques, technologiques, une bonne adaptation aux différentes zones de production (**Haddad et al., 2016**).

Ce travail a pour objectif d'analyser la variabilité phénotypique, vis-à-vis de la tolérance au stress abiotiques, d'une collection constituée de variétés nouvelles et anciennes de blé tendre évaluée sous conditions pédoclimatiques des zones semi-arides d'altitude. Ceci aidera à identifier et déterminer les variétés porteuses des gènes de tolérance de stress abiotiques qui pourraient être utiles et mis à la disposition des sélectionneurs dans les programmes d'amélioration futurs.

Chapitre I :
Matériel et méthodes

I. Matériel et méthodes

I.1. Site, matériel végétal et dispositif expérimental

L'expérimentation est conduite au cours de la campagne agricole 2022/2023 au niveau du site expérimental de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC), Ferme de Démonstration et de Production de Semences (FDPS) de Sétif. Le site est localisé aux coordonnées géographiques 36°08'11'' N et 05°20'43'' E à une altitude de 952 m au-dessus du niveau de la mer. Le climat de la région est de type méditerranéen continental, semi-aride, caractérisé par un été chaud et sec, et 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. Le cumul pluviométrique enregistré au cours de la campagne d'étude est de 360 mm. La période depuis l'installation de la culture en mois de décembre et notamment durant la phase février-avril coïncidant avec les stades gonflement et anthèse fut sèche (76.7 mm seulement en 5 mois). Le phénomène s'inverse pour les mois de mai et juin furent pluvieux.

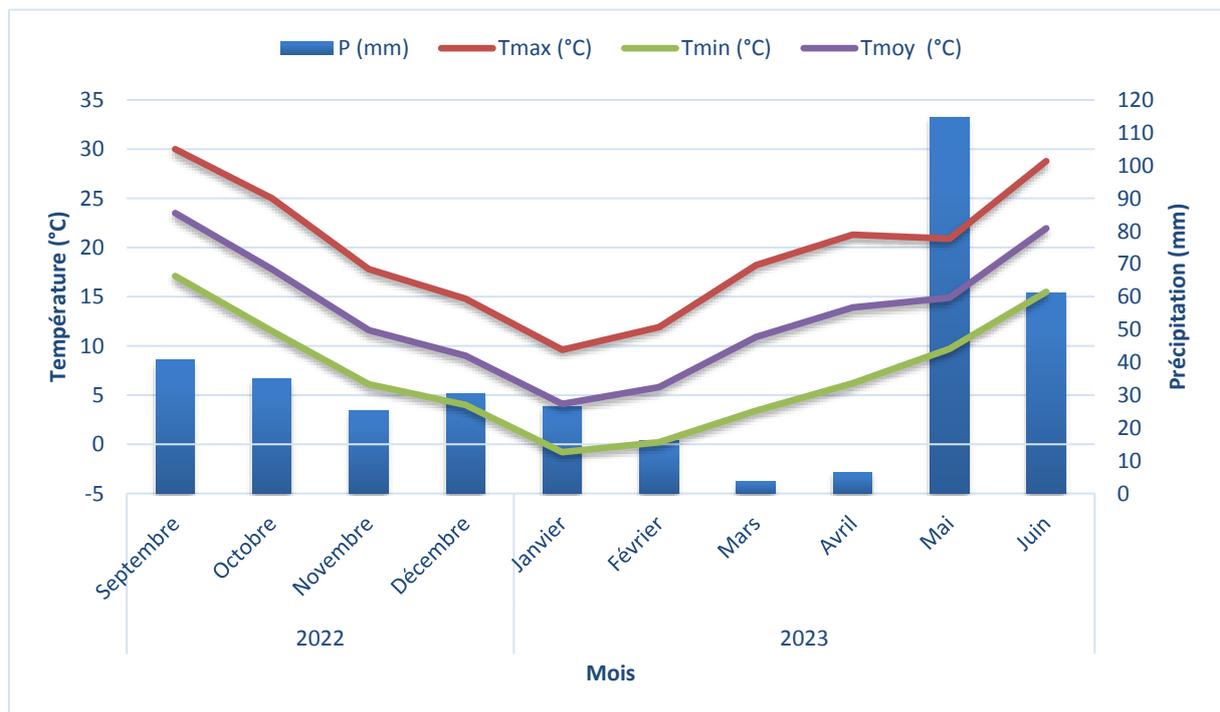


Figure 1 : Pluies et températures mensuelles moyennes, minimales et maximales enregistrées au cours de la campagne agricole 2022/2023 au site expérimental de Sétif

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

La température est plus ou moins élevée en automne et en printemps et basse en hiver. Le mois de janvier avec une moyenne de 4.10°C est le plus froids alors qu'à partie du mois de mars la température moyenne de l'air connaît une élévation remarquable, dépassant les 10°C. Ce phénomène en plus de l'absence des pluies surtout aux cours des mois mars et avril brusque la végétation à terminer son cycle, raccourcissant ainsi la durée de la phase végétative, la hauteur de la végétation et la durée de remplissage du grain. Certaines variétés n'ont même pas arrivé à terminer leur cycle et la culture est complètement sinistrée.

Le matériel végétal est constitué de 51 variétés de blé tendre d'origines diverses dont deux témoins nommés Hidhab et Mawna (Tableau 1).

Tableau 1 : Code et nom des variétés de blé tendre étudiées.

Code	Variété	Code	Variété
V1	Arz	V27	Sagitaria
V2	Arabia	V28	Salama
V3	Anza	V29	Sidi Okba
V4	Anapo	V30	Sensas
V5	Andamo	V31	Tidis
V6	Acsad9	V32	Tamezghida
V7	Anforeta	V33	Mahon Démias
V8	Alabonza	V34	Mezghana
V9	Almirante	V35	Massine
V10	Akhamokh	V36	MB105
V11	Ain El hadier	V37	Miniomt
V12	Ain Abid	V38	Mawna
V13	Avvento	V39	Mexicana
V14	Bonpain	V40	Nesser
V15	Boumerzoug	V41	Nadjia
V16	Djanet	V42	Orion
V17	Djemila	V43	Pavon
V18	Buffato	V44	Kelopardia
V19	El Hembra	V45	Hidhab
V20	Florence Aurore	V46	7 Cerros
V21	Guadalupe	V47	El-Wifak
V22	Resulton	V48	Wafia
V23	Radia	V49	Ziad
V24	Remax	V50	Zanzibar
V25	Rottokayo	V51	Zidane
V26	Pimada		

La variété Hidhab (HD1220), est une sélection de l'ITGC de Sétif datant de 1985, sélection faite à l'intérieur d'une population en ségrégation provenant de CIMMYT. C'est une variété à cycle court, précoce à l'épiaison, ce qui lui permet de tolérer les stress hydrique et thermique de fin de cycle. Elle se distingue par une capacité de tallage élevée, aux épis blancs, demi-compacts, aux barbes divergentes et à paille creuse et courte (**Fellahi, 2013**). Hidhab présente une adaptation très large, embrassant toutes les régions du pays. Cette variété est très appréciée par les agriculteurs, elle est la plus cultivée à cause de son potentiel de rendement élevé. Elle possède de bonnes caractéristiques technologiques pour la panification, c'est un blé de force (**Fellahi, 2013, 2017**).

Mawna (Acsad901) est aussi une sélection de l'ITGC provenant d'un programme de coopération avec le centre arabe pour l'étude des zones arides et des terres sèches (ACSAD). Elle est inscrite en 2016 et se caractérise par sa précocité, ce qui lui permet d'éviter le gel tardif (**Fellahi, 2017**). Elle est tolérante au froid à la verse et à la sécheresse. Elle est sensée de remplacer la variété Hidhab dans plusieurs zones agro-climatiques, elle est en pleine expansion dans les wilayas de Guelma, Skikda, Blida et même dans la zone sud du pays. Son poids de 1000 grains est élevé, son rendement en farine et sa teneur en protéines sont moyens, c'est un blé tenace. Pour la résistance aux maladies, elle est tolérante à la rouille jaune et rouille brune, l'oïdium et la septoriose mais par contre, elle est sensible à l'égrenage (**Douici-Khalfi et al., 2019**).

L'essai est conduit dans un dispositif expérimental augmenté (**Federer, 1958**). Ce dispositif est utilisé notamment lorsque le nombre de génotypes à évaluer est très élevé ou la quantité de semences disponible est trop faible pour réaliser des répétitions (**Petersen, 1982**). Dans ce dispositif, chaque variété est répétée une seule fois, par contre les deux témoins sont randomisés à l'intérieur de l'essai et répétés quatre fois. La présence des témoins constitue la spécificité de ce dispositif expérimental.

Le semis des variétés de blé est effectué en date du 04 décembre 2022 à l'aide d'un semoir expérimental de type Wintersteiger. Chaque variété est semée dans une bande d'un mètre de long ayant 6 rangs espacés de 20 cm. La densité de semis est de 250 graines/m². L'essai est conduit dont les techniques culturales adoptées sont celles préconisées pour la culture des céréales et appliquées par l'ITGC. Le précédent cultural est une jachère travaillée, le premier labour est effectué durant le mois de février 2022 suivi de deux passages du cover-crop en mois de mai et octobre et puis un hersage en mois de décembre. L'essai est fertilisé par 100 kg/Ha

de l'engrais de fond Mono-Ammonium Phosphate (52% P₂O₅ + 12% N) et 60 kg/ha de l'engrais NPKs (4% + 20% + 25%) pendant le tallage.

I.2. Mesures et notations

I.2.1. Caractères phénologiques

I.2.1.1. Durée de la phase végétative (DPV, jours) : 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 (feuille étendard). La durée de cette phase végétative est un indicateur du degré de précocité.

I.2.2. Caractères physiologiques

I.2.2.1. Teneur relative en eau (TRE, %) : elle est considérée comme un indicateur physiologique vital de l'état d'hydratation des plantes en fonction de la disponibilité en eau dans le substrat. La mesure de teneur relative en eau (TRE, %) a été déterminé au stade épiaison suivant la méthode décrite par **Pask et al. (2012)** sur un échantillon de 5 feuilles échantillonnées dans chaque parcelle. Les feuilles sont coupées à la base du limbe, elles sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (PF). Elles sont mises par la suite dans des tubes à essai remplis d'eau distillée (10 ml) et placés à l'obscurité dans un endroit frais (Photo 1). Après 24 heures les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, pesées de nouveau pour obtenir le poids de la pleine turgescence (PT). Les échantillons sont enfin mis à l'étuve réglée à 80°C pendant 48 heures et pesés pour avoir leur poids sec (PS). La teneur relative en eau est calculée par 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 : Des échantillons de feuilles placées dans des tubes à essai remplis de 10 ml d'eau distillée pour déterminer la teneur relative en eau.

I.2.2.2. Intégrité cellulaire (IC, %) : il est effectué sur les deux dernières feuilles entièrement développées pour déterminer le taux de dommage cellulaire causées par le stress thermique (Bajji *et al.*, 2001). Deux feuilles sont prises au hasard par génotype (et par répétition pour les témoins). Ces échantillons sont lavés à l'eau courante et sont découpés en morceaux de 1cm de long. Un échantillon de 10 segments 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 la conductivité de la solution. Trois tubes sont utilisés par traitement. A chaque tube on ajoute 10 ml d'eau distillée déminéralisée. Les tubes, ainsi traités sont périodiquement agités manuellement et laissés à la température ambiante du laboratoire. Une première lecture est faite (EC1) avec le conductimètre 24 heures après (Photo 2). Les tubes sont ensuite mis dans un bain marie, dont la température est portée à 100°C pendant 60 minutes. Une deuxième lecture de la conductivité est faite 24 heures après le passage des échantillons au bain-marie (EC2). Le pourcentage de cellules endommagées par le stress thermique est estimé comme suit :

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

Où :

IC = pourcentage de cellules endommagées par le déficit thermique ;

EC1 et EC2 = conductivités du traitement avant et après passage au bain marie, respectivement.



Photo 2 : Des échantillons de feuilles placées dans des tubes à essai remplis de 10 ml d'eau distillée le taux de dommage cellulaire causées par le stress thermique.

I.2.2.3. Teneur en chlorophylle des feuilles (Chl, Spad) : elle est déterminée au stade épiaison à l'aide d'un chlorophylle-mètre portable Spad-502 (Photo 3). Cet appareil portable fonctionne sur pile et est conçu pour faire des mesures rapides et non destructives sur des échantillons de feuilles intactes. Trois lectures sont réalisées par variété (et par répétition pour les témoins) ensuite la moyenne est calculée sur la base des trois lectures.



Photo 3 : Mesure de la teneur en chlorophylle des feuilles par le chlorophylle-mètre type Spad-502.

I.2.3. Caractères morphologiques

I.2.3.1. Surface foliaire de la feuille étendard (SF, cm²) : la longueur et la plus grande largeur de la feuille étendard ont été mesurées au stade épiaison sur un échantillon de 6 feuilles prises au hasard par variété et par répétition. La surface moyenne de la dernière feuille entièrement développée a été estimée selon **Spagnoletti-Zeuli et Qualset (1990)** par :

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

Où :

SF = surface moyenne de la feuille étandard (cm²) ;

L = longueur moyenne de la feuille étandard (cm) ;

l = largeur moyenne de la feuille étandard (cm) ;

0.607 = 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. Poids spécifique foliaire (PSF, mg/cm²) : il est déterminé sur la dernière feuille entièrement développée. Les feuilles sont pesées après passage à l'étuve à 24 heures pour obtenir le poids sec (PS) après avoir déterminé leurs surface foliaire (SF). Le poids spécifique foliaire (PSF) est déterminé par la formule suivante (**Amanullah, 2015**) :

$$PSF (mg/cm^2) = PS/SF$$

Où :

PSF = poids spécifique foliaire (mg/cm²) ;

PS = poids sec de la feuille étandard (mg) ;

SF = surface moyenne de la feuille étandard (cm²).

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 ; il indique des différences significatives entre variétés pour la variable mesurée.

Les variances génotypique (σ_g^2), phénotypique (σ_p^2) et environnementale (σ_e^2) des variétés étudiées sont déduites de la table d'analyse de la variance comme suit :

$$\sigma_g^2 = CM_t - CM_e$$

$$\sigma_e^2 = CM_e$$

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

Où :

CM_t = carré moyen des traitements (variétés) ;

CM_e = carré moyen résiduel de l'expérience ;

σ_p^2 = variance phénotypique ;

σ_g^2 = variance génotypique ;

σ_e^2 = variance résiduelle de l'analyse de la variance de la variable considérée ;

r = nombre de répétitions des témoins.

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

$$h^2_{sl} = \sigma^2_g / \sigma^2_p$$

L'héritabilité est classée comme faible ($h^2_{sl} \leq 0.30$), moyenne ($0.30 < h^2_{sl} \leq 0.60$) et élevée ($h^2_{sl} > 0.60$).

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

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

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

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

Où :

σ^2_p = variance phénotypique ;

σ^2_g = variance génétique ;

σ^2_e = 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.

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.

Les analyses sont réalisées avec le logiciel Genes (**Cruz, 2013**) et Past, version 4.06 (**Hammer et al., 2001**) 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) indique un effet 'variété' significatif ($p < 0.05$) à hautement significatif ($p < 0.01$) pour l'ensemble des caractères mesurés (Tableau 2). Des effets significatifs suggèrent la présence d'une variabilité génétique importante pour ces caractères chez le matériel végétal évalué et offre la possibilité d'amélioration génétique des caractères ciblés via la sélection. L'effet 'témoin' est hautement significatif pour la durée de la phase végétative seulement suggérant que les deux variétés utilisées comme témoins dans la présente étude ne divergent que pour la précocité au stade épiaison. Les valeurs prises par le coefficient de variation sont faibles en valeurs ce qui reflète la bonne précision lors de la manipulation de l'expérience.

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

SV	ddl	DPV	TRE	IC	Chl	SF	PSF
Variété	48	3398.43**	1725.60*	1136.222**	601.61**	9.73*	16.22**
Témoin	1	40.50**	173.63 ^{ns}	62.94 ^{ns}	1.90 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.05 ^{ns}
Erreur	6	0.25	325.40	119.56	1.06	1.61	0.46
CV général (%)		0.43	22.66	17.02	2.08	22.17	8.59

SV : Source de variation, ddl : degré de liberté, DPV : Durée de la phase végétative (jours), TRE : Teneur relative en eau (%), IC : Intégrité cellulaire (%), Chl : Teneur en chlorophylle (Spad), SF : Surface foliaire de la feuille étandard (cm²), PSF : poids spécifique foliaire (mg/cm²), CV général (%) : Coefficient de variation de l'essai (%). ns, *, ** : effets non significatifs et significatifs au seuil de probabilité de 5% et 1%, respectivement.

II.2. Etude des valeurs moyennes

Les valeurs extrêmes minimales et maximales des variables mesurées sont variables d'un caractère à un autre et d'une variété à une autre.

II.2.1. Durée de la phase végétative (DPV)

La durée de la phase végétative (DPV) oscille 108 jours, valeur minimale observée chez les variétés Anza (V3) et Anapo (V4), 123 jours, valeur maximale notée chez les variétés Almirante (V9), Radia (V23), Nadjia (V41), Pavon (V43), Zanzibar (V50) et Zidane (V51), soit un étendu de la durée de la phase végétative de 15 jours avec une moyenne générale de ce caractère de 116.53 jours (Tableau 3, Figure 2). Anza (V3) et Anapo (V4) sont alors les variétés les plus précoces alors que les autres variétés suscitées sont les plus tardives. La

moyenne générale des témoins est de 116.50 jours, valeur qui ne s'éloigne pas de la moyenne générale du caractère étudié.

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

Paramètres	DPV	TRE	IC	Chl	SF	PSF
Minimum	108.00	61.54	38.17	41.10	3.42	6.52
Maximum	123.00	97.77	88.45	56.30	9.23	9.48
Moyenne générale	116.53	79.99	64.05	49.54	5.59	7.89
Ecart-type	3.92	6.14	12.17	3.20	1.23	0.62
Moyenne des variétés	116.53	80.14	63.98	49.50	5.53	7.88
Moyenne de témoins	116.50	76.27	65.84	50.41	6.91	8.21

DPV : Durée de la phase végétative (jours), TRE : Teneur relative en eau (%), IC : Intégrité cellulaire (%), Chl : Teneur en chlorophylle (Spad), SF : Surface foliaire de la feuille étendard (cm²), PSF : poids spécifique foliaire (mg/cm²).

Relativement à la valeur moyenne de la DPV, les écarts enregistrés montrent que Vingt-huit variétés affichent des écarts négatifs (sens désiré de la sélection) dont le témoin Mawna (V38). Ceux les plus importants sont générés par les variétés Anza (V3) et Anapo (V4), et à moindre degré Akhamokh (V10), Ain El Hadjer (V11) et Salama (V28). D'autres variétés sont également intéressantes en termes de précocité et elles arrivent à épier avant le témoin le plus précoce (Mawna, V38). Ces variétés sont Acsad9 (V6), Boumerzoug (V15), Djemila (V17), Florence Aurore (V20), Resulton (V22), Rottokayo (V25) et Sidi Okba (V29). Toutes ces variétés dont la durée de la phase végétative est courte, portent les allèles de la précocité et peuvent être exploitées comme des géniteurs dans les programmes futurs d'amélioration pour réduire le cycle de développement de la céréale. Les autres variétés enregistrent des écarts positifs dont quinze sont plus tardives que le témoin le plus tardif Hidhab (V45) (Figure 1).

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 (Rabti *et al.*, 2020 ; Lamara *et al.*, 2022). La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement de la sécheresse de fin de cycle (Ben Naceur *et al.*, 1999). Ce mécanisme biologique pourrait être quantifié d'esquive puisque les génotypes précoces peuvent accomplir leur cycle en évitant ainsi la sécheresse terminale (Megherbi *et al.*, 2012). La précocité d'épiaison est efficacement utilisée comme critère de sélection pour améliorer les productions des zones sèches (Hannachi et Fellahi, 2023).

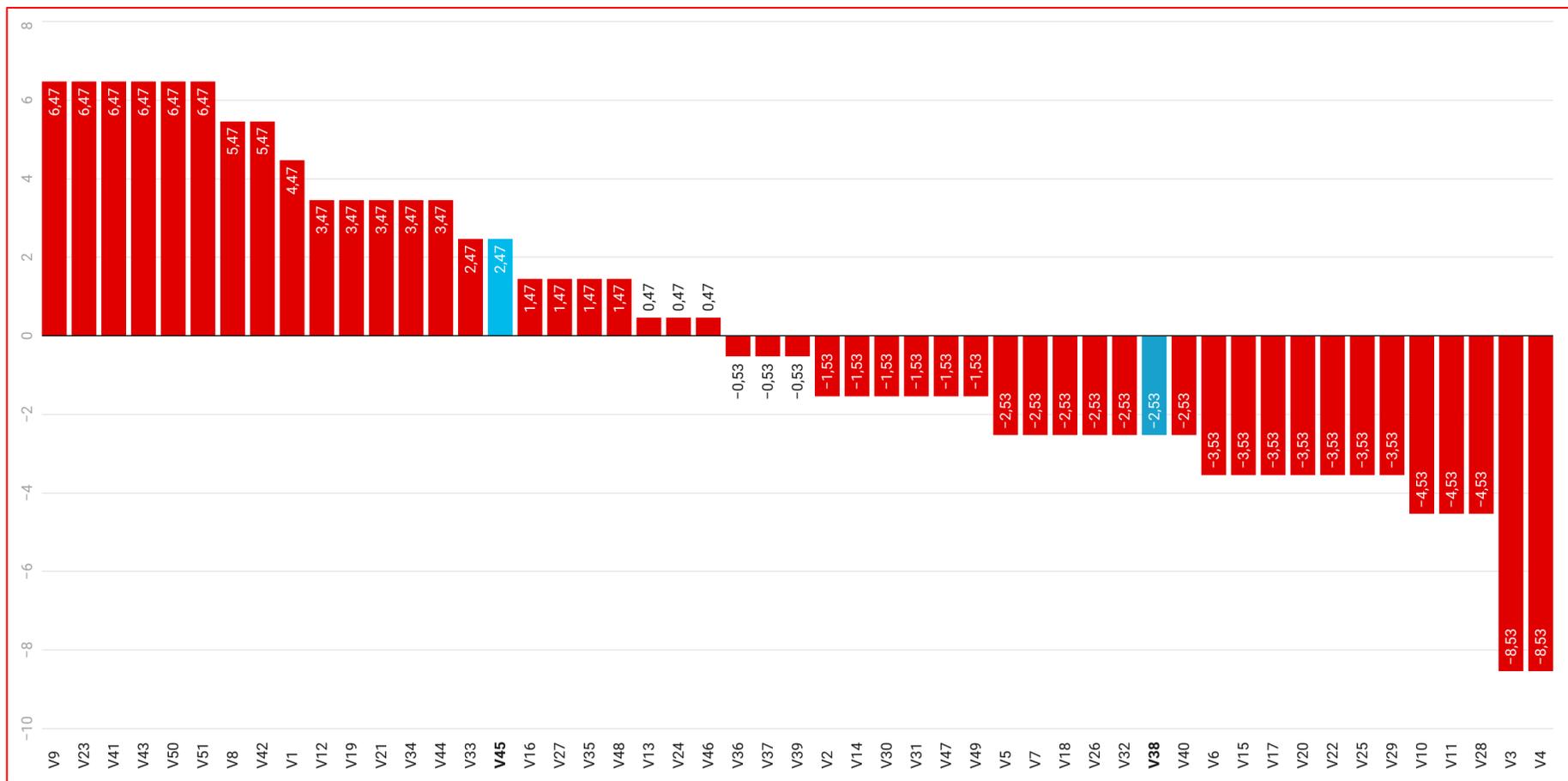


Figure 2 : Ecart des valeurs prises par la phase végétative (DPV, jours) des variétés étudiées par rapport à la moyenne générale du caractère.

II.2.2. Teneur relative en eau (TRE)

Les valeurs moyennes de la teneur relative en eau (TRE) variaient de 61.54%, valeur minimale mesurée chez la variété Zanzibar (V50) à 97.77%, valeur maximale notée chez la variété MB105 (V36) autour d'une moyenne générale de 80.14%. La moyenne de la TRE chez les témoins est de 76.27% (Tableau 3, Figure 3).

Relativement à la valeur moyenne générale de la TRE, les écarts enregistrés chez les variétés évaluées sont indiqués en Figure 3. En effet vingt-huit variétés affichent des écarts positifs dans le sens désiré de la sélection ; parmi elles, on trouve le témoin Hidhab (V45). Les écarts les plus marqués sont ceux générés en plus de MB105 (V36) par Pimada (V26), Alabonza (V8), Radia (V23), Wafia (48), Salama (V28), Andamo (V5), Ziad (V49) et Anapo (V4) en ordre décroissant (Figure 3). Ces variétés sont suggérées comme de futurs géniteurs pour accumuler les gènes de tolérance du stress hydrique, via la sélection, dans le matériel génétique destiné aux zones semi-arides. On remarque que la plupart des variétés à écarts positifs sont plus tolérantes que le meilleur témoin Hidhab (V45).

D'autre part, les variétés qui exhibent des écarts négatifs de la TRE, semblent plus sensibles au stress par rapport au témoin Mawna (V38). Ces génotypes sont par ordre décroissant de sensibilité Zanzibar (V50), Djanet (V16), Rottokayo (V25) et El Hembra (V19) (Figure 3).

La teneur relative en eau est un paramètre physiologique indicateur de la tolérance des espèces vis-à-vis du stress hydrique. Les variétés qui maintiennent des teneurs foliaires relatives en eau élevées sont considérées comme étant des tolérantes au stress hydrique (**Oulmi *et al.*, 2014**). Les génotypes qui maintiennent leur TRE élevée lors de stress hydrique seront probablement les plus tolérants et seront les plus productifs (**Sassi *et al.*, 2012**). En termes de sélection, la recherche d'une teneur relative en eau élevée est désirable. La diminution de la teneur relative en eau est plus rapide chez les variétés sensibles que les variétés résistantes (**Qayyum *et al.*, 2021**).

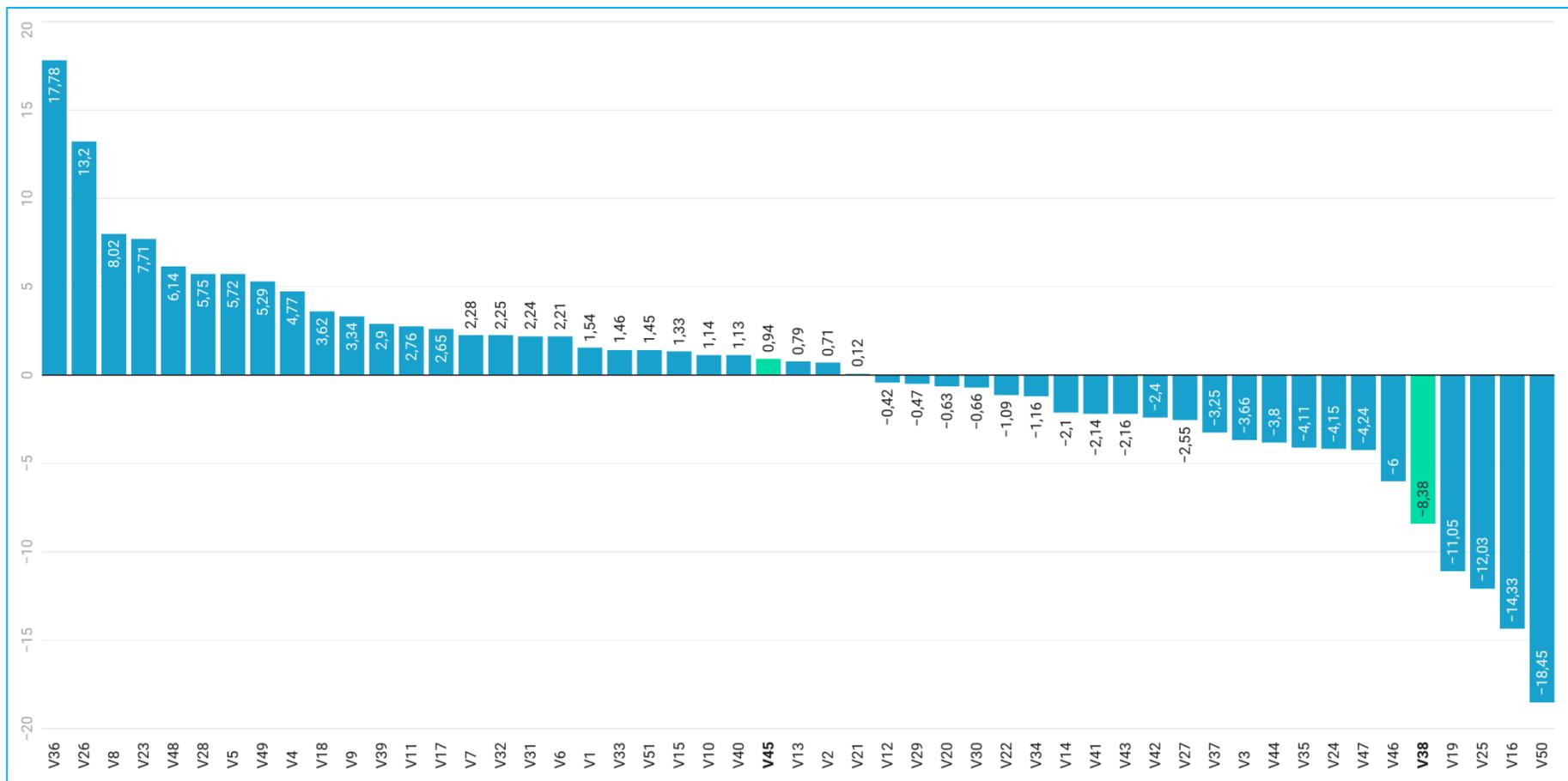


Figure 3 : Ecart des valeurs prises par la teneur relative en eau (TRE, %) des variétés étudiées par rapport à la moyenne générale du caractère.

II.2.3. Intégrité cellulaire (IC)

Les valeurs de l'intégrité cellulaire (IC) varient de 38.17% prise par la variété El Hambra (V19), à 88.45% notée chez la variété Ain Abid (V12), au tour d'une moyenne de 64.05%. Les témoins affichent une valeur moyenne légèrement plus élevée égale à 50.41% (Tableau 3, Figure 4). Relativement à la valeur moyenne de IC, les écarts enregistrés chez les variétés testées montrent que dix-neuf variétés exhibent des écarts négatifs dans sens désiré de la sélection. Ceux les plus attirants sont ceux observés par ordre décroissant chez El Hambra (V19), Arz (V1), Miniomt (V37), 7 Ceros (V46) et à moindre degré Andamo (V5) (Figure 4). Ces variétés sont les plus tolérantes, d'après ce caractère de criblage des génotypes en sélection pour la tolérance au stress thermique. Elles peuvent faire l'objet de futurs géniteurs pour améliorer la tolérance à ce stress abiotique dans les programmes de sélection aux zones semi-arides étant porteuses des gènes dits favorables. D'autre part Vingt-deux variété sont plus sensible que le témoin le plus sensible Hidhab (V45).

L'intégrité cellulaire est utilisée pour discriminer entre les génotypes tolérants et ceux qui sont sensibles au stress thermique. Elle donne une mesure de la quantité d'électrolytes qui s'échappent passivement de la cellule endommagée par le stress thermique (**Rabti, 2021**). La quantité d'électrolyte perdu par la cellule, est une mesure du degré de tolérance des hautes températures, plus cette valeur est élevée plus le génotype considéré est sensible (**Ibrahim et Quick, 2001 ; Pask et al., 2012**). Selon **Lefebvre et al. (2009)**, parmi les mécanismes qui peuvent intervenir dans le maintien de la turgescence cellulaire figure la résistance protoplasmique qui dépende de la capacité des cellules à résister à un dommage mécanique et à la dénaturation des protéines au niveau membranaire ou cytoplasmique. Une forte corrélation entre le pourcentage de dégâts cellulaires causés par le choc thermique et la réduction de la productivité des génotypes testés (**Khatoon et al., 2016**). Ceci suggère que la sélection sur la base d'un faible dommage cellulaire améliore significativement la résistance à la sécheresse.

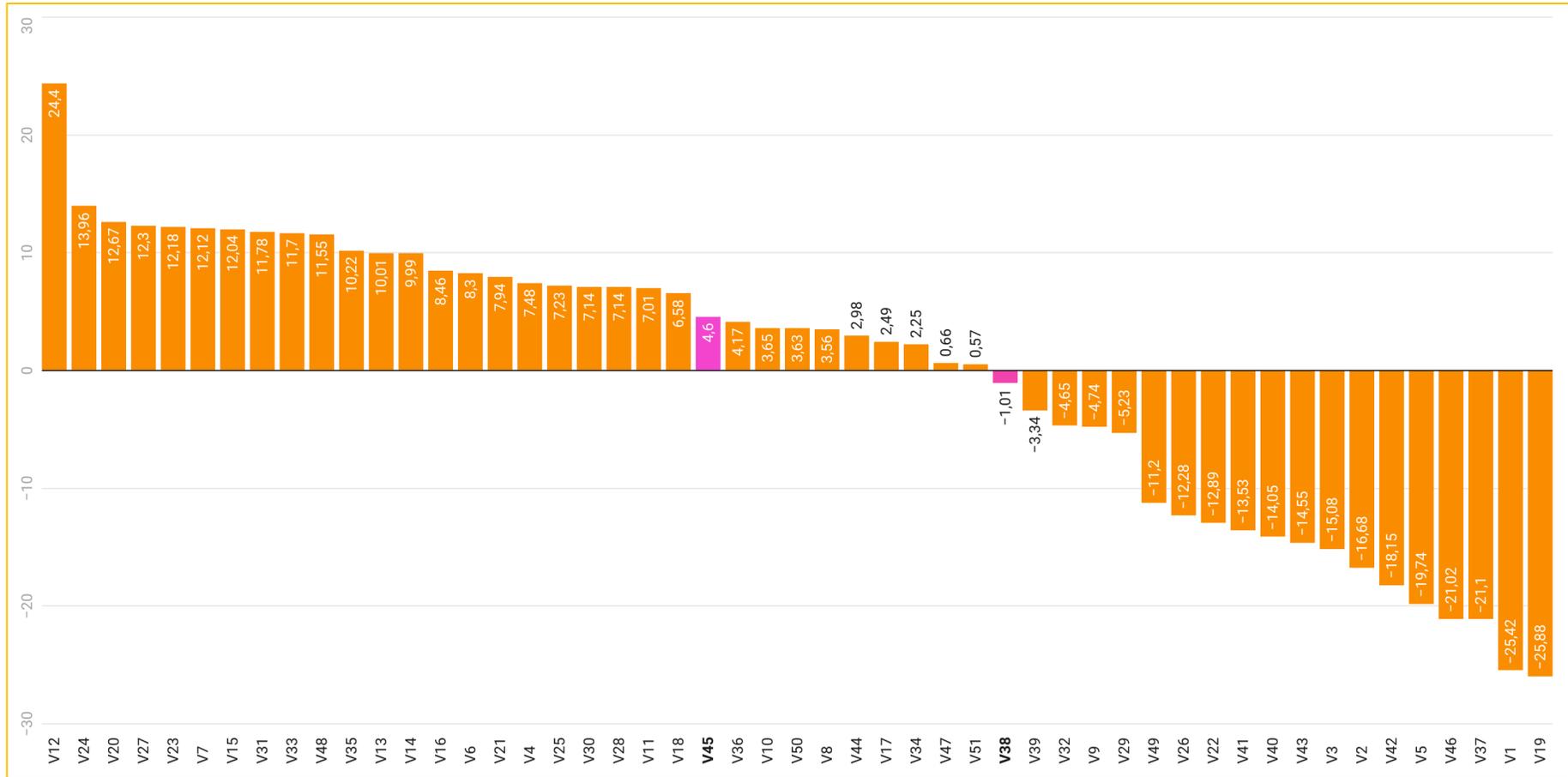


Figure 4 : Ecart des valeurs prises par l'intégrité cellulaire (IC, %) des variétés étudiées par rapport à la moyenne générale du caractère.

II.2.4. Teneur en chlorophylle des feuilles (Chl)

Les valeurs de la teneur en chlorophylle (Chl) varient de 41.10 Spad, valeur minimale prise par la variété Pimada (V26), à 56.30 Spad, valeur maximale prise par la variété El Hambra (V19), autour d'une moyenne de 49.50 Spad (Tableau 3, Figure 5). La moyenne observée chez les témoins de l'expérience est de 50.41 Spad (Tableau 3). Relativement à la valeur moyenne de Chl, les écarts enregistrés chez les variétés testées sont illustrés en Figure 5. En effet, vingt-six variétés affichent des écarts positifs dans le sens recherché de la sélection dont les deux témoins de l'expérience à savoir Mawna (V38) et Hidhab (V45). Ceux les plus importants sont ceux générés, en ordre décroissant, par les variétés Hambra (V19), Djmila (V17), Bonpain (V14), Anapo (V4) et Mexicana (V39). Les autres variétés restantes expriment, cependant, des écarts négatifs. Les variétés à teneur élevée en Chl peuvent être exploitées à des fins de sélection pour leurs capacités photosynthétiques élevées. Ces variétés assurent ainsi d'une part la collecte énergétique de photons et d'autre part la réduction de transporteurs d'électrons et aussi indique que les variétés sont tolérantes au stress hydrique.

Les différences observées dans la teneur en chlorophylle totale entre les différents génotypes peuvent être liées à leur tolérance au stress hydrique. Le stress hydrique peut avoir un impact sur la production et la dégradation de la chlorophylle, ce qui peut se refléter dans les niveaux mesurés de chlorophylle totale (Flexas *et al.*, 2006). D'après Siakhène (1984), l'augmentation des teneurs en chlorophylle totale est la conséquence de la réduction de la taille des cellules foliaires sous l'effet d'un stress hydrique qui engendre une plus grande concentration. D'autre part, Bousba *et al.* (2009), ont attribué la chute des teneurs en chlorophylle à la fermeture des stomates visant à limiter les pertes en eau de l'évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse. En effet, la quantité de chlorophylle dans les feuilles peut être influencée par plusieurs facteurs, tels que l'âge et la position des feuilles, ainsi que les conditions environnementales (lumière, température, disponibilité en eau, ...). Ces facteurs interagissent de manière complexe et peuvent varier selon les espèces végétales et les conditions environnementales spécifiques (Terashima *et al.*, 2009 ; Murchie *et al.*, 2011).

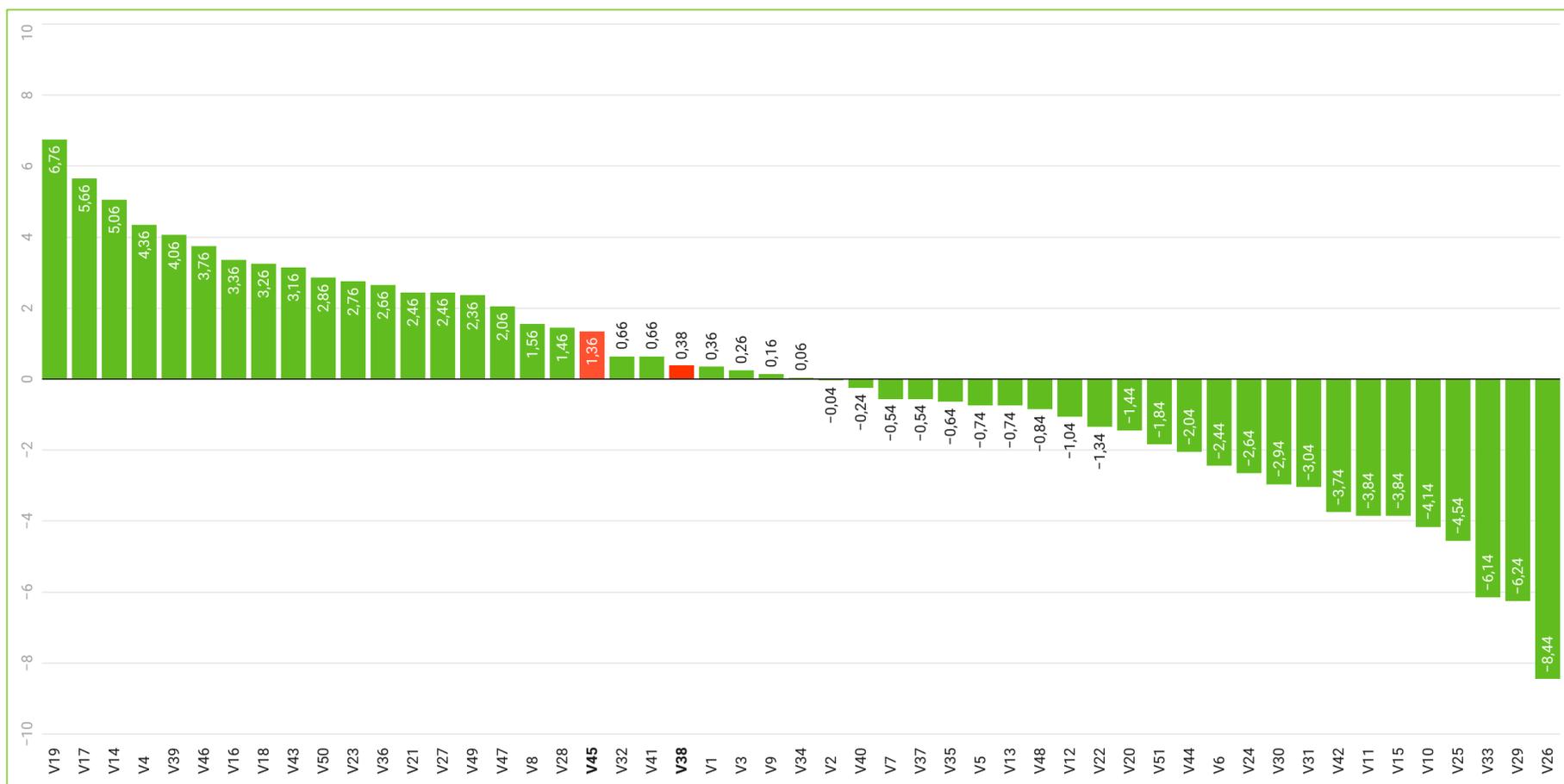


Figure 5 : Ecart des valeurs prises par la teneur en chlorophylle des feuilles (Chl, Spad) des variétés étudiées par rapport à la moyenne générale du caractère.

II.2.5. Surface foliaire de la feuille étandard (SF)

La surface de la feuille étandard (SF) la plus grande est notée chez la variété Arz (V1) avec un taux de 9.23 cm² contre 3.42 cm² noté chez la variété Orion (V42) (Tableau 3, Figure 6). La moyenne générale du caractère est de 5.59 cm² qui demeure légèrement inférieure à celle des témoins dont leur SF est de 6.91 cm² (Tableau 3). Relativement à la valeur moyenne de la SF, vingt-et-une variétés présentent des écarts positifs dont les deux témoins inclus dans l'essais. Les variétés les plus intéressantes ont présenté les écarts les plus importants ; en plus de Arz (V1) et des témoins, ces variétés sont Ain Abid (V12), Pimada (V26), Pavon (V43), Avento (V13), Sagitaria (V27). Ces variétés suggérées 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.

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. (**Lebon et al., 2004**). 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 élevée dans la plante (**Belhassen et al., 1995**). 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, elle contribue à la conservation des ressources en eau, ce qui permet la survie de la plante (**Lebon et al., 2004**). **Ali et al. (2022)** montré que 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. D'autre part, les variétés de blé étudiées qui se distinguent par les surfaces les plus élevées donnent un rendement en grains plus important (**Cherfia, 2010**). Selon (**Lefi et al., 2004**), une diminution de la surface foliaire peut affecter le rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique.



Figure 6 : Ecart des valeurs prises par la surface foliaire de la feuille étendue (SF, cm²) des variétés étudiées par rapport à la moyenne générale du caractère.

II.2.6. Poids spécifique foliaire (PSF)

Les valeurs de poids spécifique foliaire varient de 6.52 mg/cm², valeur minimale prise par la variété Ain Abid (V12), à 9.48 mg/cm², valeur maximale prise par la variété Salama (V28) autour d'une moyenne générale de 7.89 mg/cm² et une moyenne des témoins un peu plus élevée égale à 8.21 mg/cm² (Tableau 3, Figure 7). Relativement à la valeur moyenne du PSF, les écarts enregistrés chez les variétés étudiées montrent que vingt-quatre variétés affichent des écarts positifs dans le sens désiré de la sélection pour ce caractère dont Mawna (38) et Hidhab (45). En effet, les écarts les plus importants ceux générés par les variétés Salama (V28), Zidane (V51), Arz (V1), Florence Aurore (V20) et Akhamokh (V10) par ordre décroissant. Ces variétés dépassent largement de par le PSF la moyenne du meilleur témoin (Figure 7).

Le poids spécifique foliaire est un des marqueurs importants dans la réponse des plantes à la contrainte hydrique et peut être considéré comme un critère simple de sélection de génotypes présentant une efficacité élevée de l'utilisation de l'eau en conditions de déficit hydrique (**Amanullah, 2015**). Un poids spécifique foliaire élevé est indicateur d'une meilleure nutrition azotée et d'une épaisseur foliaire plus importante. Le poids spécifique peut également être utilisé comme un indice de production de paille (**Belkharchouche et al., 2009**). En comparaison avec les résultats de **Arras et Ben Ahmed (2017)**, l'ordre de classement des variétés étudiées a complètement changé indiquant que le poids spécifique foliaire est fortement influencé par la variation du milieu.

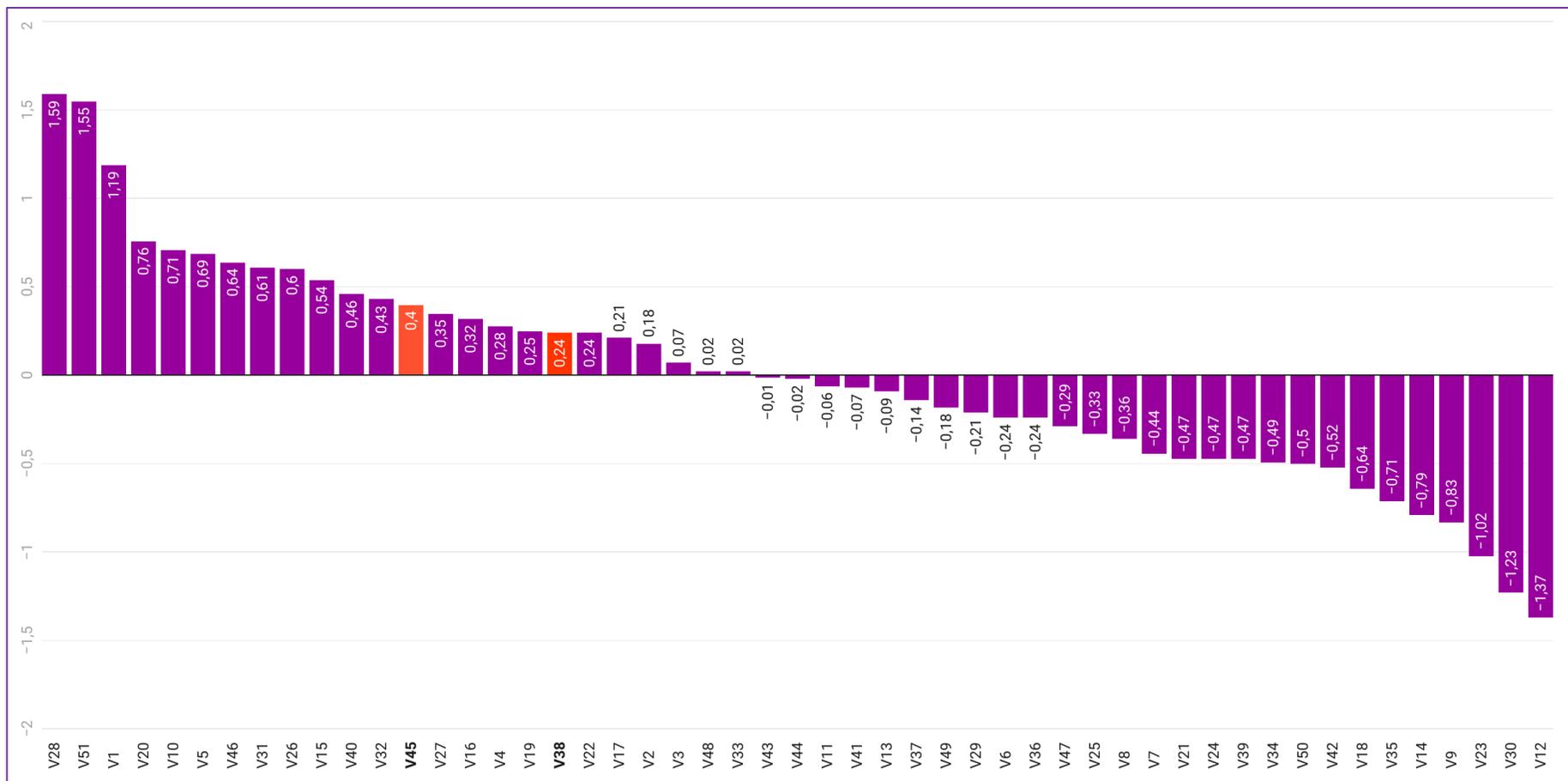


Figure 7 : Ecart des valeurs prises par le poids spécifique foliaire (PSF, mg/cm²) des variétés étudiées par rapport à la moyenne générale du caractère.

II.3. Corrélations des caractères mesurés

L'étude des corrélations inter-caractères indique que l'intégrité cellulaire (IC) est négativement et significativement corrélée avec le poids spécifique foliaire (PSF) (Figure 7). Ces résultats suggèrent que plus les valeurs du poids spécifique foliaire sont élevées, plus les dommages cellulaires induits par le stress abiotique sont moins importants. Ces résultats sont en accord avec ceux de **Reynolds *et al.* (2007)**, **Tardieu et Tuberosa (2010)** et **Farooq *et al.* (2011)**.

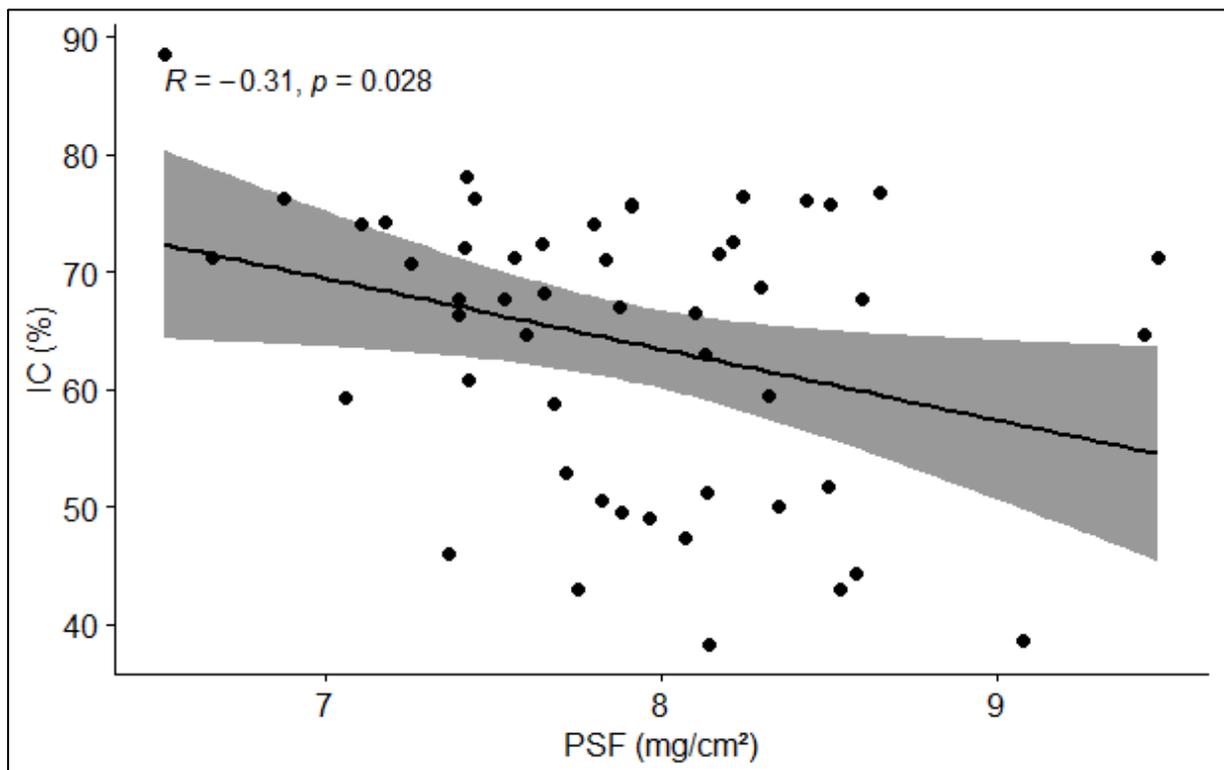


Figure 8 : Régression de l'intégrité cellulaire sur le poids spécifique foliaire des variétés de blé évaluées.

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

La rentabilité de 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** ; **Salmi *et al.*, 2019**). Les paramètres génétiques et non-génétiques des caractères mesurés chez les variétés de blé sont donnés dans le tableau 4. Les valeurs prises par le coefficient de variation génotypique varient de 82.45% pour la teneur relative en eau à 91.5% pour la teneur en chlorophylle. Ceux qui caractérisent le coefficient de détermination génotypique ou héritabilité au sens large oscillent entre 0.81 pour la teneur relative en eau à

01.00 pour la durée de la phase végétative. En général, le ratio CV_g/CV_e est supérieur à l'unité pour l'ensemble des caractères. Ces résultats suggèrent le peu d'influence de l'environnement sur l'expression de ces caractères dans la présente expérience.

Tableau 4 : Paramètres génétiques et non-génétiques des caractères mesurés.

Paramètres	DPV	TRE	IC	Chl	SF	PSF
σ_p^2	3398.43	1725.60	1136.22	601.61	9.73	16.22
σ_g^2	3398.18	1400.20	1016.66	600.55	8.12	15.75
σ_e^2	0.25	325.40	120.00	1.06	1.61	0.46
h^2_{sl}	01.00	0.81	0.89	0.99	0.83	0.97
CV_g (%)	91.32	82.45	89.54	91.50	87.29	90.71
CV_g/CV_e	116.59	2.07	2.92	23.75	2.25	5.83

DPV : Durée de la phase végétative (jours), TRE : Teneur relative en eau (%), IC : Intégrité cellulaire (%), Chl : Teneur en chlorophylle (Spad), SF : Surface foliaire de la feuille étendard (cm²), PSF : poids spécifique foliaire (mg/cm²), 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.

L'héritabilité au sens large est un concept utilisé en génétique et en sélection des plantes pour évaluer la part de la variabilité génétique dans la variabilité phénotypique d'un trait. Elle est définie comme la proportion de la variance phénotypique qui est attribuable à la variance génétique (Acquaah, 2012). L'héritabilité au sens large est un indicateur important pour prédire la réponse à la sélection. Plus un caractère est héritable, c'est-à-dire que sa variabilité est principalement attribuée à des facteurs génétiques, plus il est possible d'obtenir des gains génétiques importants par sélection. En effet, une plus grande part de la variabilité phénotypique est due à des différences génétiques, ce qui signifie qu'une sélection ciblée sur les individus ayant les meilleures valeurs phénotypiques pour ce trait permettra d'obtenir une amélioration plus rapide de la moyenne de la population (Falconer et Mackay, 1996). L'héritabilité au sens large peut varier en fonction des traits et des populations étudiées. Certains traits ont une héritabilité élevée, ce qui signifie que la variabilité génétique joue un rôle prédominant dans leur expression phénotypique. En revanche, d'autres traits peuvent avoir une héritabilité faible, ce qui indique que leur variabilité phénotypique est principalement influencée par des facteurs environnementaux (Hallauer *et al.*, 2010).

II.5.3. Classification multivariée des variétés de blé étudiées

La classification hiérarchique multivariée sur la base de caractères mesurés montre que les variétés évaluées se répartissent en trois groupes distincts (Figure 9). Le premier groupe (G1) est formé des variétés V1, V2, V3, V5, V19, V22, V26, V37, V40, V41, V42, V43, V46

et V49. Le deuxième groupe (G2) est représenté par les témoins Mawna (V38) et Hidhab (V45) ainsi que les variétés V8, V9, V17, V21, V23, V29, V32, V34, V36, V39, V44, V47 et V51. Les variétés restantes constituent le troisième groupe (G3) le plus large.

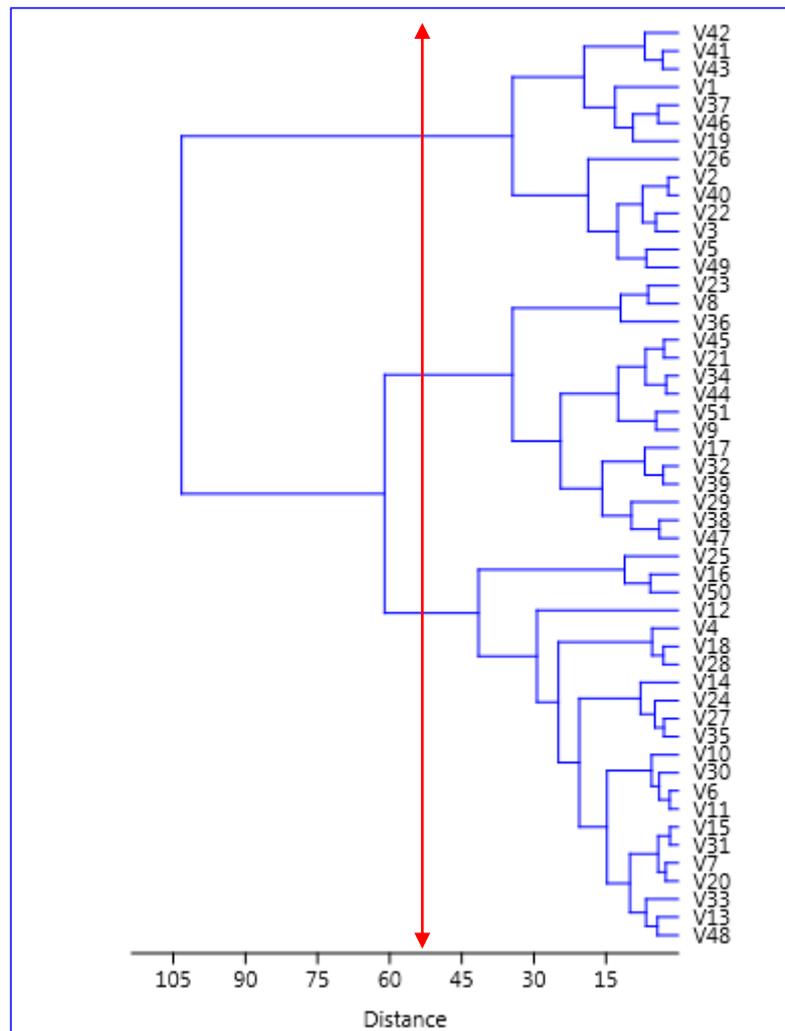


Figure 9 : Classification des génotypes de blé étudiés sur la base des caractères mesurés.

Les caractéristiques de chaque groupe sont illustrées en figure 10. Les variétés du premier groupe (G1) se différencient des autres variétés par leur surface foliaire la plus large, leur poids spécifique foliolaire le plus important et leur tolérance au stress thermique (IC faible). Les variétés du second groupe (G2) se caractérisent par leur cycle végétatif le plus long, les teneurs relatives en eau et en chlorophylle dans leurs feuilles les plus élevées. Les variétés du troisième groupe (G3) se différencient des autres variétés par leurs cycle végétative le plus court, les teneurs en eau et en chlorophylle dans leurs feuilles les plus faibles et leurs feuilles à taille réduite. Elles se caractérisent aussi, relativement aux autres

variétés des groupes G1 et G2, par leur sensibilité au stress thermique de fin de cycle comme indiqué par le taux moyen de l'intégrité cellulaire en figure 10.

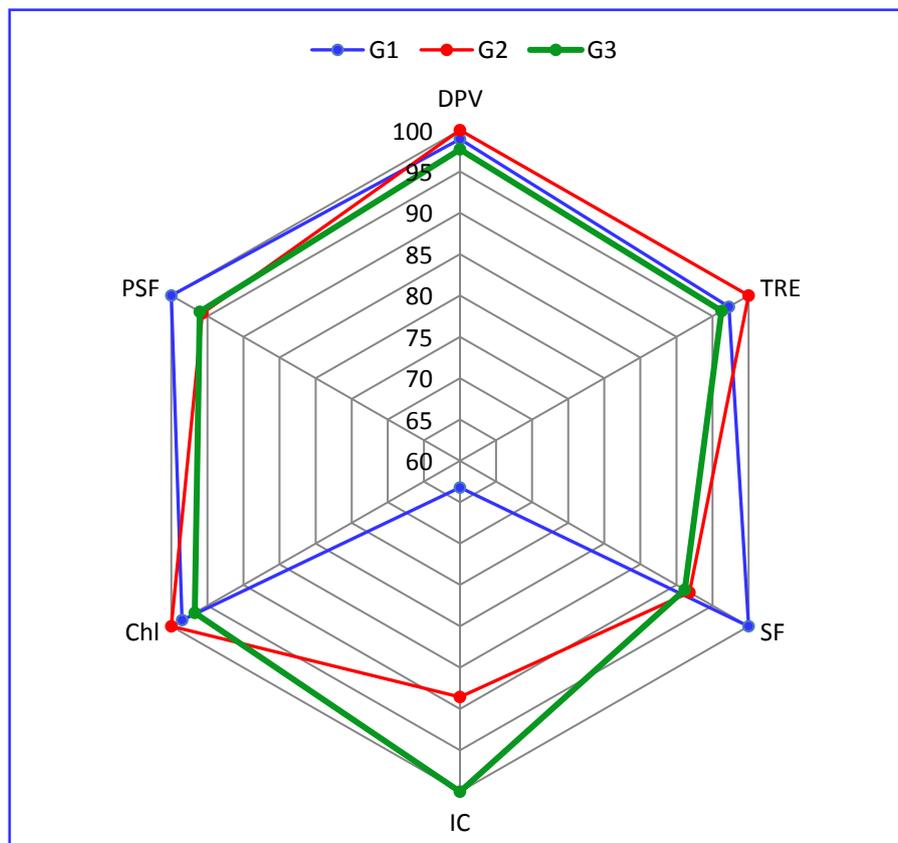


Figure 10 : Caractéristiques des trois groupes de variétés de blé identifiés.

Conclusión

Conclusion

Le but de ce travail est basé sur l'étude de la variabilité phénotypique des caractères liés à la tolérance des stress abiotiques, dont le stress hydrique et le stress thermique chez une collection de blé tendre d'origines différentes. Les résultats de cette étude indiquent la présence d'une variabilité génétique appréciable à l'intérieur du matériel végétal évalué de comme indiqué par l'effet significatif à hautement significatif de l'analyse de la variance pour l'ensemble des caractères évalués. Ces résultats suggèrent la possibilité d'exploitation de cette variabilité à des fins de sélection en faveur de l'amélioration du rendement sous conditions contraignantes des environnements semi-arides. Les valeurs extrêmes minimales et maximales des caractères mesurés sont variables d'une variété à une autre et d'un caractère à un autre indiquant la difficulté de combiner toutes les caractéristiques recherchées dans le même fond génétique.

Anza (V4) et Anapo (V4) sont les variétés les plus précoces alors que Almirante (V9), Radia (V23), Nadjia (V41), Pavon (V43), Zanzibar (V50) et Zidane (V51) sont les plus tardives. MB105 (V36) est la plus tolérante au stress hydrique avec la teneur relative en eau la plus élevée alors que Zanzibar (V50) est la plus sensible de par cette caractéristique. La variété El Hembra (V19) est la plus tolérante au stress thermique avec une intégrité cellulaire (IC) la plus faible, par contre Ain Abid (V12) est celle la plus sensible à ce stress abiotique. El Hembra (V19) contient aussi la teneur en chlorophylle la plus importante au moment où Pimada (V26) présente la quantité la plus importante. La surface de la feuille étandard (SF) la plus large est notée chez la variété Arz (V1), celle la plus réduite est notée chez Orion (V42). Le poids spécifique foliaire (PSF) le plus faible est remarqué chez Ain Abid (V12), celui le plus élevé est pris par Salama (V28).

L'analyse des corrélations entre les caractères mesurés montre que seul le poids spécifique foliaire (PSF) présente une corrélation négative et significative avec l'intégrité cellulaire (IC). Ceci indique que les variétés à PSF élevé subissent moins de dommages cellulaires induits par le stress thermique

La valeurs prises par le degré de détermination génotypique au sens large demeurent élevées pour l'ensemble des caractères mesuré suggérant moins d'influence de l'environnement dans leur expression. Ceci est consolidé par les valeurs du ratio CV_g/CV_e qui a présenté des valeurs supérieures à l'unité.

La classification hiérarchique sur la base de l'ensemble des caractères mesurés indique que les 51 variétés évaluées se répartissent en trois groupes qui divergent surtout pour l'intégrité cellulaire et la surface foliaire de la feuille étandard. Le premier groupe (G1) est celui des variétés à feuilles larges, poids spécifique élevé et à une bonne tolérance au stress thermique. Le second groupe (G2) est celui des variétés tardives et tolérantes au stress hydrique avec des teneurs en chlorophylle élevées. Le troisième groupe (G3) représente les variétés précoces, sensibles aux stress hydrique et thermique et à teneur en chlorophylle faible dans leurs feuilles à taille réduite.

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 d'étaler l'étude sur d'autres caractères (rendement, stabilité, ...), analyser la réponse sur plusieurs environnements (interaction génotype \times milieu) et incorporer les outils de la biotechnologie pour identifier les gènes responsables de l'expression des caractères ciblés par la sélection.

*Références
Bibliographiques*

Références bibliographiques

- Acquaah, G. (2012).** Principles of plant genetics and breeding. John Wiley & Sons, Ltd.
- 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.
- 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.
- Ammar, M. (2015).** Organisation de la chaîne logistique dans la filière céréales en Algérie états des lieux et perspective. Thèse de doctorat de CIHEAM Montpellier, pp : 17-20.
- Arras, I., & Ben Ahmed, M. (2017).** Etude de la variabilité génétique de quelques paramètres d'adaptation du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous régime pluviométrique semi-aride. Mémoire Master, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département des Sciences Biologiques, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimy, BBA.
- Bachiri, H., Djebbar, R., Mekliche, A., Djenadi, C., & Ghanim, A. M. A. (2018).** Carbon isotope discrimination as physiological marker to select tolerant wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) under water limited conditions. *American Journal of Plant Physiology*, **13**, 1-7.
- 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.
- Bekki, S., Benmehaia, A. M., & Kaci, A. (2022).** assessment of the regulation policy of grain price in Algeria: an analytical study. Papier présenté au Colloque National sur la Financiarisation du Marche Mondial des matières premières : quels impacts sur les prix des produits de consommation en Algérie. Université de Tizi Ouzou, Algérie, 17-18 Mai 2022.
- 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 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *Courrier du savoir*, **9**, 17-24.
- Ben Naceur, M., Nailly, M., & Selmi, M. (1999).** Effet d'un déficit hydrique, survenant à différents stades de développement du blé, sur l'humidité du sol, la physiologie de la plante et sur les composantes du rendement. *MEDIT*, **2**, 53-60.
- 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 Ibrahimy - Bordj Bou Arreridj, Algeria.
- Berka, S., & Aïd, F. (2009).** Réponses physiologiques des plants d'*Argania Spinosa* (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. *Sécheresse*, **20**(3), 296-302.

- Bousba, R., Ykhlef, N., & Djekoun, A. (2009).** Efficacité d'utilisation de l'eau et photosynthèse des feuilles plates en réponse au déficit hydrique du blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Revue Mondiale Des Sciences Agricoles*, **5**(5), 609-616.
- 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**, 584-860.
- 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. (2013).** GENES – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative. *Acta Scientiarum. Agronomy*, **35**(3), 271-276.
- Douici khalfi, A., Bachir, A., Mehenni, A., Zelti, A., Bouchata, k., Benarbia, N., Boukhenaf, S., Douha, A., Assous, K., Madani, M., & Benlakehal, Z. (2019).** Guide des variétés des céréales nouvellement inscrites en Algérie. Edition ITGC 2019. 40 p.
- Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (1996).** Introduction to Quantitative Genetics (4th ed.). Pearson Education.
- FAO (2019).** Food and Agriculture Organization of the United Nations. Cereal Crops. Récupéré de : <http://www.fao.org/cereals/en/>
- Farooq, M., Bramley, H., Palta, J. A., & Siddique, K. H. (2011).** Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. *Critical Reviews in Plant Sciences*, **30**(6), 491-507.
- Federer, H. (1958).** A note the Gauss-Green theorem, proceedings of the American mathematical society, **9**(3), 447-451.
- Fellahi, Z., Hannachi, A., Bouzerzour, H., & Boutekrabt, A. (2013).** Line × tester mating design analysis for grain yield and yield related traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Agronomy*, Volume 2013, Article ID201851, 9 pages.
- Fellahi, Z., Hannachi, A., Guendouz, A., Bouzerzour, H., & Boutekrabt, A. (2013).** Genetic Variability, Heritability and association studies in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Electronic Journal of Plant Breeding*, **4**(2), 1161-1166.
- 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.
- Flexas, J., Bota, J., Galmés, J., Medrano, H., & Ribas-Carbo, M. (2006).** Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiologia Plantarum*, **127**(3), 343-352.

Ganesan, A. R., & Rajauria, G. (2020). Cereal-Based Animal Feed Products. *Innovative Processing Technologies for Healthy Grains*, 199-226.

Haddad, L., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Zerargoui, H., Hannachi, A., Bachir, A., Salmi, M., Oulmi, A., Fellahi, Z., Nouar, H., & Laala, Z., (2016). Analysis of Genotype × Environment Interaction for Grain Yield in Early and Late Sowing Date on durum wheat (*Triticum durum* Desf.) Genotypes. *Jordan Journal of Biological Sciences*, **9**(3), 139-146.

Haddad, L., Bachir, A., Ykhelef, N., Benmahammed, 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.

Hallauer, A. R., Carena, M. J., & Miranda Filho, J. B. (2010). Quantitative Genetics in Maize Breeding (3rd ed.). Springer Science & Business Media.

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.

Hannachi, A., Fellahi, Z., Bouzerzour, H., & Boutekrabt, A. (2013). 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. (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.

Ibrahim, A. M., & Quick, J. S. (2001). Heritability of heat Tolerance in winter and spring wheat. *Crop Science*, **41**, 1401-1405.

IGC. (2022). International Grains Council. Récupéré sur : <https://www.igc.int/en/default.aspx>

INRAA. (2006). Deuxième rapport national sur l'état des ressources phylogénétique pour l'alimentation et l'agriculture, pp : 12-17.

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.

Lebon, E., Pellegrino, A., Tardieu, F., & Lecoeur, J. (2004). Shoot development in grapevine (*Vitis vinifera*) is affected by the modular branching pattern of the stem and intra-and inter-shoot trophic competition. *Annals of Botany*, **93**(3), 263-274.

Lefebvre, V., Poormohammad Kiani, S., & Durant-Tardif, M. (2009). A focus on natural variation for abiotic constraints response in a model species *Arabidopsis thaliana*. *International Journal of Molecular Sciences*, **10**(8), 3547-3582.

- 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 citrine*. *Annals of Applied Biology*, **144**, 176-196.
- Lopes, M. S., Reynolds, M. P., Jalal-kamali, M. R., Moussa, K. S., Feltaous, M. Y., Tahir, I. S. A., Barma, N., Vargas, Mames, M. Y. & Banm, M. (2012).** The yield correlations of selectable physiological traits in a population of advanced spring wheat lines grown in warm and drought environments. *Field Crops Research*, **128**, 129-136.
- MADR. (2019).** Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Programme National de Développement Agricole et Rural 2020-2024.
- 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.
- Mekaoussi, R., Rabti, A., Fellahi, Z., Hannachi, A., Benmahammed, A., & Bouzerzour, H. (2021).** Evaluation des génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en fonction de leurs caractéristiques agrophysiologiques et des indices de tolérance au stress. *Acta Agriculturae Slovenica*, **117**(2), 1-16.
- Murchie, E. H., & Niyogi, K. K. (2011).** Manipulation of photoprotection to improve plant photosynthesis. *Plant Physiology*, **155**(1), 86-92.
- Oulmi, A., Benmahammed, A., Laala, Z., Ajabi, A., Bouzerzour, H. (2014).** Phenotypic variability and relations between the morpho-physiological traits of three F5 populations of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) evaluated under semi-arid conditions. *Advances in Environmental Biology*, **8**, 436-444.
- Padilla-Torres, C. V., Heredia-Olea, E., Serna-Saldívar, S. O., & López-Ahumada, G. A. (2022).** Potential of bread wheat (*Triticum aestivum*) affected by the yellow-berry physiological disorder for the production of brewing malts. *Journal of Cereal Science*, **107**, 103499.
- 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.
- Poutanen, K. S., Karlund, A. O., Gomez-Gallego, C., Johansson, D. P., Scheers, N., Hanhineva, K. J., Kolehmainen, M., & Landberg, R. (2022).** Grains – a major source of sustainable protein for health. *Nutrition reviews*, **80**(6), 1648-1663.
- 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.
- Rabbi, M. F., Ben Hassen, T., El Bilali, H., Raheem, D., & Raposo, A. (2023).** Food Security Challenges in Europe in the Context of the Prolonged Russian–Ukrainian Conflict. *Sustainability*, **15**(6), 4745.
- 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, M. P., Pierre, C. S., Saad, A. S., Vargas, M., Condon, A. G., & Acevedo, E. (2007). Selection for increased grain number and yield in wheat: I. Grain yield, kernel weight, and water use efficiency. *Crop Science*, **47**(3), 1226-1237.

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.

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.

Sarkar, S., Islam, A. A., Barma, N. C. D., & Ahmed, J. U. (2021). Tolerance mechanisms for breeding wheat against heat stress: A review. *South African Journal of Botany*, **138**, 262-277.

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.

Sindhu, R., & Khatkar, B. S. (2021). Recent Trends in Technologies of Cereal Based Food Products. In *Advances in Cereals Processing Technologies* (pp. 109-130). CRC Press.

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.

Tardieu, F., & Tuberosa, R. (2010). Dissection and modelling of abiotic stress tolerance in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, **13**(2), 206-212.

Terashima, I., Fujita, T., Inoue, T., Chow, W. S., & Oguchi, R. (2009). Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: revisiting the enigmatic question of why leaves are green. *Plant & Cell Physiology*, **50**(4), 684-697.

Xynias, I. N., Mlyonas, I., Korpētis, E. G., Ninou, E., Tsablla, A., Avdikos, I. D., & Mavromatis, A. G. (2020). Durum Wheat Breeding in the Mediterranean Region: Current Status and Future Prospects. *Agronomy*, **10**, 432.

Résumé

La présente étude a été menée au niveau du site expérimental de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC-Sétif) au cours de la campagne agricole 2022/2023 avec comme objectif d'analyser la variabilité phénotypique, vis-à-vis de la tolérance au stress abiotiques, d'une collection constituée de variétés nouvelles et anciennes de blé tendre évaluée sous conditions pédoclimatiques des zones semi-arides d'altitude. L'essai est conduit dans un dispositif expérimental augmenté. Les résultats indiquent la présence de la variabilité phénotypique pour l'ensemble des caractères mesurés, qui représentent la phénologie, la morphologie, la tolérance des stress abiotiques. Les valeurs minimales et maximales des variables mesurées sont variables selon la variété testée. L'héritabilité et le ratio CV_g/CV_e suggèrent le peu d'influence de l'environnement dans l'expression des caractères mesurés. L'intégrité cellulaire est négativement et significativement corrélée au poids spécifique foliaire. La classification hiérarchique répartie les 51 variétés étudiées en trois groupes divergents. Le 1^{er} groupe (G1) est formé des variétés à feuilles larges à poids spécifique élevé avec une meilleure tolérance au stress thermique. Le 2^{ème} groupe (G2) est constitué des variétés tardives avec une teneur en chlorophylle élevée et une bonne tolérance au stress hydrique. Le 3^{ème} groupe (G3) représente les variétés précoces à feuilles de faible taille et teneur en chlorophylle faible avec une sensibilité marquée aux stress hydrique et thermique. Les variétés porteuses des gènes de tolérance au stress pourraient être utiles et mis à la disposition des sélectionneurs à des fins de sélection pour l'amélioration du blé tendre en zone semi-aride.

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

Abstract

This study was carried out at the experimental site of the Technical Institute for Field Crops (ITGC-Sétif) during the 2022/2023 crop season with the objective of analyzing the phenotypic variability, with respect to tolerance to abiotic stress, of a collection made up of new and old varieties of bread wheat evaluated under pedoclimatic conditions of semi-arid high-altitude zones. The experiment was conducted in an augmented experimental design. The results indicate the presence of phenotypic variability for all the traits measured, which represent the phenology, morphology, and tolerance to abiotic stresses. The minimum and maximum values of the variables measured vary according to the variety tested. Heritability and the CV_g/CV_e ratio suggest little influence of the environment in the expression of the traits measured. Cell integrity is negatively and significantly correlated with leaf specific weight. The hierarchical classification divided the 51 varieties studied into three divergent groups. The 1st group (G1) is made up of broad-leaved varieties with a high specific weight and better tolerance to heat stress. The 2nd group (G2) consisted of late varieties with a high chlorophyll content in leaves and good tolerance to water stress. The 3rd group (G3) represents the early varieties with small leaves and low chlorophyll content with marked sensitivity to drought and heat stresses. Varieties carrying stress tolerance genes could be useful and made available to breeders for selection purposes for the improvement of bread wheat in semi-arid regions.

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

ملخص

أجريت هذه الدراسة في الموقع التجريبي للمعهد التقني للمحاصيل الحقلية (ITGC-سطين) خلال الموسم الفلاحي 2023/2022 بهدف تحليل كفاءة التباين الظاهري، فيما يتعلق بتصريف مجموعة مكونة من أصناف جديدة وقديمة من القمح اللين مع الإجهاد اللاحيوي، تم تقييمها في ظل ظروف مناخية المرتفعة شبه القاحلة. أجريت التجربة في تصميم تجريبي متصاعد. تشير النتائج إلى وجود تباين مذهري لجميع الصفات المقاسة، والتي تمثل دورة حياة النبات، المورفولوجيا، تحمل الإجهادات اللاحيوية. اختلفت القيم الدنيا والقصى للمتغيرات المقاسة وفقاً للصفة الذي تم اختياره. بينت معامل درجة التوريث ونسبة CV_g/CV_e بتأثير ضئيل للبيئة في التعبير عن السمات المدروسة. ارتبطت سلامة الخلية سلباً وبشكل ملحوظ بالوزن النوعي للورقة. قسم التصنيف الهرمي الـ 51 صنفا المدروسة إلى ثلاث مجموعات متباينة. تتكون المجموعة الأولى (G1) من أصناف عريضة الأوراق ذات وزن نوعي عالي وتحمل أفضل للإجهاد الحراري. تحتوي المجموعة الثانية (G2) على أصناف متأخرة عند الاسبال، ذات نسبة عالية من الكلوروفيل في الأوراق وتحمل جيد للإجهاد المائي. تمثل المجموعة الثالثة (G3) الأصناف المبكرة عند الاسبال، ذات الأوراق الصغيرة ومحتوى الكلوروفيل المنخفض مع حساسية ملحوظة للإجهاد المائي والحراري. يمكن أن استخدام الأصناف التي تحمل جينات تحمل الإجهاد مفيدة ومتاحة للمربين لأعراض الانتقاء لتحسين القمح اللين في المناطق شبه القاحلة.

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