



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

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض 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 : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Amélioration des plantes

Intitulé

**Analyse de la variabilité de la tolérance du blé tendre
(*Triticum aestivum* L.) au stress hydrique**

Présenté par : HADDADENE Khawla
AMARI Rania

Soutenu le : 16/09/2021 ;

Devant le jury :

Président :	M ^r OULD KIAR Redha	MAA
Encadrant :	M ^r FELLAHI Zine El Abidine	MCA
Examineur :	M ^r BELGUERRI Hamza	MCB

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Tout d'abord, grâce à Allah qui nous a créé, nous a protégé, qui nous a donné le courage qui est toujours avec nous qu'il ne nous laisse jamais seules.

*Nous voudrions remercier du fond du cœur notre encadrant Dr **FELLAHI Zine El Abidine**, qui a encadré cette étude au quotidien. Pour tous ses efforts et son soutien, pour ses conseils utiles et sa gentillesse, sa confiance et ses encouragements. Et pour ses appréciations sur ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos reconnaissances, remerciements et nos profonds respects aux membres de jury, Mr **OULD KIAR Redha** et Dr **BELGUERRI Hamza** qui nous ont fait l'honneur d'évaluer et de juger notre modeste travail.*

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

*Nous adressons également nos remerciements à l'ensemble des cadres de l'INRAA de Sétif et en particulier Mr **HANNACHI Abderrahmane** pour son appui et sa collaboration, avec beaucoup de dévouement pour la perfection de cette étude.*

*Sans oublier bien sûr **Sara** et **Khaoula** de l'INRAA, pour leur soutien et leur aide durant la période du stage.*

*Un grand remerciement à M^{elle} **Lamara Asma** pour le bout de chemin que nous avons fait ensemble.*

Enfin, merci à tous ceux qui ont rendu possible ce travail, et même s'ils ne se retrouvent pas dans cette petite liste, ils sont dans nos pensées.

DEDICACES

Je dédie ce travail à

A mes chers parents

***Mon cher père** pour leur encouragement et pour leur énorme sacrifice durant mes années d'études.*

***Ma belle mère** la lumière de mes yeux, source de ma joie et mon courage.*

Merci d'être tout simplement mes parents.

*A mes frères **Farid** et **Sadame** pour leur confiance et aide.*

*A mes belles sœurs **Samra**, **Sabrina**, **Narimane** et **Salsabile** pour leurs encouragements et conseils.*

A la femme de mon frère.

*A mes anges **Zino**, **Louay**, **Khalil**, **Youcef**, **Fares**, **Laythe** et **Zakariya**.*

*A la fleur de la famille « **Alaa** ».*

*A mes amies de la promotion (**Amélioration des plantes 2020-2021**), particulièrement **Haoua**, **Maroua**, **Maroua**, **Zahra**, **Imane**, **Somia**, **Sabrina** et **Kanza**.*

*A mon binôme **Rania**.*

*A mes belles amies **Saloua**, **Siham**, **Khaoula**, **Nawal**, **Besma**, **Loubna** et **Souhila**.*

Et enfin à moi-même.

Khawla

Dédicaces

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

À mon cher père,

À ma chère mère,

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, et qui m'ont toujours poussé et motivé dans mes études, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs. Mes amoureux parents, leur amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

*À la personne devenue forte grâce à lui, **Mama Dahbia** la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse.*

*À **Ma Reguia** la plus belle personne de ma vie.*

*À mes adorables sœurs : **Manel, Aya et Serine.***

*À ma sœur **Asma** et son mari **Badr Eddine.***

*À mes innocentes nièces : **Ines et Eline.***

*À **Chaker** qui m'a encouragé pendant tout le travail et qui ajoute pour tous les détails.*

À ma belle-famille, mes oncles et mes tantes.

*Spécialement à ma tante **Mahdia** et ses deux anges **Siradje et Yazan.***

*À mes chères amies : **Hadjer, Ines, Chaïma, Marwa et Imen.***

*À ma chère binôme **Khaoula** pour son entente, sa sympathie et sa patience avec moi.*

À tous mes collègues et mes profs surtout mon promoteur pour sa fidélité à son métier, sa gentillesse et sa serviabilité.

Je dédie ce mémoire.

Et à la fin, un grand merci à Moi.

Rania

Sommaire

Liste des tableaux	
Liste des figures et photos	
Liste des abréviations	
Introduction	1
Chapitre I : Matériel et méthodes	
I.1. Site, matériel végétal et dispositif expérimental	3
I.2. Mesures et notations	5
I.2.1. Durée de la phase végétative	5
I.2.2. Surface foliaire de la feuille étendard	5
I.2.3. Poids spécifique foliaire	6
I.2.4. Teneur relative en eau	6
I.2.5. Intégrité cellulaire	7
I.2.6. Température du couvert végétal	8
I.2.7. Teneur en chlorophylle	8
I.2.8. Teneur en proline	9
I.2.9. Rendement en grains	10
I.3. Analyse des données	10
Chapitre II : Résultats et discussion	
II.1. Analyse de la variance de l'effet 'génotype'	13
II.2. Etude des valeurs moyennes	13
II.2.1. Variation de la durée de la phase végétative	13
II.2.2. Variation de la teneur en chlorophylle	15
II.2.3. Variation de la teneur relative en eau	17
II.2.4. Variation des dommages cellulaires ou intégrité cellulaire	18
II.2.5. Variation de la température du couvert végétal	19
II.2.6. Variation de la teneur en proline	20
II.2.7. Variation de la surface foliaire	22
II.2.8. Variation du poids spécifique foliaire	23
II.2.9. Variation du rendement en grains	24
II.3. Composantes de la variation	25
II.4. Apport de la sélection et classification des génotypes.	28
Conclusion	32
Références bibliographiques	34
Résumé	

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des géotypes de blé tendre étudié.....	4
Tableau 2 : Squelette de la table de l'analyse de la variance du modèle additif adopté.....	10
Tableau 3 : Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères mesurés.....	13
Tableau 4 : Valeurs moyennes des caractères mesurés chez les géotypes de blé tendre.....	14
Tableau 5 : Paramètres génétiques et phénotypiques des caractères évalués.....	26
Tableau 6 : Lignées identifiées par critère de sélection.....	28
Tableau 7 : Valeurs moyennes caractéristiques des lignées sélectionnées, lignées non sélectionnées et des témoins.....	29

Liste des figures et photos

Figure 1 : Pluviométrie et températures moyennes, minimales et maximales du site d'étude	3
Figure 2 : Variation de la durée de la phase végétative chez les génotypes de blé tendre étudiés.....	15
Figure 3 : Variation de la teneur en chlorophylle chez les génotypes de blé étudiés.....	16
Figure 4 : Variation de la teneur relative en eau chez les génotypes de blé étudiés.....	17
Figure 5 : Variation des dommages cellulaires chez les génotypes de blé tendre étudiés.....	19
Figure 6 : Variation de la température du couvert végétal chez les génotypes de blé tendre étudiés.....	20
Figure 7 : Variation de la teneur en proline chez les génotypes de blé tendre étudiés.....	21
Figure 8 : Variation de la surface foliaire chez les génotypes de blé tendre étudiés.....	22
Figure 9 : Variation du poids spécifique foliaire chez les génotypes de blé tendre étudiés...	24
Figure 10 : Variation du rendement en grains chez les génotypes de blé tendre étudiés.....	25
Figure 11 : Groupage des génotypes de blé tendre étudiés sur la base des valeurs moyennes de tous les caractères mesurés.....	31
Figure 12 : Profile-plot montrant le comportement des trois groupes de génotypes blé tendre groupés sur la base de la teneur en proline et le rendement en grains.....	32
Photo 1 : Vue générale de l'essai conduit en blocs à 4 répétitions.....	5
Photo 2 : Des échantillonnées de feuilles placées dans des tubes à essai remplis de 10 ml d'eau distillée pour déterminer la teneur relative en eau.....	7
Photo 3 : Des échantillonnées de feuilles placées dans des tubes à essai remplis de 10 ml d'eau distillée (à gauche) et lecture de la conductivité par conductimètre (à droite).....	8
Photo 4 : Lecture de la température du couvert végétal par le thermomètre portable.....	8
Photo 5 : Mesure de la teneur en chlorophylle des feuilles par le chlorophylle-mètre type Spad-502.....	9
Photo 6 : Tube à essai de quelques échantillons, contenant de la proline colorée en rouge.....	10

Liste des abréviations

- CCI** : Chlorophyll Content Index.
- Chl** : Teneur en chlorophylle.
- 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.
- DPV** : Durée de la phase végétative.
- GA** : Gain génétique attendu de la sélection.
- GAM (%)** : Gain génétique attendu de la sélection en pourcentage de la moyenne.
- h²_{sl}** : Héritabilité au sens large.
- IC** : Intégrité cellulaire.
- INRAA** : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie.
- Ppds** : Plus petite différence significative.
- Pro** : Teneur en proline.
- PSF** : Poids spécifique foliaire.
- RDT** : Rendement en grains.
- SF** : Surface foliaire de la feuille étendard.
- TCV** : Température du couvert végétal.
- TRE** : Teneur relative en eau.
- σ²_e** : Variance environnementale.
- σ²_g** : Variance génotypique.
- σ²_p** : Variance phénotypique.

Introduction

Introduction

Les céréales constituent une part importante des ressources alimentaires de l'homme et de l'animal (**Karakas et al., 2011**). Elles occupent à l'échelle mondiale, une place primordiale dans les programmes de recherche agricoles. Parmi ces céréales, le blé occupe la première place pour la production mondiale et la deuxième après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines (**Slama et al., 2005**). Le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) est l'espèce céréalière la plus produite à travers le monde, alors que le blé dur (*Triticum durum* Desf.) occupe une place importante surtout dans les régions au climat de type méditerranéen (**Moragues et al., 2006 ; Schulthess et al., 2013 ; Rabti et al., 2020 ; Xynias et al., 2020 ; Haddad et al., 2021**). Le climat dans les régions arides et semi-arides se caractérise souvent par l'augmentation de la température couplée à la baisse des précipitations et/ou sa mauvaise répartition durant les différents stades phénologiques du blé, accentuant ainsi le phénomène de la désertification et la sécheresse qui tuent les sols agricoles (**Abeledo et al., 2008**).

La production Algérienne en blé tendre reste très faible. Elle a atteint, au cours de la campagne 2016-17, les 4.46 millions de quintaux contre 19.90 millions de quintaux de blé dur et 9.70 millions de quintaux d'orge et 0.64 millions de quintaux d'avoine soit un total pour les céréales à paille de 34.70 millions de quintaux (**MADR-DSASI, 2019**). La production en blé est très insuffisante pour couvrir les besoins alimentaires nationaux et les stocks poussent à faire un recours systématique aux importations notamment en blé tendre (**Fellahi, 2017 ; Mekaoussi et al., 2021**). Cette situation risque de se prolonger à plusieurs années, faute de rendements insuffisants et des besoins de consommation sans cesse croissants devant une forte évolution démographique (**Chellali, 2007 ; Benseddik, 2017**).

Dans les milieux arides et semi-arides, les stress abiotiques imposent des limites au développement de la plante en affectant leur croissance et leur rendement. Parmi les différents stress abiotiques, le stress hydrique est le facteur qui induit le plus d'effet négatif sur les productions agricoles (**Ladoui et al., 2020**). La tolérance à ces stress est largement dépendante du génotype qui développe des stratégies d'adaptation pour répondre à ces changements en ajustant le système métabolique, par des mécanismes morphologiques, physiologiques, et/ou biochimiques pour éviter ou tolérer la contrainte (**Neffar, 2013**).

L'amélioration de la production végétale dans les régions semi-arides où l'eau est le principal facteur limitant passe par l'amélioration des techniques de conservation de l'eau, du sol d'une part, et par l'utilisation du matériel végétal capable de tolérer la sécheresse d'autre

Introduction

part (**Belagrouz et al., 2018**). Plusieurs caractères adaptatifs, d'ordres morphologiques, phénologiques et physiologiques, participent à l'amélioration de la tolérance aux stress abiotiques. Ils donnent, de ce fait, une certaine régularité à la production en milieux variables (**Mazouz et Bouzerzour, 2017**). La recherche d'une meilleure adaptation à la variation environnementale est devenue une nécessité pour stabiliser les rendements de ces régions. La variation des rendements est engendrée par la sensibilité des nouveaux cultivars aux divers stress biotiques et abiotiques qui caractérisent le milieu de production (**Benmahammed et al., 2010**). L'amélioration du rendement grain est généralement abordée de manière directe ou indirecte. La sélection directe utilise le rendement lui-même qui est mesuré après la mort de la plante. La sélection indirecte utilise les composantes du rendement et les caractères phéno-morpho-physiologiques et biochimiques comme critères de sélection (**Reynolds et al., 2007 ; Adjabi et al., 2007 ; Fellahi et al., 2018, 2020**).

L'objectif de ce présent travail consiste à une analyse la variabilité de la tolérance au stress hydrique via certains caractères adaptatifs chez 34 génotypes de blé tendre dont 30 lignées avancées et 4 témoins, évalués sous conditions du climat semi-arides des hauts plateaux Sétifiens. L'analyse de cette variabilité permettra d'identifier des sources de tolérance aux stress abiotiques, qui caractérisent le milieu de production, à l'intérieur du matériel végétal évalué et de sélectionner les meilleurs génotypes en termes de performance qui pourraient apporter des améliorations significatives du rendement relativement aux variétés classiques utilisées comme des témoins dans ce programme de sélection.

Chapitre I :
Matériel et méthodes

Chapitre I : Matériel et Méthodes

I.1. Site, matériel végétal et dispositif expérimental

L'expérimentation est menée au cours de la campagne agricole 2020/21 au niveau du site expérimental de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA), unité de recherche de Sétif. Le site est localisé aux coordonnées géographiques 36°09'31'' N et 05°22'20'' E à une altitude de 970 m. 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). Les caractéristiques pédologiques du site expérimental indiquent que le sol est de type brun calcaire (Calcisol), de texture limono-argileuse (44% argile, 44% limon, 12% sable) avec une teneur en matière organique de 1.05% (Données internes de l'INRAA de Sétif).

Le cumul pluviométrique enregistré au cours de la campagne d'étude 2020/21 est de 320 mm, celui de la campagne précédente 2019/20 est de 353 mm. Ceci induit un déficit, entre les deux campagnes, de près de 33 mm en faveur de la campagne 2019/20 (Figure 1). La différence entre les deux campagnes apparaît surtout au cours de la période avril-mai qui fut pluvieuse en 2019/20 et sèche en 2020/21 durant le mois d'avril et le phénomène s'inverse pour le mois de mai.

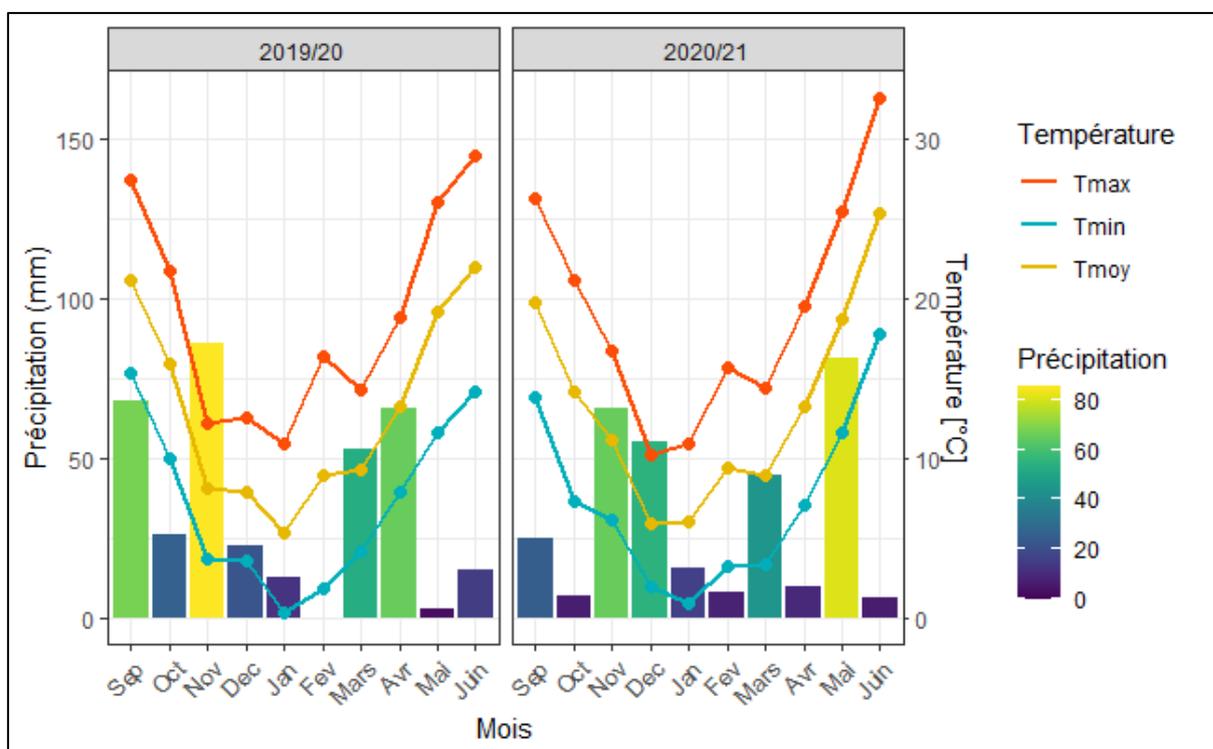


Figure 1 : Pluviométrie et températures moyennes, minimales et maximales du site d'étude (<https://fr.tutiempo.net>).

Durant la campagne d'étude 2020/21, janvier est le moi dont les températures moyennes, minimales et maximales ont atteint leurs minimums. Les températures ont atteint leurs maximums en juin (Figure 1). Les mois d'octobre, février, avril et juin sont les plus secs avec un cumul pluviométrique mensuel reçus moins de 10 mm. D'autre part, le mois de mai est le plus pluvieux avec 81 mm. Quoique ce volume semble intéressant pour assurer un meilleur remplissage du grain et d'exterioriser un bon rendement, sa répartition n'est plus homogène car le volume total de pluie reçue n'a chuté que durant la première semaine du mois. Ceci s'est répercuté négativement sur le développement de la céréale notamment en ce qui concerne les composantes du rendement. La comparaison de l'allure des deux campagnes montre une très grande variabilité climatique (particulièrement pour la pluviométrie) du milieu de production, ce qui complique l'effort du sélectionneur dans ce type d'environnement (Figure 1).

L'expérience porte sur le suivi du comportement de 34 génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) dont 30 lignées avancées sélectionnées à l'intérieur du programme local d'amélioration du blé et 4 témoins à savoir : Acsad₉₀₁, Hidhab, Rmada et Acsad₁₁₃₅ (Tableau 1).

Tableau 1 : Liste des génotypes de blé tendre étudié.

N°	Code	Génotype [#]	N°	Code	Génotype [#]
1	L1	Acsad ₁₁₃₅ x Rmada	18	L15	Ain Abid x Hidhab
2	T1	Acsad ₉₀₁	19	L16	Acsad ₉₀₁ x Rmada
3	L2	Acsad ₈₉₉ x Hidhab	20	L17	Ain Abid x Rmada
4	L3	Acsad ₁₀₆₉ x Hidhab	21	L18	Acsad ₁₀₆₉ x Hidhab
5	T2	Hidhab	22	L19	Acsad ₁₀₆₉ x Hidhab
6	L4	Acsad ₁₀₆₉ x El-Wifak	23	L20	Acsad ₁₁₃₅ x Mahon-Démias
7	L5	Acsad ₈₉₉ x Rmada	24	L21	Acsad ₉₀₁ x Mahon-Démias
8	L6	Acsad ₈₉₉ x Hidhab	25	L22	Ain Abid x Hidhab
9	L7	Acsad ₈₉₉ x El-Wifak	26	L23	Acsad ₈₉₉ x Rmada
10	L8	Acsad ₈₉₉ x El-Wifak	27	L24	Acsad ₁₀₆₉ x El-Wifak
11	L9	Acsad ₁₀₆₉ x El-Wifak	28	L25	Acsad ₈₉₉ x Rmada
12	L10	Ain Abid x El-Wifak	29	L26	Ain Abid x Rmada
13	L11	Acsad ₁₀₆₉ x El-Wifak	30	L27	Acsad ₁₁₃₅ x Rmada
14	L12	Acsad ₁₀₆₉ x Rmada	31	L28	Acsad ₁₀₆₉ x Hidhab
15	L13	Acsad ₁₀₆₉ x Mahon-Démias	32	L29	Acsad ₁₀₆₉ x Hidhab
16	T3	Rmada	33	L30	Acsad ₁₁₃₅ x Rmada
17	L14	Acsad ₈₉₉ x Rmada	34	T4	Acsad ₁₁₃₅

[#] : les lignées qui portent le même nom sont des lignées sœurs.

L'essai est conduit en plein champs dans un dispositif en blocs complètement randomisés à quatre répétitions (Photo 1). Le précédent cultural est une jachère travaillée. Le semis des génotypes est effectué par un semoir expérimental type Hege 80 en date du 22

décembre 2020 avec une densité de 350 grains/m². Les blocs sont distants de 2 m et les parcelles élémentaires de 30 cm avec pour dimensions 5 m de long et 1.2 m de large soit une surface parcellaire d'expérimentation de 6 m². Chaque parcelle comporte 7 rangs espacés de 17 cm (Photo 1).



Photo 1 : Vue générale de l'essai conduit en blocs à 4 répétitions (Photo originale prise le 29 Avril 2021).

Les techniques culturales adoptées sont celles préconisées pour la culture du blé tendre en zones semi-arides. Les essais sont fertilisés par 100 kg/Ha de l'engrais de fond Mono-Ammonium Phosphate (52% P₂O₅ + 12% N) et 100 kg/Ha de l'engrais azoté Azosul N34® (34% N + 29% SO₃) pendant le tallage. Les mauvaises herbes sont contrôlées chimiquement.

I.2. Mesures et notations

I.2.1. Durée de la phase végétative

La durée de cette phase végétative (DPV, jours) est un indicateur du degré de précocité. Elle est déterminée en nombre de jours calendaires comptés à partir du 1^{ier} janvier à la date de réalisation de 50% de l'épiaison et est indiquée par la sortie des barbes de la gaine de la dernière feuille complètement développée.

I.2.2. Surface foliaire de la feuille étendard

La longueur et la plus grande largeur de la feuille étendard ont été mesurées au stade épiaison sur un échantillon de 5 feuilles prises au hasard par géotypes et par répétition. La

surface moyenne de la dernière feuille entièrement développée (SF, cm²) a été estimée selon **Spagnoletti-Zeuli et Qualset (1990)** par :

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

Où :

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

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

l = largeur moyenne de la feuille étendard (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. Poids spécifique foliaire

Le poids spécifique foliaire (PSF, mg/cm²) est déterminé sur la dernière feuille entièrement développée. Les feuilles sont pesées immédiatement pour obtenir le poids frais (PF) puis avec les mêmes feuilles on détermine la surface foliaire (SF). Le poids spécifique foliaire est déterminé par la formule suivante (**Araus et al., 1998**) :

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

Où :

PSF = poids spécifique foliaire (mg/cm²) ;

PF = poids frais de la feuille étendard (mg) ;

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

I.2.4. Teneur relative en eau

La teneur en eau relative (TRE, %) a été déterminée par la méthode de **Barrs et Weartherly (1962)** décrite par **Pask et al. (2012)**, sur un échantillon de 5 feuilles de chaque génotype par répétition. Ces dernières sont coupées au niveau de la base du limbe et pesées immédiatement pour avoir le poids frais (PF, mg), ensuite mise dans des tubes à essai contenant 10 ml de l'eau distillée et à l'obscurité à la température ambiante du laboratoire pendant 24 heures (Photo 2). Après cette durée, les feuilles sont retirées et passées dans papier buvard pour absorber l'excès d'eau pour obtenir le poids turgide (PT). Puis on sèche l'échantillon à l'étuve réglée à 80 °C pendant 48 heures pour avoir le poids sec (PS, mg). Les valeurs de la teneur relative en eau sont déterminées à partir de la formule :

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

Où :

TRE = teneur relative en eau (%) ;

PF = poids frais de la feuille excisée (mg) ;

PS = poids sec de la feuille (mg) ;

PT = poids turgide de la feuille (mg).



Photo 2 : Des échantillonnées de feuilles placées dans des tubes à essai remplis de 10 ml d'eau distillée pour déterminer la teneur relative en eau.

I.2.5. Intégrité cellulaire

Le test de l'intégrité cellulaire (IC, %) est effectué sur les deux dernières feuilles entièrement développées (feuilles étendards). Deux feuilles sont prises au hasard par traitement. Ces échantillons sont lavés à l'eau courante. Les feuilles sont découpées en morceaux de 1 cm de long. Un échantillon de 10 morceaux du limbe foliaire est mis dans un tube à essai et lavé trois fois avec de l'eau distillée pour enlever les poussières adhérentes qui peuvent influencer sur les résultats du test. A chaque tube on ajoute 10 ml d'eau distillée. Les tubes sont agités manuellement et laissés à la température ambiante du laboratoire (Photo 3). Une première lecture est faite (EC_1) avec le conductimètre 24 heures après (Photo 3). Les tubes sont ensuite mis dans un bain marie à 100 °C pendant 1 heure. Les tubes sont ensuite refroidis pendant 30 minutes puis une deuxième lecture de la conductivité (EC_2) est faite sur les échantillons. Le pourcentage de cellules endommagées par le stress thermique est estimé comme suit (**Bajji *et al.*, 2001**) :

$$IC(\%) = 100 \times (EC_1/EC_2)$$

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 3 : Des échantillonnées de feuilles placées dans des tubes à essai remplis de 10 ml d'eau distillée (à gauche) et lecture de la conductivité par conductimètre (à droite).

I.2.6. Température du couvert végétal

La température du couvert végétal (TCV, °C) est mesurée au stade floraison, à raison de trois lectures par génotype et par répétition. La mesure de température a été effectuée à l'aide d'un thermomètre portable, à infrarouge modèle Sixth Sense LT300 IRT (Photo 4).



Photo 4 : Lecture de la température du couvert végétal par le thermomètre portable.

I.2.7. Teneur en chlorophylle

La teneur en chlorophylle (Chl, Spad) a été déterminée au niveau des feuilles au stade épiaison à l'aide d'un chlorophylle-mètre portable type Spad-502 (Photo 5). 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 génotype et par répétition.



Photo 5 : Mesure de la teneur en chlorophylle des feuilles par le chlorophylle-mètre type Spad-502.

I.2.8. Teneur en proline

La méthode utilisée pour le dosage de la proline est celle de **Troll et Lindsley (1955)**, modifiée et mise au point par **Dreier et Goring (1975)**. Le dosage est effectué sur le tiers médian de la feuille. On pèse 100 mg de substance végétal fraîche laquelle on ajoute 2 ml de méthanol à 40%. L'ensemble est chauffé au bain marie à 85°C pendant 1h. Après refroidissement, on prélève 1 ml d'extrait au quel est ajouté 1 ml d'acide acétique (CH₃COOH), 2 ml de la solution de ninhydrine (C₉H₄O₄) à 3% et 1 ml du mélange contenant ; 80 ml d'acide ortho phosphorique (H₃PO₄ dont la densité est 1.7), 300 ml d'acide acétique et 120 ml d'H₂O. Le tout est porté à ébullition dans un bain marie à une température de 100°C pendant 30 minutes jusqu'à ce que la solution vire au rouge. On refroidit la solution dans un bac de glace pendant un quart d'heure et on ajoute 5 ml de toluène à chaque tube et on agite par un agitateur Vortex jusqu'à séparation de la solution en deux phases superposées. La phase supérieure qui contient la proline est colorée en rouge et la phase inférieure sans proline reste transparente. Après avoir récupéré la phase supérieure, on ajoute une spatule de sulfate de sodium Na₂SO₄ anhydre, pour éliminer l'eau qu'elle contient (déshydratation). La lecture des densités optiques des échantillons (extraits et étalons) se fait à l'aide du spectrophotomètre à une longueur d'onde de 528 nm. Le zéro de spectrophotomètre est réglé grâce au méthanol à 40%. Le calcul du taux de proline se fait selon le courbe étalon et selon l'équation suivante.

$$\text{Concentration en proline } (\mu\text{M/g MF}) = (Y \times 2 \times 1000) / (MF \times 115.13)$$

Où :

Y = quantité de proline de chaque échantillon ;

MF = masse de matière fraîche (g) ;

115.13 = masse molaire de la proline.



Photo 6 : Tube à essai de quelques échantillons, contenant de la proline colorée en rouge.

I.2.9. Rendement en grains

Le rendement en grains (RDT, g/m²) est déterminé par génotype et par répétition à partir de la récolte d’un échantillon de végétation d’un segment de rang long de 1 mètre linéaire. Après battage des épis, le poids de l’échantillon est reconverti en g/m² et représente la valeur parcellaire de cette variable.

I.3. Analyse des données

Les données collectées sont soumises à une analyse de la variance à un facteur étudié (génotype) et un facteur contrôlé (bloc). La forme de la table de la variance d’un tel dispositif est indiquée au tableau 2 (Steel et Torrie, 1982). 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 génotypes pour la variable mesurée.

Tableau 2 : Squelette de la table de l’analyse de la variance du modèle additif adopté.

Source de variation	ddl	CME	<i>F</i> _{test}	EM
Bloc	<i>r</i> -1	<i>M</i> ₁	<i>M</i> ₁ / <i>M</i> ₃	----
Génotype	<i>g</i> -1	<i>M</i> ₂	<i>M</i> ₂ / <i>M</i> ₃	$\sigma^2_e + r\sigma^2_g$
Erreur	(<i>g</i> -1) (<i>r</i> -1)	<i>M</i> ₃	-----	σ^2_e
Totale	(<i>r</i> * <i>g</i>) -1	-----	-----	-----

La comparaison des moyennes entre génotypes est calculée en référence à la plus petite différence significative au seuil de 5% ($Ppds_{5\%}$) qui est calculée, selon **Steel et Torrie (1982)**, comme suit :

$$Ppds_{5\%} = t_{5\%} \times \frac{\sqrt{2\sigma_e^2}}{r}$$

Où :

t = valeur tabulée du t au seuil de 5% pour $t(r-1)$ degrés de libertés de la résiduelle ;

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

r = est le nombre de répétitions.

Les variances génétique (σ_g^2) et phénotypique (σ_p^2) sont déduites des espérances moyennes (EM) portées au tableau 2, comme suit :

$$\sigma_g^2 = (M2 - M3)/r \quad \text{et} \quad \sigma_p^2 = \sigma_g^2 + \sigma_e^2$$

Où :

σ_p^2 = variance phénotypique ;

σ_g^2 = variance génétique ;

σ_e^2 = variance résiduelle de l'analyse de la variance 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)** :

$$CV_p = 100 \times \left(\frac{\sqrt{\sigma_p^2}}{\bar{Y}} \right) \quad \text{et} \quad CV_g = 100 \times \left(\frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{Y}} \right)$$

Où :

σ_p^2 = variance phénotypique ;

σ_g^2 = variance génétique ;

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

L'héritabilité au sens large (h^2_{sl}) est déterminée par le rapport de la variance génétique (σ_g^2) à la variance phénotypique (σ_p^2) (**Acquaah, 2012**) :

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

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

Le gain génétique (GA) attendu de la sélection est déterminé selon **Falconer et Mackay (1996)** par :

$$GA = K \times \sigma_p \times h_{sl}^2$$

Où :

K = intensité de sélection (K à 0.05 = 2.06) ;

σ_p = écart-type de la variance phénotypique du caractère sélectionné ;

h_{sl}^2 = héritabilité au sens large.

Le gain génétique en termes de pourcentage de moyenne (GAM) est déterminé par :

$$GAM (\%) = 100 \times (GA/\bar{Y})$$

Où :

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

GA = gain génétique.

Le gain génétique attendu de la sélection est classé comme faible ($GAM < 10\%$), moyen ($10\% < GAM < 20\%$) et élevé ($GAM > 20\%$).

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 avec le programme R Studio (**R Development Core Team, 2020**).

Chapitre II :
Résultats et discussion

Chapitre II : Résultats et discussion

II.1. Analyse de la variance de l'effet 'génotype'

L'analyse de la variance indique un effet génotype significatif à hautement significatif pour la durée de la phase végétative, la teneur en chlorophylle des feuilles, l'intégrité cellulaire, la teneur en proline et le rendement en grains, suggérant la présence d'une variabilité importante pour ces caractères chez le matériel végétal évalué (Tableau 3). Cependant aucune différence significative n'est observée pour le reste des caractères, ceci est à l'origine d'une faible variabilité génétique à l'intérieur de ce matériel végétal et/ou la présence de l'effet environnement qui masque l'effet génotype de par la dispersion des valeurs prises par les variables entre blocs.

Tableau 3 : Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères mesurés.

SV	ddl	DPV	Chl	TRE	IC	TCV	Pro	SF	PSF	RDT
Génotype	33	9.1**	18.7**	33.6 ^{ns}	22.7*	1.8 ^{ns}	4568.2**	4.4 ^{ns}	0.9 ^{ns}	1639.8*
Bloc	3	12.1	3.6	17.0	5.6	70.8	4690.3	28.7	0.1	123.9
Erreur	99	1.6	6.9	31.9	12.8	2.2	1158.1	2.9	0.6	344.4

SV : Source de variation, DPV : Durée de la phase végétative (jours), Chl : Teneur en chlorophylle (Spad), TRE : Teneur relative en eau (%), IC : Intégrité cellulaire (%), TCV : Température du couvert végétal (°C), Pro : Teneur en proline (µg/g MF), SF : Surface foliaire de la feuille étandard (cm²), PSF : Poids spécifique foliaire (mg/cm²), RDT : Rendement en grains (g/m²). ns, * et ** : Effets non significatifs et significatif au seuil de probabilité de 5% et 1%, respectivement.

II.2. Etude des valeurs moyennes

Les valeurs moyennes minimales et maximales sont variables selon le caractère et le génotype (Tableau 4).

II.2.1. Variation de la durée de la phase végétative

La valeur moyenne de la durée de la phase végétative (DPV) la plus élevée est enregistrée chez la lignée L16 (le génotype le plus tardif) dérivée du croisement Acsad₉₀₁ x Rmada avec une durée moyenne de 129.5 jours, alors que la lignée L24 issue du croisement Acsad₁₀₆₉ x El-Wifak est la plus précoce avec une moyenne de 122.8 jours, soit un étendu de la DPV de 6.7 jours. La moyenne générale de ce caractère est de 124.5 jours avec une plus petite différence significative de 1.8 jours (Tableau 4). Relativement à la valeur moyenne de la précocité au stade épiaison, on note que dix génotypes à savoir L3, L23, L13, L4, L15, L30, L9, L5, L29 et L16 présentent une DPV supérieure, ce sont les tardifs (Figure 2). D'autre part, 18 génotypes dont deux témoins (T2 : Hidhab et T4 : Acsad₁₁₃₅) et 16 lignées avancées (L24, L7, L11, L12, L26, L27, L20, L28, L1, T21, L25, L18, L22, L8, T2 et L14) affichent une DPV inférieure à la moyenne du caractère, ce sont les plus précoces (Figure 2).

Tableau 4 : Valeurs moyennes des caractères mesurés chez les génotypes de blé tendre.

Génotype	DPV	Chl	TRE	IC	TCV	Pro	SF	PSF	RDT
L1	123.5	47.0	73.9	90.3	29.1	111.3	12.2	6.1	161.7
T1 (Acsad ₉₀₁)	124.5	44.3	76.3	91.7	28.5	47.5	14.1	6.1	43.3
L2	124.3	47.5	74.6	93.6	28.0	73.7	11.1	6.0	53.3
L3	124.8	45.7	73.8	84.9	28.6	178.9	10.7	5.4	48.3
T2 (Hidhab)	124.3	46.7	73.1	92.7	28.4	33.0	12.6	6.2	53.3
L4	126.0	47.4	74.2	94.4	28.4	30.3	11.3	5.9	30.0
L5	127.0	44.4	76.3	93.5	29.4	92.7	12.6	6.2	26.7
L6	124.5	42.1	74.7	93.2	28.3	75.1	12.7	6.5	41.7
L7	123.0	43.2	73.1	88.7	28.1	44.4	11.1	4.2	25.0
L8	124.0	47.2	74.6	95.8	27.5	54.5	12.7	6.3	36.7
L9	126.3	45.8	72.1	93.3	28.5	46.2	11.7	5.7	43.3
L10	124.5	44.0	72.8	90.0	27.5	50.4	12.3	6.0	45.0
L11	123.3	50.1	73.5	88.4	28.0	38.9	11.7	5.9	45.0
L12	123.3	43.7	71.3	94.7	29.0	5.5	11.2	6.1	38.3
L13	125.8	45.2	75.9	90.9	27.8	65.8	11.6	5.5	45.0
T3 (Rmada)	124.5	45.2	77.2	95.1	27.7	118.5	11.8	6.3	43.3
L14	124.3	42.4	73.6	93.5	28.0	92.7	11.0	6.5	35.0
L15	126.0	45.2	75.4	94.3	28.0	13.2	10.9	5.3	51.7
L16	129.5	42.8	71.3	92.8	27.7	33.1	12.3	5.8	60.0
L17	124.5	44.2	68.4	89.0	27.9	33.1	14.5	6.5	31.7
L18	123.8	45.1	72.2	93.1	27.0	55.3	11.2	6.5	58.3
L19	124.5	48.6	63.3	93.0	27.6	25.6	10.2	5.6	46.7
L20	123.3	43.5	73.1	93.9	28.2	24.6	11.5	5.5	88.3
L21	123.5	42.5	69.9	92.9	27.7	80.1	11.6	5.8	46.7
L22	123.8	47.8	73.1	88.5	27.2	53.7	14.4	6.1	40.0
L23	125.0	43.8	76.2	92.3	28.3	37.6	11.7	6.2	46.7
L24	122.8	48.0	73.3	93.5	27.2	81.6	12.1	6.0	40.0
L25	123.5	46.7	72.4	92.7	27.7	30.8	10.2	5.9	55.0
L26	123.0	47.8	75.2	91.7	27.6	63.1	10.9	5.6	55.0
L27	123.0	45.8	67.2	96.2	29.1	38.4	12.8	5.9	46.7
L28	123.3	48.7	71.5	91.3	25.9	93.1	10.5	5.1	70.0
L29	127.8	45.1	73.2	93.3	27.9	167.7	11.6	5.7	31.7
L30	126.0	47.1	78.2	91.0	27.9	53.2	11.9	6.5	41.7
T4 (Acsad ₁₁₃₅)	123.8	49.9	71.7	93.5	28.0	78.4	12.4	5.9	39.2
<i>Moyenne</i>	<i>124.5</i>	<i>45.7</i>	<i>73.1</i>	<i>92.3</i>	<i>28.0</i>	<i>62.4</i>	<i>11.8</i>	<i>5.9</i>	<i>48.9</i>
<i>Ppds (5%)</i>	<i>1.8</i>	<i>3.7</i>	<i>7.9</i>	<i>5.0</i>	<i>2.1</i>	<i>55.5</i>	<i>2.4</i>	<i>1.1</i>	<i>29.7</i>

DPV : Durée de la phase végétative (jours), Chl : Teneur en chlorophylle (Spad), TRE : Teneur relative en eau (%), IC : Intégrité cellulaire (%), TCV : Température du couvert végétal (°C), Pro : Teneur en proline (µg/g MF), SF : Surface foliaire de la feuille étandard (cm²), PSF : Poids spécifique foliaire (mg/cm²), RDT : Rendement en grains (g/m²).

Parmi ces 16 lignées, on note que 13 lignées sont plus précoces que le témoin le plus précoce T4 (Acsad₁₁₃₅) au stade épiaison. Elles portent les allèles de précocité et peuvent être considérés comme des futurs géniteurs dans les programmes d'amélioration pour réduire le

cycle de développement de la céréale. Les lignées L6 (Acsad₁₀₆₉ x El-Wifak) et L10 (Acsad₈₉₉ x El-Wifak) et les témoins T1 (Acsad₉₀₁) et T3 (Rmada) exhibent une DPV égale à la moyenne générale du caractère (Figure 2).

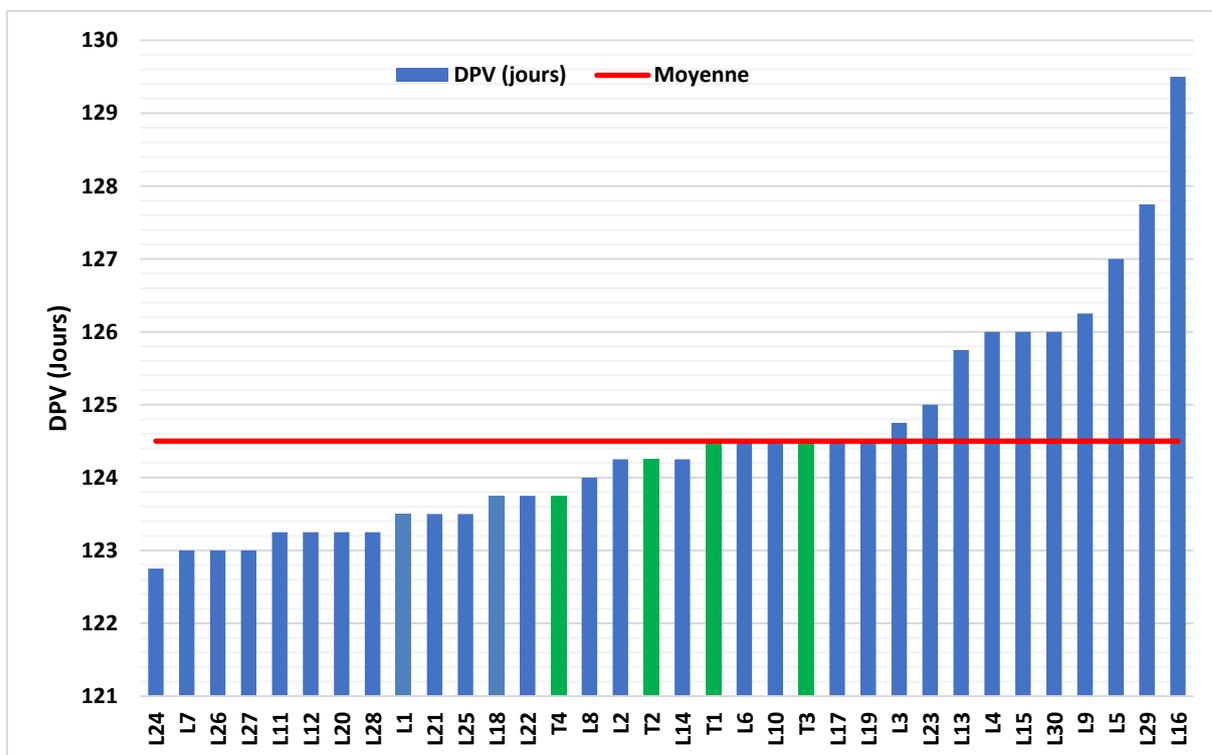


Figure 2 : Variation de la durée de la phase végétative chez les génotypes de blé tendre étudiés (lignées avancées en couleur bleu et témoins en couleur verte, la moyenne générale est indiquée en ligne rouge).

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 (**Benmahammed et al., 2010**). Pour éviter les périodes critiques du manque d'eau, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique (**Brinis, 1995**). La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement de la sécheresse de fin de cycle (**Ben Naceur et al., 1999**). La précocité d'épiaison est efficacement utilisée comme critère de sélection pour améliorer les productions des zones sèches (**Reynolds et al., 2005 ; Mekhlouf et al., 2006**).

II.2.2. Variation de la teneur en chlorophylle

Les valeurs moyennes du contenu en chlorophylle (Chl) varient de 42.1 unités Spad, valeur minimale mesurée chez la lignée L6 dont le pédigré est Acsad₈₉₉ x Hidhab, à 50.1 Spad

valeur maximale enregistrée chez L11 issue du croisement Acsad₁₀₆₉ x El-Wifak, autour d'une moyenne générale de 45.7 Spad et une plus petite différence significative de 3.7 Spad (Tableau 4). La figure 3 montre que 16 génotypes sur les 34 étudiés, affichent des moyennes de la teneur en chlorophylle supérieures, relativement à la valeur moyenne du caractère. Ces génotypes incluent les deux témoins T2 (Hidhab) et T4 (Acsad₁₁₃₅) et 14 lignées à savoir L9, L27, L25, L1, L30, L8, L4, L2, L26, L22, L24, L19, L28 et L11. Seule la lignée L11 (Acsad₁₀₆₉ x El-Wifak) exprime une teneur en chlorophylle des feuilles supérieure au meilleur témoin T4 (Acsad₁₁₃₅). Les génotypes restants, hormis la lignée L3 dont sa moyenne est égale à la moyenne générale de Chl, enregistrent des valeurs de Chl inférieures à la moyenne générale du caractère considéré (Figure 3).

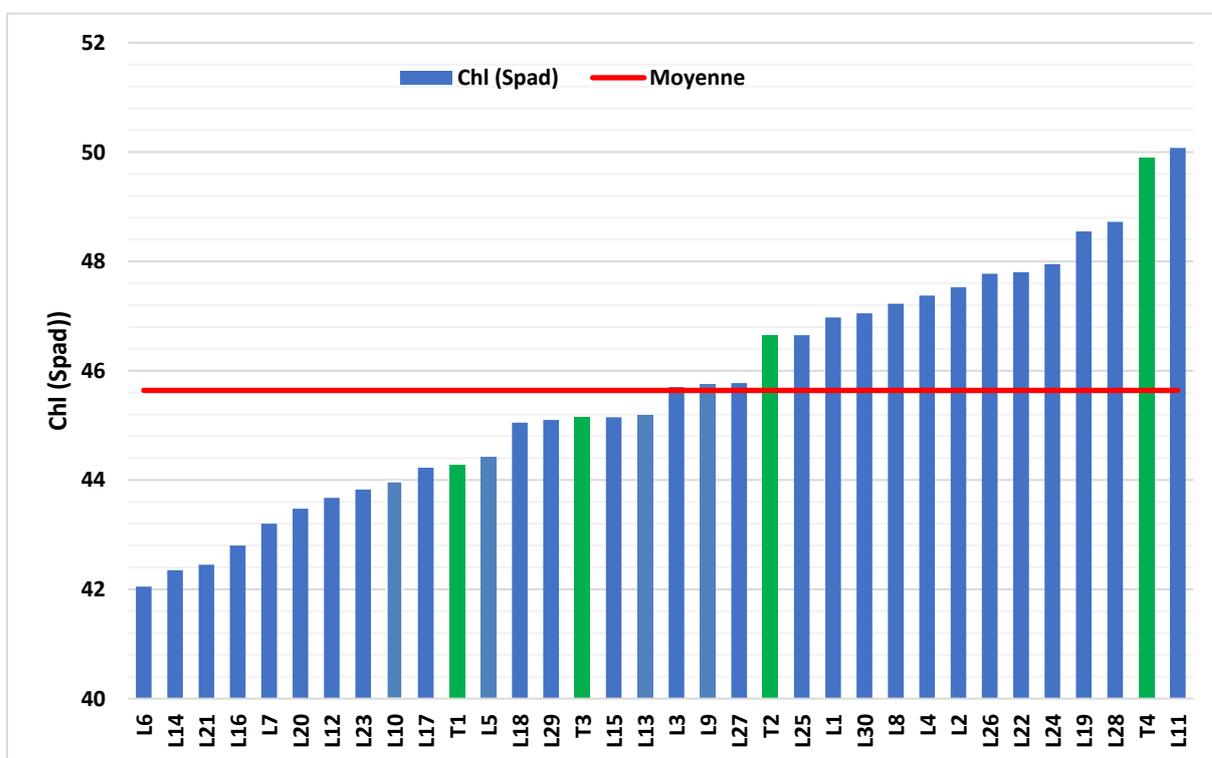


Figure 3 : Variation de la teneur en chlorophylle chez les génotypes de blé étudiés (lignées avancées en couleur bleu et témoins en couleur verte, la moyenne générale est indiquée en ligne rouge).

Labdelli (2011) rapportent que les différences de chlorophylle observées chez les génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sont en fonction de la tolérance au stress. D'après **Kiliç et Yağbasanlar (2010)** et **Khayatnezhad et al. (2011)**, la réduction de la teneur en chlorophylle est attribuée aux cultivars qui sont moins résistants à un effet de manque d'eau. Selon **Fokar et al. (1998)**, le contenu en chlorophylle diminue après l'anthèse mais plus fortement chez les génotypes sensibles au stress thermique que chez ceux qui sont

résistants. La stabilité de la chlorophylle est une autre caractéristique qui est utilisée en sélection pour la tolérance et l'adaptation au stress thermique (Bahlouli *et al.*, 2005). Le stress endommage la membrane thylacoïdale, perturbe ses fonctions, inhibant la photosynthèse et réduisant le rendement en grains (Tian *et al.*, 2017). Fahmi *et al.* (2011) associe la diminution de la teneur en chlorophylle sous stress hydrique à la fermeture partielle des stomates qui limite la photosynthèse et cause la dégradation de la chlorophylle.

II.2.3. Variation de la teneur relative en eau

La teneur relative en eau (TRE) la plus élevée est observée chez la lignée L30 du croisement Acsad₁₁₃₅ x Rmada avec une valeur maximale de 78.2%, alors que la plus faible valeur (63.3%) pour cette caractéristique est mesurée chez L19 dérivant du croisement Acsad₁₀₆₉ x Hidhab autour d'une moyenne générale de 73.1% et une valeur de la plus petite différence significative de 7.9% (Tableau 4). La figure 4 montre que 18 génotypes dont deux témoins T1 (Acsad₉₀₁) et T3 (Rmada) et 16 lignées avancées, affichent des valeurs élevées écarts positifs de la teneur relative en eau, relativement à la valeur moyenne. Seule la lignée L30 (Acsad₁₁₃₅ x Rmada) exprime une TRE meilleure au meilleur témoin T3 (Rmada). A l'inverse, 11 génotypes incluant le témoins T4 (Acsad₁₁₃₅) enregistrent des faibles valeurs de la teneur relative en eau par rapport à la moyenne prise par la variable considérée (Figure 4).

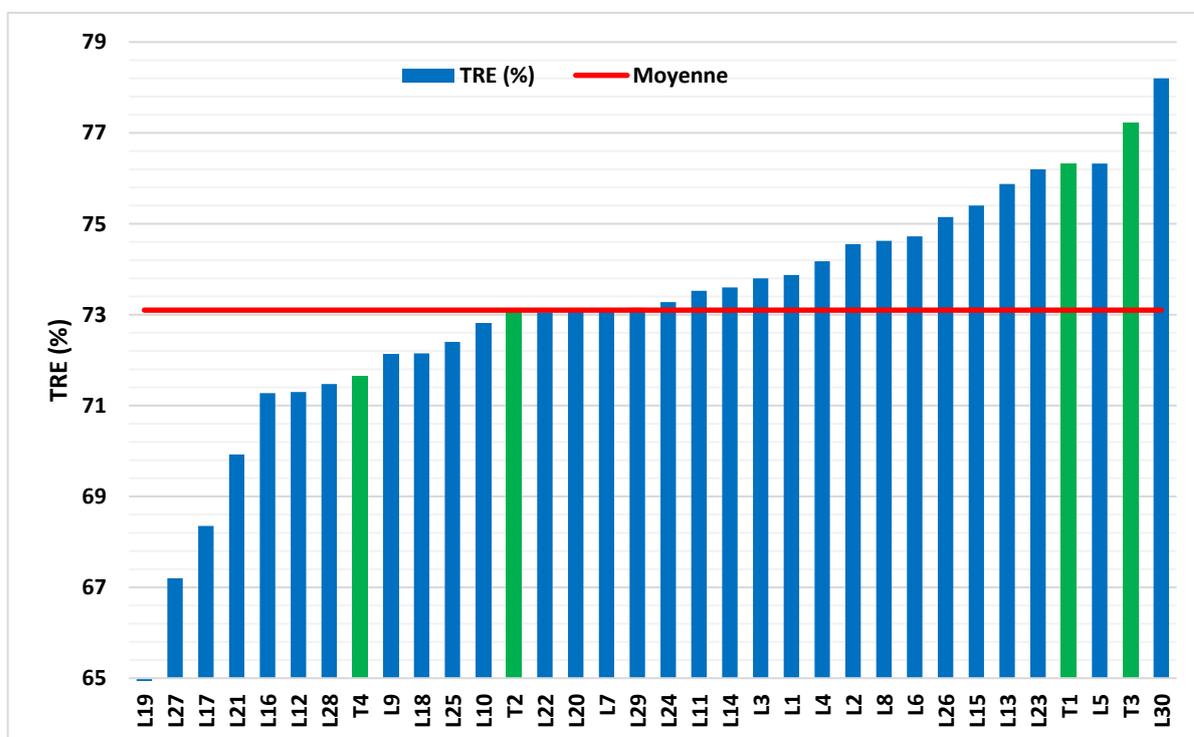


Figure 4 : Variation de la teneur relative en eau chez les génotypes de blé étudiés (lignées avancées en couleur bleu et témoins en couleur verte, la moyenne générale est indiquée en ligne rouge).

La teneur relative en eau est un paramètre physiologique indicateur de la tolérance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique. Les espèces végétales qui maintiennent des teneurs foliaires relatives en eau élevées sont considérées comme étant des espèces tolérantes à la sécheresse (**Berka et Aïd, 2009**). Les génotypes qui maintiennent leur TRE élevée lors du stress hydrique seront probablement les plus tolérants et seront les plus productifs (**Sassi et al., 2012**). **Amokrane et al. (2002)** montrent des différences pour cette variable en faveur des variétés récentes d'origine syrienne. Les variétés récentes d'origine européenne se distinguent par une vitesse élevée de perte d'eau par unité de surface foliaire et un degré de dessèchement du feuillage plus prononcé.

II.2.4. Variation des dommages cellulaires ou intégrité cellulaire

La valeur moyenne du dommage cellulaire (IC) la plus élevée est notée chez la lignée L27 issue du croisement Acsad₁₁₃₅ x Rmada avec un taux de 96.2% contre la plus faible valeur de 84.9% exprimée par L3 dont le pédigré est Acsad₁₀₆₉ x Hidhab, la moyenne générale du caractère est 92.3% et la plus petite différence significative est 5.0% (Tableau 4). D'après la figure 5, 21 génotypes dont 3 témoins (T2, T3 et T4) et 18 lignées (L25, L16, L21, L19, L18, L6, L9, L29, L5, L14, L24, L2, L20, L15, L4, L12, L8 et L27) affichent des valeurs en dessus de la moyenne générale du dommage cellulaire, ce sont les plus sensibles au stress thermique. Les génotypes restants, hormis la lignée L23 dont sa moyenne est égale à la moyenne générale de l'IC, montrent des valeurs inférieures à la moyenne générale des dommages cellulaires et sont considérés donc comme tolérants. Ces génotypes sont L3, L11, L22, L7, L17, L10, L1, L13, L30, L28, L26 et T1 dont toutes les lignées sont plus intéressantes qu'au meilleur témoin T1 (Acsad₉₀₁) en termes de tolérance au stress thermique (Figure 5).

L'intégrité cellulaire 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 perdue, par la cellule, est une mesure du degré de tolérance des hautes températures, plus cette valeur est élevée plus le génotype considéré est sensible (**Fokar et al., 1998 ; Ibrahim et Quick, 2001 ; Pask et al., 2012**). **Rabti et al. (2020)** ont comparé le comportement de deux sources de germoplasme de blé dur, ancien et nouveau, leurs résultats suggèrent que les échantillons de ces deux sources étudiées, présentent le même degré de tolérance vis-à-vis du stress thermique. Cependant, les différences du degré de tolérance apparaissent à l'intérieur de chaque source et globalement le matériel végétal ancien se montre relativement plus sensible aux stress abiotiques que le germoplasme récent.

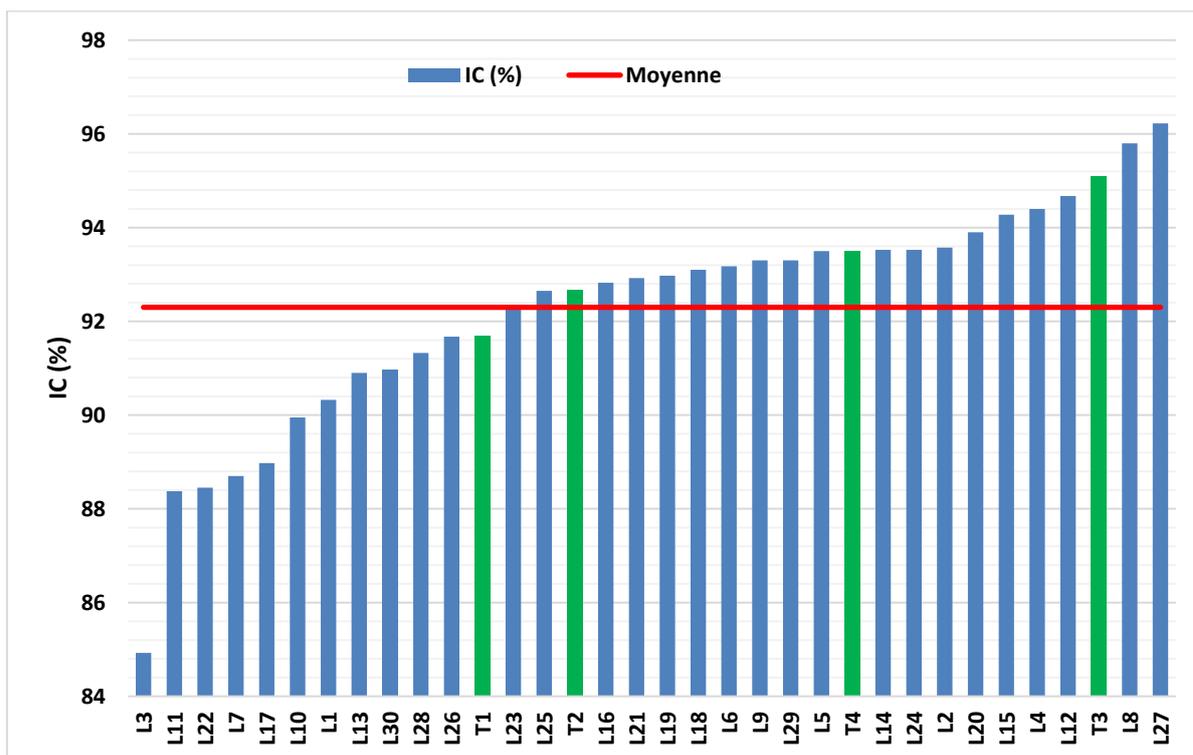


Figure 5 : Variation des dommages cellulaires chez les génotypes de blé tendre étudiés (lignées avancées en couleur bleu et témoins en couleur verte, la moyenne générale est indiquée en ligne rouge).

II.2.5. Variation de la température du couvert végétal

Chez les 34 génotypes étudiés, la température moyenne du couvert végétal (TCV) varie de 29.4°C, valeur maximale mesurée chez la lignée L5 (Acsad₈₉₉ x Rmada) à 25.9°C, valeur minimale mesurée chez L28 dérivée du croisement Acsad₁₀₆₉ x Hidhab (Tableau 4). La moyenne générale de ce caractère est de 28°C avec une plus petite différence significative de 2.1°C. Relativement à la valeur moyenne de la température du couvert végétal, on note que les valeurs maximales sont exprimées par 13 génotypes à savoir L7, L20, L6, L23, T2, L4, T1, L9, L3, L12, L27, L1 et L5 (Figure 6). D’après cette caractéristique, ils semblent les plus sensibles vis-à-vis du stress hydrique. D’autre part, 16 génotypes possèdent des valeurs de la température du couvert végétal inférieures relativement à la moyenne générale, ce sont les génotypes qui apparaissent les plus tolérants au stress hydrique. Ces génotypes sont L28, L18, L22, L24, L10, L8, L19, L26, T3, L16, L21, L25, L13, L17, L30 et L29 ; parmi lesquels 8 lignées (L28, L18, L22, L24, L10, L8, L19 et L26) sont meilleures, en termes de tolérance au stress hydrique, par rapport au meilleur témoin T3 (Rmada) en gardant un couvert végétal plus frais suite à un état hydrique plus confortable (Figure 6).

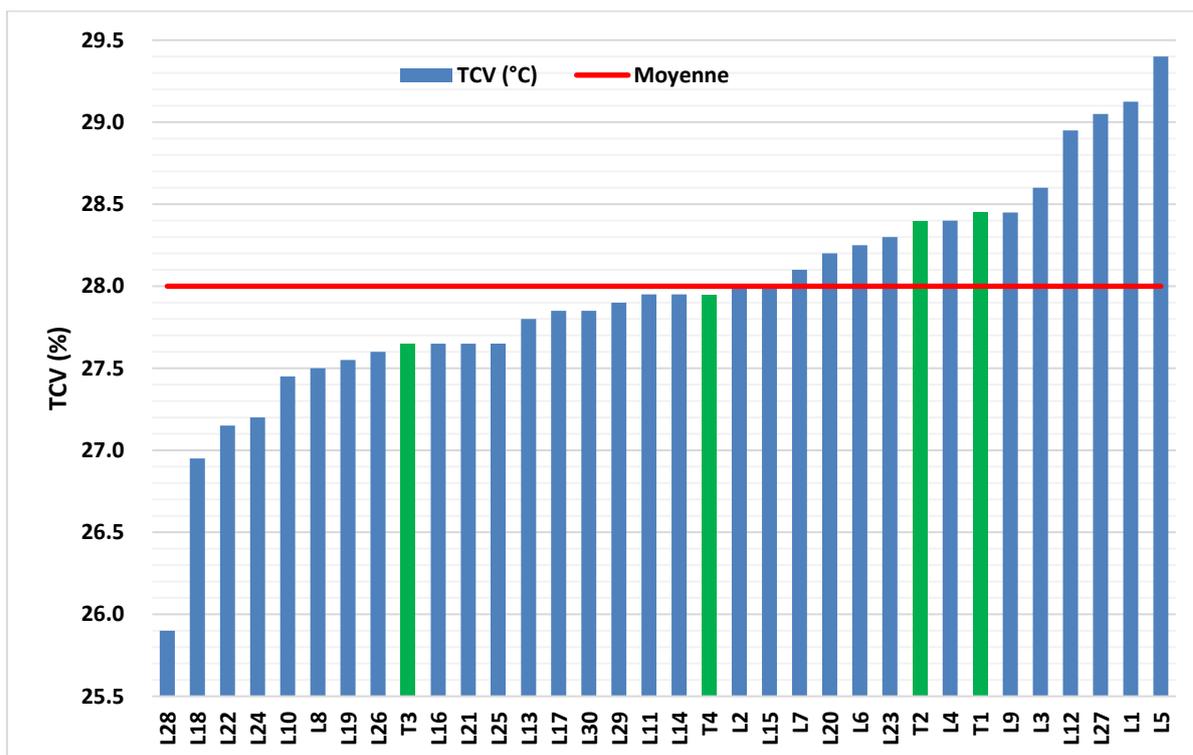


Figure 6 : Variation de la température du couvert végétal chez les génotypes de blé tendre étudiés (lignées avancées en couleur bleu et témoins en couleur verte, la moyenne générale est indiquée en ligne rouge).

La température du couvert végétal figure au rang des paramètres biophysiques les plus utilisés pour la connaissance du statut hydrique de la plante (**Pask et al., 2012**). Selon **Dakheel et al. (1993)**, la capacité des plantes à maintenir une température foliaire basse est une indication de leur grande capacité à extraire l'eau du sol et à se rafraîchir par transpiration. Les résultats d'une étude menée par **Gautam et al. (2015)** suggèrent que la TCV peut être utilisée comme l'un des critères importants pour la sélection de génotypes stables dans des conditions de stress thermique tardif et très tardif et peut aider à améliorer la production et la productivité du blé dur dans des conditions de stress thermique terminal. Sous conditions de déficit hydrique, une faible TCV a été utilisée souvent comme critère de sélection comme indiquée par **Karimizadeh et Mohammadi (2011)**.

II.2.6. Variation de la teneur en proline

Chez les 34 génotypes étudiés, la valeur la plus élevée (178.9 µg/g MF) de la variable teneur en proline (Pro) des feuilles est observée chez la lignée L3 issue du croisement Acsad₈₉₉ x Hidhab alors que la valeur minimale (5.5 µg/g MF) est notée chez L12 dont le pédigré est Acsad₁₀₆₉ x Rmada (Tableau 4). La moyenne générale de ce caractère est 62.4 µg/g MF et la plus petite différence significative est de 55.5 µg/g MF (Tableau 4). La figure 7

montre que 14 génotypes dont 2 témoins (T4 : Acsad₁₁₃₅ et T3 : Rmada) et 12 lignées avancées (L26, L13, L2, L6, L21, L24, L5, L14, L28, L1, L29 et L3) parmi les 34 évalués ont des valeurs supérieures à la moyenne générale de la teneur en proline. Parmi ces génotypes, deux lignées L29 et L3 exhibent une teneur en proline supérieure au meilleur témoin T3 (Rmada), ce sont les plus recherchées de par leur tolérance au stress hydrique. Par conséquent, il est recommandé d'utiliser ces génotypes comme géniteurs dans l'hybridation artificielle pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse chez d'autres cultivars. Le reste des génotypes semblent être les plus sensibles vis-à-vis du stress en exhibant des teneurs en proline inférieures à la moyenne générale.

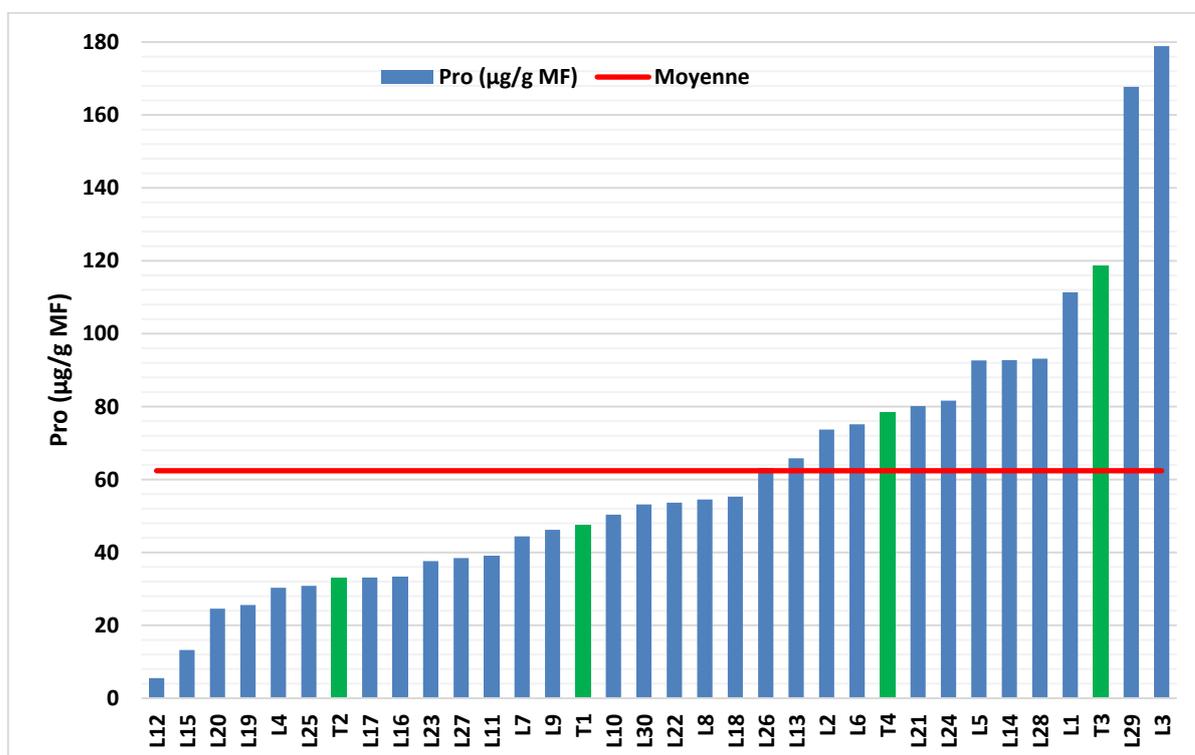


Figure 7 : Variation de la teneur en proline chez les génotypes de blé tendre étudiés (lignées avancées en couleur bleu et témoins en couleur verte, la moyenne générale est indiquée en ligne rouge).

L'accumulation de la proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (osmotiques, hydriques, thermiques) (Blum, 1996). L'augmentation de la teneur en proline est reliée directement à l'application du stress hydrique (Cechin *et al.*, 2006). Plus le niveau de stress appliqué augmente plus les teneurs en proline deviennent plus marquées (Semiani *et al.*, 2016). Cette corrélation négative entre l'accumulation de la proline et l'humidité du sol est observée chez différentes espèces cultivées dont le blé (Nouri, 2002). Il apparaît que la proline peut conférer la tolérance des

plantes aux stress par le développement d'un système antioxydant qui peut jouer un rôle d'indicateur d'ajustement osmotique (Eliane *et al.*, 2007). La teneur en proline est plus élevée en cas de déficit hydrique et, en particulier, chez les génotypes les plus tolérants à la sécheresse (Slama *et al.*, 2005).

II.2.7. Variation de la surface foliaire

La surface de la feuille étandard (SF) oscillent entre une valeur minimale de 10.2 cm² trouvée chez la lignée L25 (Ain Abid x Hidhab) et une valeur maximale de 14.5 cm² mesurée chez L17 du croisement Acsad₈₉₉ x Rmada autour d'une moyenne générale de 11.8 cm² avec une plus petite différence significative de 2.4 cm² (Tableau 4). Comparant les moyennes des 34 génotypes étudiés relativement à la moyenne générale, on note que 15 génotypes possèdent des surfaces foliaires supérieures par rapport à la moyenne générale. Ils incluent tous les témoins et les lignées L30, L24, L1, L10, L16, L5, L8, L6, L27, L22 et L17 (Figure 8).

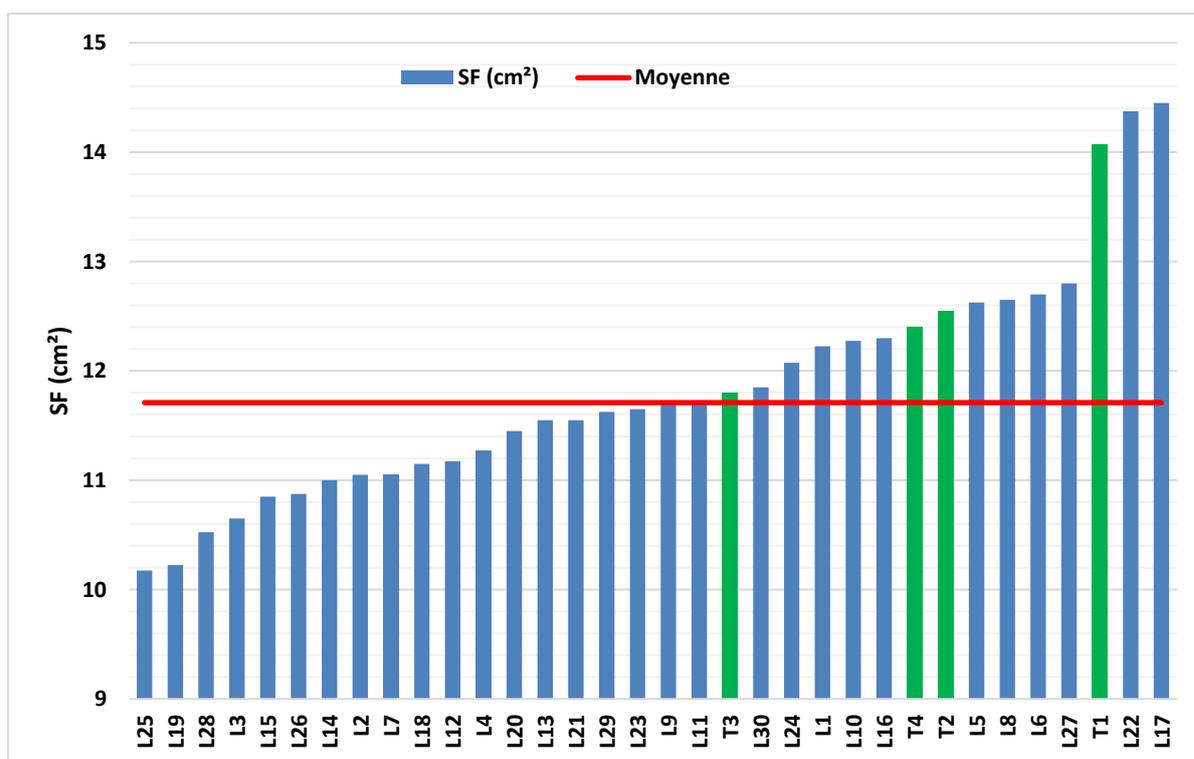


Figure 8 : Variation de la surface foliaire chez les génotypes de blé tendre étudiés (lignées avancées en couleur bleu et témoins en couleur verte, la moyenne générale est indiquée en ligne rouge).

Les valeurs enregistrées chez les autres génotypes sont inférieures à la moyenne générale du caractère étudié. Il ressort de la figure 8 que seulement 2 lignées présentent des surfaces foliaires plus large que celles du témoin T1 (Acsad₉₀₁) et 19 lignées ont des feuilles à surface réduite relativement au témoin T3 (Rmada).

La surface foliaire est une caractéristique génotypique mais aussi sous l'influence des conditions du milieu. Les résultats de **Rabti (2021)** suggèrent l'existence de différences significatives entre variétés, sites et années pour cette caractéristique. Elle semble conditionner la tolérance à la sécheresse, vu qu'une surface foliaire élevée perdra plus d'eau qu'une faible surface foliaire (**Belkharchouche et al., 2009**). Selon **Zhu (2001)**, la réduction de croissance des parties aériennes est une capacité adaptative nécessaire à la survie des plantes exposées à un stress abiotique. 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. 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**). **Benmahammed et al. (2008)** indiquent que suite à la variabilité climatique des hauts plateaux et à l'intensité des stress de fin de cycle, la stratégie d'évitement est théoriquement la plus intéressante, car la plante évite le stress au lieu de le contrer. En effet, la réduction de la surface foliaire lorsque le stress hydrique s'installe est une stratégie développée par les plantes pour réduire de leurs besoins et pertes en eau (**Tardieu, 2003**). Selon **Abbassenne (1997)**, une variété avec une faible surface foliaire est capable de faire un bon rendement grâce à une meilleure efficacité d'utilisation de l'énergie lumineuse par unité de surface foliaire.

II.2.8. Variation du poids spécifique foliaire

Les valeurs moyennes du poids spécifique foliaire (PSF) varient de 4.2 mg/cm², valeur minimale mesurée chez la lignée L7 issue du croisement Acsad₁₀₆₉ x Hidhab, à 6.5 mg/cm², valeur maximale enregistrée chez L30 dérivée du croisement Acsad₈₉₉ x Rmada, avec une moyenne générale de 5.9 mg/cm² et une valeur de la plus petite différence significative de 1.1 mg/cm² (Tableau 4). La figure 9 montre que 17 génotypes (dont 3 témoins et 14 lignées) affichent des valeurs du poids spécifique foliaire supérieures à la valeur moyenne générale. Parmi les 14 lignées avancées, 5 lignées affichent un PSF meilleur à celui du meilleur témoin T3 (Rmada) (Figure 9). Ces derniers sont les mieux placés pour la sélection des génotypes à poids spécifique foliaire améliorés. Au contraire, 12 génotypes enregistrent des valeurs du poids spécifique foliaire en dessous de la moyenne générale de ce caractère (Figure 9).

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 (**Ykhlef, 2001**). Il peut améliorer la photosynthèse apparente des feuilles (**Guru et**

al., 1999) et peut être aussi utilisé comme un indice de production de paille (Belkharchouche et al., 2009).

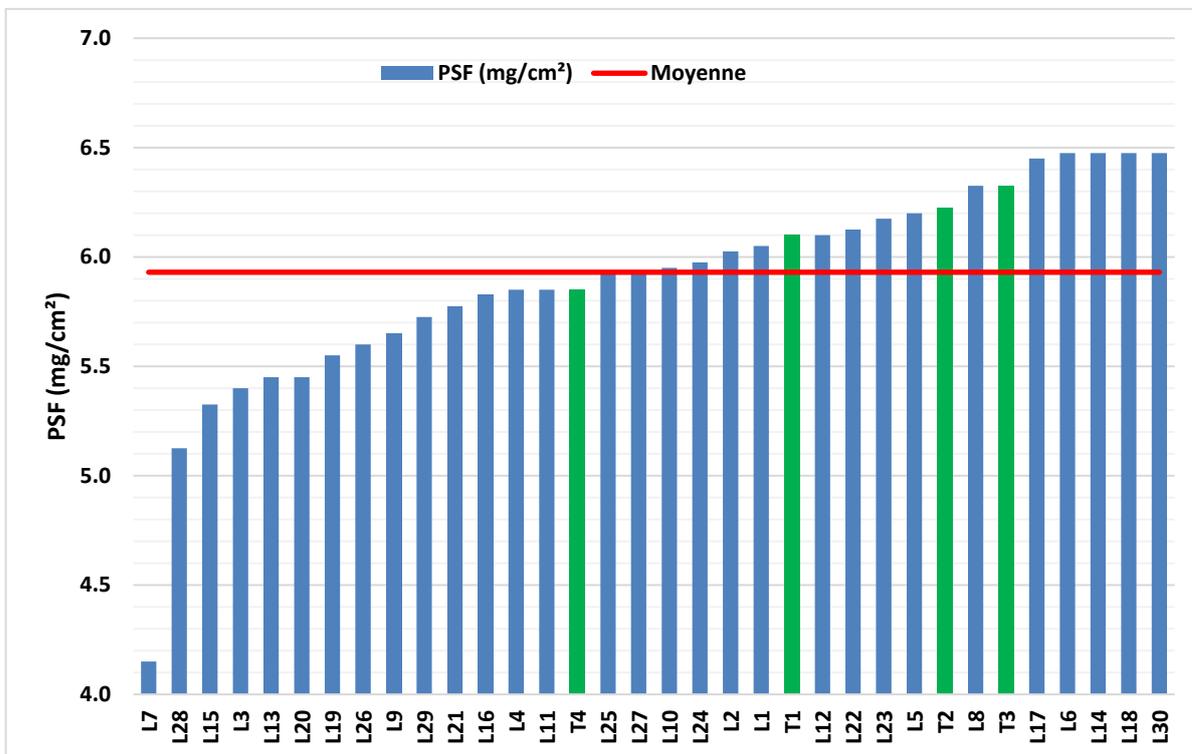


Figure 9 : Variation du poids spécifique foliaire chez les génotypes de blé tendre étudiés (lignées avancées en couleur bleu et témoins en couleur verte, la moyenne générale est indiquée en ligne rouge).

II.2.9. Variation du rendement en grains

Les résultats obtenus montrent que la valeur du rendement en grains la plus élevée est exprimée par la lignée L1 (Acsad₁₁₃₅ x Rmada) avec 161.7 g/m², par contre la valeur moyenne la plus faible est notée chez la L7 issue du croisement Acsad₈₉₉ x El-Wifak avec 25 g/m² (Tableau 4). La moyenne générale du caractère est 48.9 g/m² et la valeur de la plus petite différence significative est de 29.6 g/m² (Tableau 4). La figure 10 montre qu'il y a 10 génotypes, dont le témoin T2 (Hidhab), affichent des valeurs du rendement en grain élevées, relativement à la valeur moyenne générale de ce caractère. Parmi ces derniers, 7 lignées extériorisent un rendement en grains plus élevé que celui produit par le meilleur témoin T2 (Hidhab) (Figure 10). Ces derniers sont intéressants en la sélection des génotypes pour améliorer le rendement en grain dans les milieux secs. D'autre part, 24 génotypes enregistrent des faibles valeurs du rendement en grain par rapport à la moyenne générale.

Le rendement en grains est un caractère polygénique sous l'influence des facteurs du milieu, d'où son inefficacité comme critère de sélection (Belhacene et al., 2006 ; Moragues

et al., 2006). La sélection du rendement en grain n'est efficace que si les conditions de milieu qui ont permis la réalisation d'un rendement en grain donné, se répètent de façon régulière (**Lopes *et al.*, 2012**). Plusieurs études ont montré que l'amélioration d'un caractère complexe, tel que le rendement grain, qui est peu héritable, peut être approchée indirectement par l'intermédiaire des caractères qui lui sont fortement liés et moins influencés par l'environnement (**Fellahi *et al.*, 2018, 2020**).

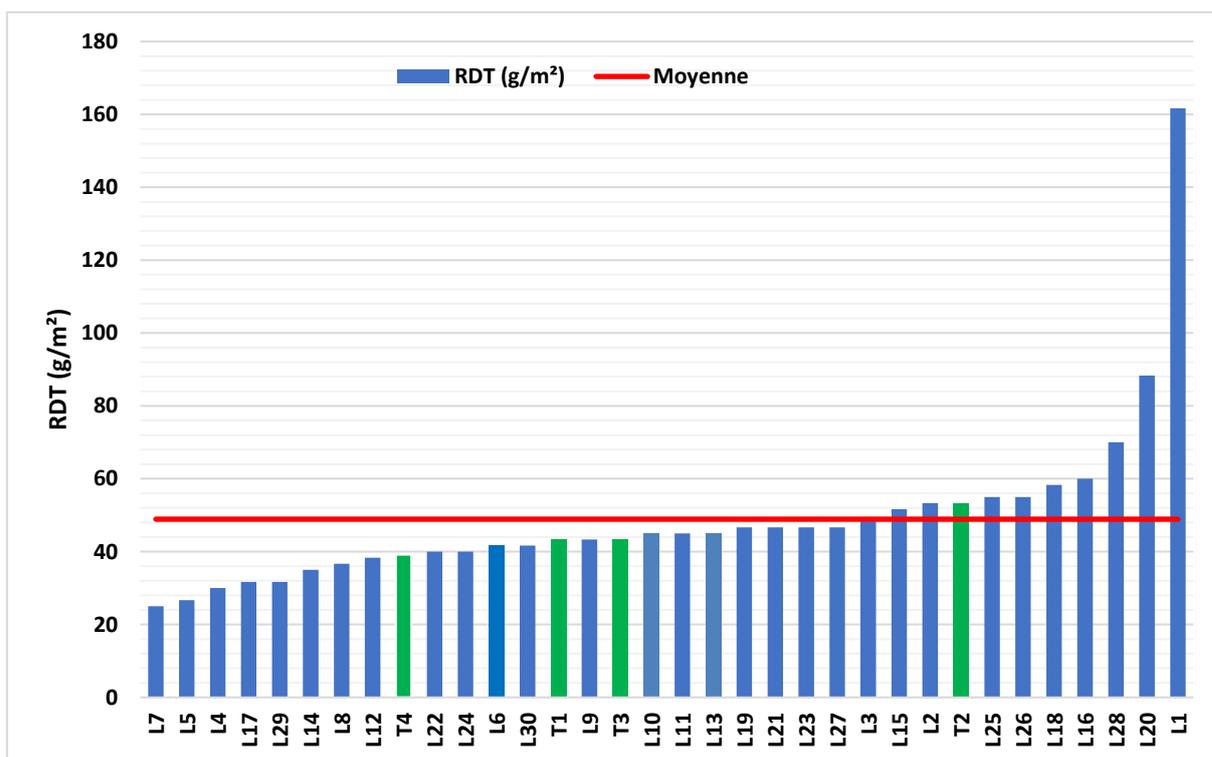


Figure 10 : Variation du rendement en grains chez les génotypes de blé tendre étudiés (lignées avancées en couleur bleu et témoins en couleur verte, la moyenne générale est indiquée en ligne rouge).

II.3. Composantes de la variation

Les composantes de la variation sont déduites pour estimer le degré d'héritabilité des caractères mesurés ainsi que les coefficients de la variabilité phénotypique (CV_p) et génotypique (CV_g). 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.*, 2013, 2017 ; Hannachi *et al.*, 2017 ; Salmi *et al.*, 2019**). Les différents paramètres génétiques et non génétiques des caractères évalués sont illustrés dans le tableau 5. Les valeurs prises par le coefficient de variation phénotypique varient de 1.2% pour la durée de la phase végétative à 62.5% pour la teneur en proline. Ceux qui caractérisent le coefficient de variation génotypique oscillent entre 0% pour la

température du couvert végétale à 54% pour la teneur en proline. En général, le CV_p est supérieur au CV_g pour tous les caractères, cela suggère l'influence de l'environnement sur l'expression de ces caractères.

Tableau 5 : Paramètres génétiques et phénotypiques des caractères évalués.

Paramètres	DPV	Chl	TRE	IC	TCV	Pro	SF	PSF	RDT
σ^2_p	2.3	4.7	8.4	5.7	0.5	1522.7	1.1	0.2	546.6
σ^2_e	0.4	1.7	8.0	3.2	0.5	386.0	0.7	0.2	114.8
σ^2_g	1.9	2.9	0.4	2.5	0.0	1136.7	0.4	0.1	431.8
CV _p (%)	1.2	4.7	4.0	2.6	2.5	62.5	8.9	7.6	47.8
CV _g (%)	1.1	3.8	0.9	1.7	0.0	54.0	5.2	4.6	42.5
CV _g /CV _e	1.1	0.7	0.1	0.4	0.0	1.0	0.4	0.4	1.1
h ² _{sl} (%)	82.5	63.0	5.0	43.7	0.0	74.7	34.3	33.2	79.0
GA	2.6	2.8	0.3	2.1	0.0	60.0	0.7	0.3	38.0
GAM (%)	2.1	6.1	0.4	2.3	0.0	96.1	6.3	5.5	77.7

DPV : Durée de la phase végétative (jours), Chl : Teneur en chlorophylle (Spad), TRE : Teneur relative en eau (%), IC : Intégrité cellulaire (%), TCV : Température du couvert végétal (°C), Pro : Teneur en proline (µg/g MF), SF : Surface foliaire de la feuille étendard (cm²), PSF : Poids spécifique foliaire (mg/cm²), RDT : Rendement en grains (g/m²), σ^2_p : variance phénotypique, σ^2_e : variance environnementale, σ^2_g : variance génotypique, CV_g : Coefficients de la variabilité génotypique, CV_e : Coefficients de la variabilité environnementale, h²_{sl} : Héritabilité au sens large (%), GA : Gain attendu de la sélection, GAM (%) : Gain attendu de la sélection en % de la moyenne.

Les CV_p et CV_g sont élevés pour la teneur en proline et le rendement en grains, et faible pour le reste des variables mesurées dont la durée de la phase végétative, la teneur en chlorophylle, la teneur relative en eau, l'intégrité cellulaire, la température du couvert végétal, la surface foliaire et le poids spécifique foliaire. Un coefficient de valeur élevée est un indicateur d'une plus grande variabilité entre les génotypes pour le caractère considéré et à l'inverse un coefficient de variation de faible valeur est un indicateur d'une faible variabilité phénotypique entre les différents génotypes étudiés (Fellahi *et al.*, 2013). Les résultats de cette étude corroborent avec ceux obtenus par Fellahi (2017), Bhanu *et al.* (2018), Din *et al.* (2018), Hossain *et al.* (2021) et Regmi *et al.* (2021) qui ont également trouvé des faibles valeurs de CV_p et CV_g pour la précocité au stade épiaison et à maturité, la surface foliaire, la température de la canopée et la teneur en chlorophylle des feuilles. Des estimations élevées de CV_p et CV_g pour le rendement en grains et la teneur en proline ont également été trouvées par Ali *et al.* (2008), Naeem *et al.* (2015) et Din *et al.* (2018). Par conséquent, de bons progrès dans la sélection pourraient être obtenus pour ces caractères si utilisés comme critères de sélection.

La faiblesse de la variabilité génétique observée, même avec une héritabilité moyenne à élevée, pour certains caractères comme DPV, Chl, IC, TCV, SF et PSF à l'intérieur du

matériel végétal évalué comprenant 34 génotypes peut s'expliquer par la pression de sélection forte appliquée sur le matériel de base incluant au départ 600 lignées F₂ (**Fellahi, 2017**). Au cours du processus de sélection cette pression n'a retenu que 153 lignées avancées F_{6:7} et F_{6:7} (**Bourouh et Maadadi, 2020**) qui ont par leur tour subi un criblage sévère qui n'a abouti qu'à la sélection de 30 lignées avancées qui font l'objet du matériel végétal de la présente étude. **Hamli et al. (2015)**, étudiant le mode de transmission génétique des caractères morpho-physiologiques dont la teneur relative en eau, la déperdition d'eau des feuilles excisées, la surface de la feuille étandard et la stabilité de la membrane plasmique, chez une population F₃ de blé dur, rapportent la présence de la variabilité pour les variables analysées et la présence de transgresseurs dans le sens désiré de la sélection. Dans ce contexte, **Amein et Atta (2016)** ont révélé que l'ampleur des variances phénotypiques et génotypiques diminuait au fil des générations (F₂, F₃ et F₄) lors de l'analyse de la variabilité et de la réponse relative à la sélection dans les croisements de blé tendre sur trois saisons. **Fellahi (2017)**, en étudiant le déterminisme génétique des caractères de blé tendre a signalé le peu de ressemblance entre les performances des générations F₂, F₃ et F₄ suite à la présence d'interaction génotype x années, ce qui rend difficile la prédiction des performances des générations avancées sur la base des performances des générations précoces. Pratiquement, l'augmentation de l'homozygotie dans les générations avancées se traduit par une diminution de la variabilité observée. **Laala et al. (2021)** ont indiqué qu'en raison de la pression de sélection, le nombre réduit de lignées sous sélection en génération avancées par rapport aux générations antérieures pourrait se refléter négativement sur la variabilité du caractère ciblé. Étant donné que le CV_p est une combinaison de variances additives et environnementales, toute augmentation observée de la valeur du CV_p dans la prochaine génération peut être due à des facteurs environnementaux, et non strictement à une action génétique additive ou dominante (**Amein et Atta, 2016 ; Ahmad et al., 2018**).

Les valeurs du ratio CV_g/CV_e sont supérieures à 1 pour la durée de la phase végétative, la teneur en proline et le rendement en grains suggérant un effet milieu peu marqué relativement à l'effet génotype sur leur expression. Par contre une valeur du ratio CV_g/CV_e inférieur à l'unité suggère un effet important du milieu sur l'expression de la variabilité phénotypique des autres caractères mesurés.

L'héritabilité au sens large est un indicateur pour prédire la réponse à la sélection (**Falconer et Mackay, 1996**). Plus un caractère est héritable et plus la sélection est efficace et rapide pour faire évoluer la moyenne de la population (**Fellahi et al., 2013**). Les valeurs prises

par le coefficient de détermination génotypique au sens large variant de 0.00% pour la température du couvert végétale à 82.5% pour la durée de la phase végétative. L'héritabilité est élevée pour la durée de la phase végétative, la teneur en chlorophylle, la teneur en proline et le rendement en grains ; juste moyenne pour l'intégrité cellulaire, la surface foliaire et le poids spécifique foliaire ; et faible pour la teneur relative en eau et la température du couvert végétal.

La valeur de l'héritabilité, seule, ne fournit aucune indication sur le degré d'amélioration attendue de la sélection d'un caractère donné, chez la descendance. De ce fait il est utile de calculer, en parallèle du degré de détermination génétique, le gain génétique attendu en sélection (Vashistha *et al.*, 2013). Le gain génétique attendu de la sélection est élevé pour la teneur en proline et le rendement en grains et faible pour le reste des caractères. Des valeurs du degré de détermination génétique élevées associées à des estimations également élevées des coefficients de la variabilité phénotypiques et génotypique, et du gain génétique attendu sont observées pour la teneur en proline et le rendement en grains suggérant que l'amélioration de ces deux variables par la sélection est plus pratique, facile et efficace.

II.4. Apport de la sélection et classification des génotypes

A une intensité de sélection de 15%, les lignées identifiées par critère (seuls les caractères dont la différence entre génotypes est statistiquement significative sont considérés) et dans le sens désiré de la sélection (négatif pour DPV et IC, et positif pour Chl, Pro et RDT) sont données dans le tableau 6.

Tableau 6 : Lignées identifiées par critère de sélection.

DPV	Chl	IC	Pro	RDT
L24	L22	L3	L14	L18
L7	L24	L11	L28	L16
L26	L19	L22	L1	L28
L27	L28	L7	L29	L20
L11	L11	L17	L3	L1

Les résultats montrent que les lignées identifiées sont variables en fonction du critère de sélection employé et aucune lignée n'a été retenue par l'ensemble de ces critères. Néanmoins, certaines lignées sont ressorties par plus d'un critère de sélection comme la lignée L28 identifiée par Chl, Pro et RDT et L11 identifiée par DPV, Chl et IC. Parmi les sélections aussi, la lignée L1 figure comme prometteuse, elle a été retenue par les deux critères de sélection (Tableau 6) et combine à la fois la capacité de tolérer les stress abiotiques

grâce à sa teneur élevée en proline dans les feuilles et la performance d’extérioriser aussi un bon rendement sous ces conditions stressantes. Globalement, les résultats suggèrent la difficulté de combiner l’ensemble des caractéristiques désirées dans le même fond génétique suite à l’absence et/ou aux corrélations négatives entre elles. La sélection sur la base d’un seul caractère induit alors une variation pour les autres caractères mesurés. Ceci complique l’effort du sélectionneur et rend la pratique de la sélection plus difficile notamment par voie classique.

En tenant compte des résultats discutés ci-dessus (partie : II.3. Composantes de la variation), illustrant l’utilité de la teneur en proline et le rendement en grains comme des critères de sélection qui pourraient engendrer des améliorations appréciables du rendement, nous allons en ce qui s’ensuit comparer le progrès apporté par chacun de ses critères à l’intérieur du matériel végétal évalué. Les valeurs moyennes portées par les variables mesurées des lignées sélectionnées, des lignées non sélectionnées et des témoins sont données, par critère de sélection, dans le tableau 7.

Tableau 7 : Valeurs moyennes caractéristiques des lignées sélectionnées, lignées non sélectionnées et des témoins.

Caractère	DPV	Chl	IC	Pro	RDT
Critère de sélection	Pro				
Moyenne lignées sélectionnées	124.7	45.7	91.4	127.1	65.0
Moyenne lignées non sélectionnées	124.7	45.4	92.5	54.1	44.6
Moyenne témoins	124.3	46.5	93.2	69.4	44.8
Critère de sélection	RDT				
Moyenne lignées sélectionnées	124.7	45.4	92.3	63.5	87.7
Moyenne lignées non sélectionnées	124.5	45.8	92.2	61.8	41.8
Moyenne témoins	124.3	46.5	93.2	69.4	44.8
Moyenne générale	124.5	45.7	92.3	62.4	48.9

DPV : Durée de la phase végétative (jours), Chl : Teneur en chlorophylle (Spad), TRE : Teneur relative en eau (%), IC : Intégrité cellulaire (%), TCV : Température du couvert végétal (°C), Pro : Teneur en proline (µg/g MF), SF : Surface foliaire de la feuille étendard (cm²), PSF : Poids spécifique foliaire (mg/cm²), RDT : Rendement en grains (g/m²).

La sélection sur la base de la teneur en proline des feuilles (Pro) comme critère de sélection indirecte ne semble pas apporter des changements aux variables DPV, Chl et IC. Par contre, elle induit une augmentation appréciable de la teneur en proline elle-même et une amélioration acceptable du rendement en grains. La moyenne de Pro des lignées sélectionnées est de 127.1 µg/g MF, celle des lignées non sélectionnées est de 54.1 µg/g MF contre 69.4 µg/g MF chez les témoins. Les gains sont estimés, relativement à ces deux derniers groupes de génotypes, à 57.4 et 45.4%, respectivement. De même, la moyenne de RDT des lignées sélectionnées est de 65.0 g/m², celle des lignées non sélectionnées est de 44.6 g/m² contre 44.8

g/m² chez les témoins. Les améliorations, par rapport à ces deux derniers groupes de génotypes, sont de l'ordre de 31.3 et 31.1%, respectivement.

La sélection sur la base du rendement en grains (RDT) comme critère de sélection ne s'est pas avérée efficace pour améliorer la DPV, Chl, IC et Pro d'où aucun changement n'a presque été observé en comparant les moyennes des lignées sélectionnées, lignées non sélectionnées ainsi que les témoins. Cependant, cette sélection dite directe apporte un gain notable du rendement lui-même. Les lignées sélectionnées ont un RDT de 87.7 g/m², celles non sélectionnées ont produit 41.6 g/m² contre 44.8 g/m² chez les témoins de cette expérimentation. Les progrès sont estimés, relativement à ces deux derniers groupes de génotypes, à 52.4 et 48.9 %, respectivement.

La classification hiérarchique des génotypes étudiés sur la base du rendement et de la teneur en proline fait ressortir trois groupes différents (Figure 11).

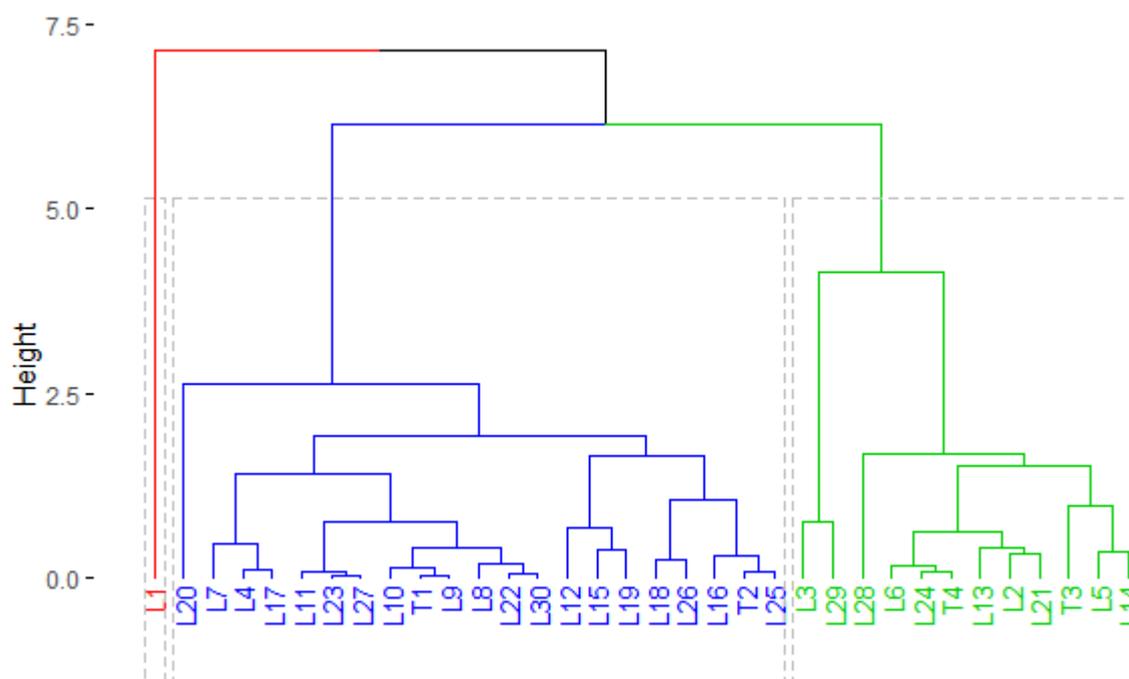


Figure 11 : Groupage des génotypes de blé tendre étudiés sur la base des valeurs moyennes de tous les caractères mesurés.

La lignée L1 forme le premier groupe (G1) toute seule, le troisième groupe (G3) est constitué des lignées L3, L5, L6, L14, L21, L24, L28 et L29 en plus des témoins T3 et T4 ; le second groupe (G2) est celui le plus large et est formé par le reste des génotypes. Le profile-plot généré sur la base des valeurs moyennes des trois groupes de génotypes montre que G1 et G3 se différencient du G2 pour la teneur en proline alors que G2 et G3 se distinguent du G1 pour le rendement en grains (Figure 12). Le groupe G1 est le plus intéressant en termes de

performance et de tolérance aux stress abiotiques. Le groupe G3 mérite également un suivi particulier car ses génotypes portent les gènes tolérance au stress de par l'expression notable de la teneur en proline, souvent utilisée comme critère de discrimination entre les génotypes de blé (Semiani *et al.*, 2016 ; Messaoudi, 2021).

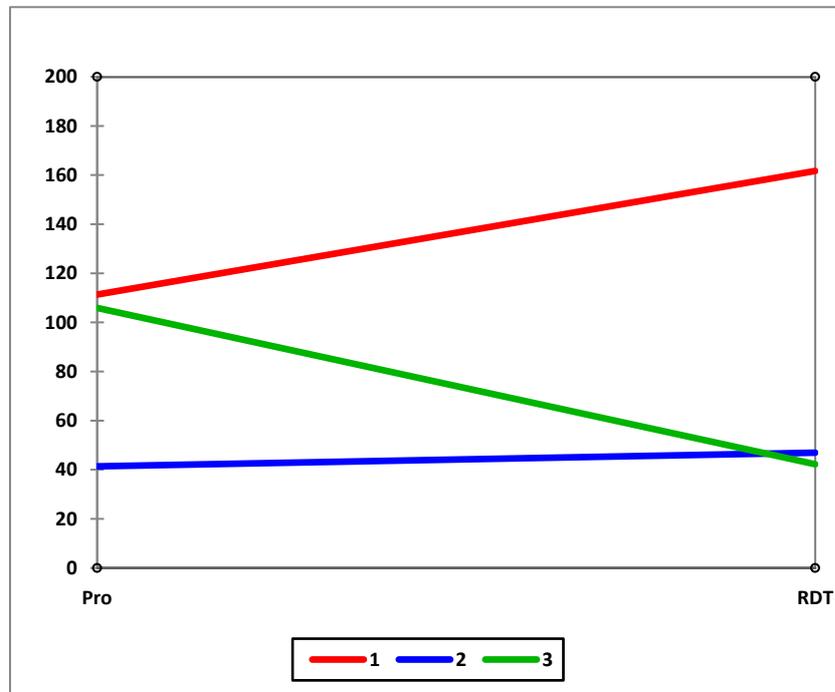


Figure 12 : Profile-plot montrant le comportement des trois groupes de génotypes blé tendre groupés sur la base de la teneur en proline et le rendement en grains.

Conclusión

Conclusion

Les résultats de cette étude indiquent un effet significatif à hautement significatif pour la durée de la phase végétative (DPV), la teneur en chlorophylle (Chl), l'intégrité cellulaire (IC), la teneur en proline (Pro) et le rendement en grains (RDT). Les valeurs extrêmes minimales et maximales prises par les variables mesurées varient en fonction du génotype et du caractère. Les CV_p et CV_g sont élevés pour Pro (62.5% et 54%) et RDT (47.8% et 42.5%), et faibles pour les autres caractères. Le degré de détermination génotypique au sens large est élevé pour DPV (82.5%), Chl (63.0%), Pro (74.7%) et RDT (79.0%); moyen pour l'intégrité cellulaire (IC, 43.7%), la surface foliaire (SF, 34.3%) et le poids spécifique foliaire (PSF, 33.2%); et faible pour la teneur relative en eau (TRE, 5.0%) et la température du couvert végétal (TCV, 0.0%). Hormis DPV (1.1), Pro (1.0) et RDT (1.1), les autres caractères sont fortement influencés par l'environnement comme indiqué par le ratio CV_g/CV_e en affichant des valeurs inférieures à l'unité. En outre, le gain génétique attendu de la sélection en pourcentage de la moyenne est élevé en valeur pour Pro (96.1%) et RDT (77.7%) et faible pour l'ensemble des caractères restants. Des CV_p et CV_g élevés couplés à des valeurs fortes de l'héritabilité et du gain génétique sont observés pour Pro et RDT suggérant la possibilité d'améliorer ces deux caractères chez les génotypes de blé tendre étudiés via la sélection.

A une intensité de sélection de 15%, l'utilisation de Pro comme critère de sélection a doublé le contenu en proline dans les feuilles des lignées sélectionnées (127.1 $\mu\text{g/g}$ MF) par rapport à celle non retenues (54.1 $\mu\text{g/g}$ MF) et aux témoins (69.4 $\mu\text{g/g}$ MF). De plus, une amélioration appréciable de RDT (65.0 g/m^2) chez les lignées sélectionnées est notée comparativement à celles non sélectionnées (44.6 g/m^2) et aux témoins (44.8 g/m^2) de la présente étude. De même, la sélection directe sur la base de RDT a doublé la valeur de ce caractère chez les lignées sélectionnées (87.7 g/m^2) par rapport à celles non sélectionnées (41.6 g/m^2) et aux témoins (44.8 g/m^2). Cependant, comme attendu, la sélection sur la base de Pro et RDT n'a pas abouti à des gains pour améliorer les caractères DPV, Chl et IC. Les lignées L1 et L28 figurent comme prometteuses, elles ont été retenues par les deux critères de sélection relatifs à la performance de rendement et la capacité de tolérer les stress abiotiques.

La classification hiérarchique sur la base de Pro et RDT répartie les génotypes étudiés en trois groupes différents. Les groupes G1 et G3 se différencient du G2 pour la teneur en proline alors que les groupes G2 et G3 se distinguent du G1 pour le rendement en grains. Le groupe G1 formé par la lignée L1 est celui le plus intéressant en termes de performance et de tolérance aux stress abiotiques. Les lignées L3, L5, L6, L14, L21, L24, L28 et L29, et les

Conclusion

témoins T3 et T4 du groupe G3 peuvent être intégrés comme des géniteurs qui confèrent la tolérance au stress abiotiques dans les programmes futurs d'amélioration de blé.

Dans le cadre des perspectives de ce travail, il serait souhaitable de confirmer ces résultats par des essais multi-environnements, inclure d'autres caractères adaptatifs (morphologiques, physiologique et biochimiques) et incorporer les outils de la biotechnologie qui réduiraient les effets dues aux interaction G x E, permettant une sélection rapide, précoce et plus efficace.

*Références
Bibliographiques*

Références bibliographiques

- Abeledo, L. G., Savin, R., & Slafer, G. A. (2008).** Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European Journal of Agronomy*, 28(4): 541-550.
- Acquaah, G. (2012).** Principles of plant genetics and breeding. 2nd. eds. Wiley Blackwell. Oxford.
- Adjabi, A., Bouzerzour, H., Lelarge, C., Benmahammed, A., Makhlouf, A., & Hannachi, A. (2007).** Relationships between grains yield performance, temporal stability and carbone isotope discrimination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under Mediterranean conditions. *Journal of Agronomy*, 6(2): 294-301.
- Ahmad, M., Khan, B. H., Iqbal, M., Saleem, M., Ahmad, F., Shahid, M., Rehman, A., Ullah, I., & Nawaz, A. (2018).** Comparison of response of F4 and F3 generations of tomato from year-to-year selection. *Asian Journal of Agriculture and Biology*, 6(2): 245-250.
- Ali, Y., Atta, B. M., Akhter, J., Monneveux, P., & Lateef, Z. (2008).** Genetic variability, association and diversity studies in wheat (*Triticum aestivum* L.) Germplasm, Pakistan *Journal of Botany*, 40(5): 2087-2097.
- Amein, M. M. M., & Atta, M. M. M. (2016).** Relative response of selection for grain yield and its components on one bread wheat cross (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agri-Food and Applied Sciences*, 4(1): 13-19.
- Amokrane, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Djekoun, A. (2002).** Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées en zone semi-aride d'altitude. *Sciences et Technologie*, Université Mentouri, Constantine, numéro spécial D, 33-38.
- Araus, J. L., Amaro, T., Voltas, J., Nakkoul, H., & Nachit, M. M. (1998).** Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Field Crop Research*, 55: 209-223.
- Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Hassous, K. L. (2005).** Selection of high yielding of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi-arid conditions. *Journal of Agronomy*, 4(4): 360-365.
- Belagrouz, A., Chennafi, H., Bouzerzour, H., Hakimi, M., Razem, R., & Hadj Sahraoui, A. (2018).** Relationships among water use efficiency and the physio-agronomic traits in

Références Bibliographiques

- durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars assessed under rainfed conditions of the eastern high plateaus of Algeria. *Agriculture & Forestry*, 64(3): 159-172.
- Belahcene, N., Bensid, A., Benbelkacem, H., & Bouzerzour, H. (2006).** Contribution des nouvelles obtentions de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) à l'amélioration du rendement dans le constantinois. *Céréaliculture*, 50: 13-19.
- Belkharchouche, H., Fellah, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Chellal, N. (2009).** Vigueur de croissance, translocation et rendement en grains du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi arides. *Courrier du Savoir*, 9: 17-24.
- 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.
- Ben Salem, M., Boussem, H., & Slama, A. (1997).** Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF/UREF), Orsay, Sécheresse, 2: 75- 83.
- Benmahammed, A., Bouzerzour, H., Mekhlouf, A., & Benbelkacem, A. (2008).** Variation de la teneur relative en eau, l'intégrité cellulaire, la biomasse et l'efficacité d'utilisation de l'eau des variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var *durum*) conduites sous contraintes hydrique. *Recherche Agronomique, INRA*, 21: 37-47.
- Benmahammed, A., Kribaa, M., Bouzerzour, H., & Djekoun, A. (2010).** Assessment of stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) advanced breeding lines under semi-arid conditions of the eastern high plateaus of Algeria. *Euphytica*, 172(3): 383-394.
- Benseddik, S. (2017).** Evaluation de la qualité technologique et physico - chimique des farines produites par les différentes minoteries de la wilaya de Tlemcen. Mémoire de master. Univ Abou Bekr Belkaid, 65 p.
- 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.
- Bhanu, A. N., Arun, B., & Mishra, V. K. (2018).** Genetic Variability, Heritability and Correlation Study of Physiological and Yield Traits in Relation to Heat Tolerance in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 2(1): 2112-2116.
- Blum, A. (1996).** Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation*, 20: 135-148 p.

Références Bibliographiques

- Bourouh, L., & Maadadi, A. (2020).** Sélection pour la performance et la stabilité du rendement de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) en zone semi-aride d'altitude. Mémoire de Master, université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A., 44 p.
- Bouzerzour, H., Djekoune, A., Benmahammed, A., & Hassous, L. (1998).** Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité au rendement de l'orge (*H. vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude, Méthodes et techniques, Cahiers Agricultures, 07 : 307-17.
- Cechin, I., Rossi, S. C., Oliveira, V. C., & Fumis, T. F. (2006).** Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. *Photosynthetica*, 44(1): 143-146.
- Chellali, B. (2007).** Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire. <http://www.lemaghreb.dz.com/admin/folder01/une.pdf>
- Chennafi, H., Aidaoui, A., Bouzerzour, H., & Saci, A. (2006).** Yield response of durum wheat (*Triticum Durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5: 854-860.
- Dakheel, A. J., Naji, I., Mahalazkshmi, V., & Peacock, J. M. (1993).** Morphological traits associated with adaptation of durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Aspects of Applied Biology*, 34: 297-30.
- Din, I., Munsif, F., Shah, I. A., Khan, H., Khan, F. U., Uddin, S., & Islam, T. (2018).** Genetic variability and heritability for yield and yield associated traits of wheat genotypes in Nowshera valley, Pakistan. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 31(3): 216-222.
- Dreier, W., & Göring, M. (1974).** Slushoher solz kongentrasyon en aies verschideu physiologcshe parametr van-mais wrzeln wiss. Z. Drh. Berlin Nath. Natur wiss R, 23, 641-644.
- Eliane, C. G. V., Ivan, S., Marcos, P., Carlos, A. S., Hugo, Bruno C. M., Celso, J. M., & Ellis, R. J. (2007).** The molecular chaperone concepts. *Seminars in Cell and Developmental Biology*, 1: 1-9.
- Fahmi, F., Tahrouch, S., Bouzoubâa, Z., & Hatimi, A. (2011).** Effet de l'aridité sur la biochimie et la physiologie d'*Argania spinosa*. Actes du Premier Congrès International de l'Arganier, Agadir, 299-308.
- Falconer, D. S., & Mackey, F. C. (1996).** Introduction to quantitative genetics. 4th Ed. Longman, New York, 464 p.

Références Bibliographiques

- 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. (2017).** Analyse génétique d'un croisement line x tester, réponse à la sélection et tolérance des stress du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous conditions semi-arides. Thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas, Sétif 1, 230 p.
- Fellahi, Z., Hannachi, A., Ferras, K., Oulmi, A., Boutalbi, W., Bouzerzour, H., & Benmahammed, A. (2017).** Analysis of the phenotypic variability of twenty F3 biparental populations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) Evaluated under semi-arid environment, *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(1): 102-118.
- Fellahi, Z., Hannachi, A., & Bouzerzour, H. (2018).** Analysis of Direct and Indirect Selection and Indices in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Segregating Progeny. *International Journal of Agronomy*, Volume 2018, Article ID 8312857, 11 pages
- 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*, 73(2): 9131-9141.
- Fokar, M., Blum, A., & Nguyen, H. T. (1998).** Heat tolerance in spring wheat. II. Grain filling. *Euphytica*, 104(1): 9-15.
- 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.
- Guru, S. K., Jain, V., Pal, M. A. D. A. N., & Abrol, Y. P. (1999).** Relationship between specific leaf weight and photosynthetic rate in two wheat genotypes. *Indian Journal of Plant Physiology*, 4: 117-20.
- Haddad, L., Bachir, A., Ykhelef, N., Benmahammed, 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.
- Hamli, S. H., Bouzerzour, A., Benmahammed, A., Oulmi, A., & Kadi D. (2015).** Déterminisme génétique des caractères morpho-physiologiques lies au rendement chez le blé dur en zone semi-aride des hauts plateaux Sétifiens, Algérie. *European Scientific Journal*, 11: 146-160.

Références Bibliographiques

- Hannachi, A., Fellahi, Z., Rabti, A., Guendouz, A., & Bouzerzour, H. (2017).** Combining ability and gene action estimates for some yield attributes in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(3): 1519-1534.
- Hossain, M. M., Azad, M. A. K., Alam, M. S., & Eaton, T. E. J. (2021).** Estimation of Variability, Heritability and Genetic Advance for Phenological, Physiological and Yield Contributing Attributes in Wheat Genotypes under Heat Stress Condition. *American Journal of Plant Sciences*, 12(04): 586-602.
- Ibrahim A. M., & Quick J. S. (2001).** Heritability of Heat Tolerance in Winter and Spring Wheat. *Crop Science*, 41: 1401-1405.
- Karakas, O., Gurel, F., & Uncuoglu, A. A. (2011).** Assessment of genetic diversity of wheat Genotypes byresis tancegene analog markers. *Genetic sand Molecular Research*, 10:1098-1110.
- Karimizadeh, R., & Mohammadi, M. (2011).** Association of canopy temperature depression with yield of durum wheat genotypes under supplementary irrigated and rained conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 5: 138-146.
- Khayatnezhad, M., Gholamin, R., Jamaati-e-Somarin, S. H., & Zabihi-Mahmoodabad, R. (2011).** The leaf chlorophyll content and stress resistance relationship considering in Corn cultivars (*Zea mays*). *Advances in Environmental Biology*, 5(1): 118-122.
- Kilic, H., & Yağbasanlar, T. (2010).** The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(1): 164-170.
- Laala, Z., Oulmi, A., Fellahi, Z., & Benmahammed, A. (2021).** Studies on the nature of relationships between grain yield and yield-related traits in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) populations. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 74(3): 9631-9642.
- Labdelli, A. (2011).** Etude des effets des variations morpho-structurales du système racinaire pour la tolérance a la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Mémoire de Magister*, Université Es-Senia, Oran, 120 p.
- Ladoui, K. K., Mefti, M., & Benkherbache, N. (2020).** Sélection de génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) tolérants au stress hydrique par les indices de tolérance à la sécheresse. *Revue Agrobiologia*, 10(1): 1805-12.
- Lebon, E., Pellegrino, A., Tardieu, F., & Lecoœur, J. (2004).** Shoot development in grapevine is affected by the modular branching pattern of the stem and intra and intershoot trophic competition. *Annals of Botany*, 93: 263-274.

Références Bibliographiques

- Lopes, M. S., Reynolds, M. P., Jalal-Kamali, M. R., Moussa, S., Feltaous, M. Y., Tahir, I. S. A., Barma, N., Mannes, M. Y., & Baum, 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-DSASI (2019).** Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Statistiques agricoles et des systèmes d'information, Alger.
- Mazouz, L., & Bouzerzour, H. (2017).** Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologiques dans la sélection du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans le climat semi-aride. Synthèse: *Revue des Sciences et de la Technologie*, 35: 45-58.
- Megherbi, A., Mehdadi, Z., Toumi, F., Moueddene, K., & Bouadjra, S. E. B. (2012).** Tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.) et identification des paramètres morphophysologiques d'adaptation dans la région de Sidi Bel-Abbès (Algérie occidentale), *Acta Botanica Gallica*, 159 (1): 137-143.
- Mekaoussi, R., Rabti, A., Fellahi, Z., Hannachi, A., Benmahammed, A., & Bouzerzour, H. (2021).** Assessment of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes based on their agro-physiological characteristics and stress tolerance indices. *Acta Agriculturae Slovenica*, 11(2): 1-16.
- Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Bemahammed, A., Hadj Sahraoui, A., & Harkati, N. (2006).** Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semiaride. *Sécheresse*, 17: 507-513.
- Messaoudi, N. (2021).** Etude des mécanismes de tolérance aux stress abiotiques chez quelques variétés de blé (*Triticum* sp.). Thèse de Doctorat, Université Mohamed Boudiaf, M'sila, 165 p.
- Moragues, M., Zarco-Hernández, J., Moralejo, M. A., & Royo, C. (2006).** Genetic diversity of glutenin protein subunits composition in durum wheat landraces [*Triticum turgidum* ssp. *turgidum* convar. *durum* (Desf.) Mackey] from the Mediterranean basin. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53: 993-1002.
- Naeem, M. K., Ahmed, M., Noreen, S., Shah, M. K. N., & Iqbal, M. S. (2015).** Estimation of genetic components for plant growth and physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under normal and stress conditions, *SAARC Journal of Agriculture*, 13(1): 90-98.
- Neffar, F. (2013).** Analyse de l'expression des gènes impliqués dans la réponse au stress abiotiques dans différents génotypes de blé dur (*Triticum durum*) et l'orge (*Hordeum*

Références Bibliographiques

- vulgare*) soumis à la sécheresse Ecologie et biologie végétale, université Ferhat Abbas, Sétif, Thèse de Doctorat, 90 p.
- Nouri, L. (2002).** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf), en condition de déficit hydrique. Mémoire de Magister, Univ. Mentouri. Constantine, 77 p.
- Pask, A. J. D., Pietragalla, J., Mullan, D. M., & Reynolds, M. P. (2012).** Physiological breeding II: A Field Guide to Wheat Phenotyping. Mexico D. F. CIMMYT.
- R Development core Team (2020).** R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/index.html>
- Rabti, A. (2021).** Changements des caractères morpho-physiologiques induits par la sélection artificielle du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en Algérie. Thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas, Sétif 1, 150 p.
- 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.
- Regmi, S., Bikram, P., Bishnu, R. O., Raju, K., Priyanka, J., Shovit, K., & Bishnu, P. K. (2021).** Estimation of genetic parameters of different wheat genotype traits in Chitwan, Nepal, International Journal of Agronomy, Article ID 6651325, 10 pages.
- Reynolds, M. P., Pellegrineschi, A., & Skovmand, B. (2005).** Sink-limitation to yield and biomass: a summary of some investigations in spring wheat. Annals of Applied Biology, 146: 39-49.
- Reynolds, M., Dreccer, F., & Trethowan, R. (2007).** Drought adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. Journal of Experimental Botany, 58: 177-186.
- Salmi, M., Benmahammed, A., Benderradji, L., Fellahi, Z., Bouzerzour, H., Oulmi, A., & Benbelkacem, A. (2019).** Generation means analysis of physiological and agronomical targeted traits in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cross. Revista Facultad Nacional de Agronomía, 72(3): 8971-8981.
- Sassi, K., Abid, G., Jemni, L., Dridi-Al Mohandes, B., & Boubaker, M. (2012).** Étude 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.
- Schulthess, A., Matus, I., & Schwember, A. R. (2013).** Genotypic and environmental factors and their interactions determine semolina color of elite genotypes of durum wheat

Références Bibliographiques

- (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) grown in different environments of Chile. Field Crop Research, 149: 234-244.
- Semiani, Y., & Bradea, M. (2016).** Comparative study of proline accumulation of some varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under water stress conditions. Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca: Agriculture. 73(2): 306-310.
- Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M., & Zid, E. (2005).** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Inrat, 16(3): 225-229.
- Spagnoletti-Zeuli, T. L., & Qualset, P. O. (1990).** Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. Plant Breeding, 105: 189 -202.
- Steel, R. G., & Torrie, R. H. (1982).** Principles and procedure of statistics. MCGraw-Hill. Inc. New York.
- Tardieu, F. (2003).** Virtual plants: modelling as a tool for the genomics of tolerance to water deficit. Trends in plant science, 8(1): 1360-1385.
- Tian, F., Wang, W., Liang, C., Wang, X., Wang, G., & Wang, W. (2017).** Overaccumulation of glycine betaine makes the function of the thylakoid membrane better in wheat under salt stress. The Crop Journal, 5(1): 73-82.
- Troll, W., & Lindsley, J. (1955).** A photometric method for the determination of proline. Journal of Biological Chemistry, 215: 655-660.
- Vashishtha, M. (2013).** Targeting H3K4 trimethylation in Huntington disease. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110(32): 3027-3036.
- Xynias, I. N., Mylonas, I., Korpetis, E. G., Ninou, E., Tsaballa, A., Avdikos, I. D., & Mavromatis, A. G. (2020).** Durum Wheat Breeding in the Mediterranean Region: Current Status and Future Prospects. Agronomy, 10: 432.
- Ykhlef, N. (2001).** Photosynthèse, Activité photochimique et tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse de Doctorat. Univ. Mentouri, Constantine.
- Zhu, J. K. (2001).** Plant salt tolerance. Trends in plant science, 6(2): 66-71.

Résumé

La présente étude a été conduite au niveau du site expérimental de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA), unité de Sétif, au cours de la campagne agricole 2020/21. L'objectif est de caractériser la variabilité de la tolérance au stress hydrique chez 34 géotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) dont 30 lignées avancées et 4 témoins sous conditions semi-arides. L'analyse de la variance indique un effet géotype significatif à hautement significatif pour la durée de la phase végétative (DPV), la teneur en chlorophylle (Chl), l'intégrité cellulaire (IC), la teneur en proline (Pro) et le rendement en grains (RDT). Les moyennes minimales et maximales prises par les variables mesurées varient en fonction du caractère et du géotype. L'héritabilité au sens large est forte en valeur pour DPV, Chl, Pro et RDT ; juste moyenne pour IC, la surface foliaire (SF) et le poids spécifique foliaire (PSF) ; et faible pour la teneur relative en eau (TRE) et la température du couvert végétal (TCV). Le ratio CV_g/CV_e suggère que Chl, TRE, IC, TCV, SF et PSF sont trop influencés par la variation du milieu. Une bonne variabilité génétique indiquée par des CV_p et CV_g associée à une héritabilité et un gain génétique aussi élevés pour Pro et RDT suggère que la sélection est envisageable pour ces deux caractéristiques à l'intérieur du matériel végétal évalué. Des progrès génétiques appréciables en termes de rendement en grains et de tolérance au stress hydrique sont observés. La classification hiérarchique répartie les géotypes étudiés en trois groupes qui divergent essentiellement pour Pro et RDT. La L1 est identifiée comme une lignée prometteuse et mérite un suivi particulier dans ce qui s'ensuit de ce programme de sélection.

Mots clés : variabilité, héritabilité, stress hydrique, tolérance, caractères physiologiques, semi-aride.

Abstract

This study was conducted at the experimental site of the National Agronomic Research Institute of Algeria (INRAA), unit of Setif, during the crop season 2020/21. The objective is to characterize the variability of drought tolerance in 34 bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes including 30 advanced lines and 4 checks under semi-arid conditions. Analysis of variance indicated a significant to highly significant genotypic effect for the duration of the vegetative phase (DPV), chlorophyll content (Chl), membrane thermostability (IC), proline content (Pro) and grain yield (RDT). The minimum and maximum means taken by the variables measured varied depending on the trait and the genotype. Broad-sense heritability was high for DPV, Chl, Pro and RDT; intermediate for IC, flag leaf area (SF) and leaf specific weight (PSF); and low for the relative water content (TRE) and canopy temperature (TCV). The CV_g/CV_e ratio suggests that Chl, TRE, IC, TCV, SF and PSF were highly influenced by the environment. Sufficient genetic variability indicated by CV_p and CV_g associated with high heritability and elevated genetic gain were registered for Pro and RDT suggesting that selection is possible for these two characteristics within the plant material tested. Appreciable genetic progress in terms of grain yield and drought tolerance were observed. The hierarchical classification divided the genotypes studied into three groups which essentially diverged for Pro and RDT. The L1 line was identified as promising breeding line and deserves special follow-up in next steps of this breeding program.

Key words: genetic variability, heritability, water stress, tolerance, physiological traits, semi-arid.

ملخص

أجريت هذه الدراسة في الموقع التجريبي للمعهد الوطني الجزائري للبحث الزراعي (INRAA)، وحدة البحث بسطيف خلال الموسم الزراعي 2020/21. الهدف منها هو توصيف تحمل الإجهاد المائي لـ 34 نمطاً وراثياً من القمح اللين (*Triticum aestivum* L.) منها 30 سلالة متقدمة و 4 شواهد تحت ظروف بيئية شبه قاحلة. يشير تحليل التباين إلى وجود تأثير وراثي معنوي لطول المرحلة الخضرية (DPV)، محتوى الكلوروفيل (Chl)، سلامة الخلية (IC)، محتوى البرولين (Pro) و المردود الحبي (RDT). اختلفت القيم الدنيا و القصوى للمتغيرات المقاسة باختلاف الصفة و النمط الوراثي. كانت درجة التوريث بمفهومها الواسع عالية لـ DPV، Chl، Pro، و RDT؛ متوسط لـ IC و مساحة الورقة (SF) و الوزن النوعي للأوراق (PSF)؛ ومنخفضة بالنسبة للمحتوى المائي النسبي (TRE) و درجة حرارة الغطاء النباتي (TCV). تشير نسبة CV_g/CV_e إلى تأثير Chl، TRE، IC، PSF، و SF بالوسط. تزامن التباين الوراثي العالي المشار إليه عن طريق CV_p و CV_g مع درجة توريث عالية و مكاسب وراثية مرتفعة لـ Pro و RDT ما يجعل الانتخاب لهاتين الخاصيتين ممكن داخل المادة النباتية التي تم اختبارها. لوحظ تقدم وراثي مقبول من حيث المردود الحبي و تحمل الإجهاد المائي. قسّم التصنيف الهرمي الأنماط الوراثية المدروسة إلى ثلاث مجموعات و التي تتباعد أساساً لـ Pro و RDT. تعتبر L1 سلالة واعدة و تستحق متابعة خاصة فيما يلي من برنامج الانتخاب هذا.

كلمات مفتاحية: تباين وراثي، درجة التوريث، إجهاد مائي، تحمل، صفات فسيولوجية، شبه جاف.