

Université Mohamed Boudiaf - M'sila



FACULTÉ DES SCIENCES DÉPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

Numéro de série :

Numéro d'inscription :

Thèse

Présentée pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT 3ème cycle (LMD)

Spécialité: Sciences Agronomiques
Option: Production et Protection des végétaux.

THÈME

Contribution à la sélection de l'adaptation de quelques génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans les conditions agro-climatiques semi-arides de la région de Sétif.

Présentée Par

Hocine BENDADA

Soutenue le : 11/ 04/ 2021

Devant le jury composé de:

<u>Nom & Prénom</u>	<u>Grade</u>	<u>Etablissement</u>	<u>Qualité</u>
BENDERADJI Laid	Professeur	Uni. de M'sila	Président
BENNIYOU Ramdane	Professeur	Uni. de M'sila	Encadreur
GUENDOZ Ali	M R A	INRAA. de Sétif	Co- Encadreur
BENKHERBACHE Nadjat	MCA	Uni. de M'sila	Examinatrice
BAHLOULI Fayçal	Professeur	Uni. de BBA	Examineur
MEFTI Mohamed	Professeur	ENSA d'Alger	Examineur

Année Universitaire : **2020/2021**

REMERCIEMENTS

Louanges à « **ALLAH** » le tout puissant et le miséricordieux qui a orienté mes sens vers les bons choix et les bons réflexes afin que ce modeste travail aboutisse à sa bonne fin.

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse le Professeur Benniou Ramdane, de l'université de M'sila, qui m'a fait l'honneur de m'encadrer. J'ai pu apprécier les qualités d'un homme de science et de pédagogie mais aussi des qualités humaines qui m'ont permis de travailler en toute sérénité et confiance. Je lui suis particulièrement reconnaissant et redevable pour le temps et l'énergie qu'il m'a toujours accordé pour me transmettre des conseils, des orientations et surtout une sagesse dont le moindre qu'en puisse dire et celle des grands maîtres, je peux m'estimer très privilégié. Veuillez bien trouver ici l'expression profonde de mon estime.

Je n'ai pas les mots pour remercier mon co-directeur le Docteur Guendouz Ali, de l'INRAA de Sétif. Avec lui, j'ai tellement appris que ces petits mots me paraissent insuffisants. Sa vitalité et son dynamisme m'ont beaucoup aidé dans ce travail. Il a toujours été là pour moi. Ses conseils et sa patience ne semblent pas avoir de limite. Travailler avec lui a été non seulement une expérience enrichissante, mais aussi personnelle. Je remercie, notamment pour sa gentillesse et ses qualités humaines hors-normes. Veuillez trouver ici l'expression de mon profond respect.

Mes vifs remerciements vont à Monsieur le professeur Benderradji Laid de l'université de M'sila qui m'a fait l'honneur de présider le jury et à Madame; le Docteur BENKHERBACHE Nadjet de l'université de M'sila, aux Messieurs les professeurs; BAHLOULI Fayçal de l'université de BBA et MEFTI Mohamed de l'ENSA d'Alger d'avoir prêté leur temps pour lire, examiner et juger ce modeste travail.

Je tiens également à remercier sincèrement et profondément tous mes collègues et amis (es) de l'ITGC et particulièrement ceux de la station de Sétif: Monsieur le directeur Louahdi Nasreddine, les ingénieurs chercheurs particulièrement Messieurs: Mehanni Omar, Selloum Samir, Taïbi Mourad, Foudil Kheireddine, Belguet Haroune, Guemaze Sofiane, Fortas Salah,

Harkati Bachir, Assousse Lyamine, ainsi que le reste du personnel et ouvriers pour leurs soutiens et encouragement.

Mes remerciements les plus sincères sont aussi adressés à l'équipe de l'INRAA de Sétif et plus spécialement Messieurs Hannachi Abderrahmane, Benidir Mohamed pour leur aide, leurs conseils et leur savoir et savoir-faire dont ils m'ont toujours fait part. Je leur suis particulièrement redevable et reconnaissant.

Je ne saurais oublier de remercier le CNCC de Sétif avec tout son personnel pour l'aide précieuse et inconditionnelle et plus particulièrement celle du directeur Monsieur Hadj Sahraoui.

Je remercie tous ceux qui ont, directement ou indirectement, contribué à la réalisation de ce modeste travail.

Je remercie mes chers parents et que quoi que je dise, ne saurais exprimer envers eux ma reconnaissance pour leur patience, leur appui sans faille et leur présence à tous les instants et dans toutes les épreuves. Je remercie par la même occasion ma chère épouse, mes chers enfants Tamim et Sadja, tous les membres de ma famille, mes frères et sœurs leur épouse et époux et leurs enfants pour le soutien qu'ils m'ont apporté.

HOCINE

LISTE DES ABREVIATIONS

ABA	Acide abscissique
ACP	Analyse en Composantes Principales
ADN	Acide désoxyribonucléique
AFI	L'intensité absolue de la vitesse de remplissage des grains
AFLP	Polymorphisme de longueur de fragment d'amplification
ANOVA	Analyse of variance
ACSAD	Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry lands
ATP	Adénosine triphosphate
b	Coefficient de régression
CHL	La teneur en chlorophylle
CIMMYT	International Maize and Wheat Improvement Center
CM	Carré moyen
cm	Centimètre
cm²	Centimètrecarré
CV	Coefficient de variation
°C	Degré Celsius
DVG	Durée de phase végétative
ddl	Degré de liberté
FLR	Réflectance de feuille drapeau
ET	Écart type
FAO	Food Agriculture Organization
g	Gramme
G	Génotype
GDD	Degrés-jours de croissance
GFD	Durée de remplissage des grains
GFR	Taux de remplissage des grains
H	Hordeum
ha	Hectare
HI	Indice de récolte (harvest index)
IC (%)	Intégrité cellulaire
ICARDA	International Center of Agricultural Research in Dry Areas
INRAA	Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie
ITGC	Institut Technique des Grandes Cultures
kg	kilogramme
LB	Longueur des barbes
LE	Longueur de l'épi
LP	Longueur du pédoncule
m	Mètre
m²	Mètre carré

MADR	Ministère de l'agriculture et du développement rural
MAP	Mono ammonium phosphate
MFR	Vitesse maximale de remplissage des grains
MGW	Poids maximum des grains
mg	Milligramme
ml	Millilitre
mm	Millimètre
Mt	Million de tonne
NEM	Nombre d'épis par mètre carrée
NGE	Nombre de grain par épi
NIA	Analyse d'images numériques
ONM	Office National de Météo
P	Probabilité
PCR	Amplification en Chaîne par Polymérase
PE	Poids des épis
PHT	Hauteur de la plante
PMG	Poids de 1000 Grains
Ppds	Plus petite différence significative
PSF	Poids spécifique foliaire
q	Quintaux
q/ha	Quintaux par hectare
QTL	Quantitative traits loci (loci des caractères quantitatifs).
RAPD	Polymorphisme d'ADN par Amplification Aléatoire
RFLP	Polymorphisme de longueurs de fragments de restriction
RDT	Rendement grain
RVB	Réflectance en rouge, vert et bleu
Sa	Sénescence moyenne
SAM	Sélection assisté par les marqueurs
SE	Erreur standard du coefficient de régression
SEA	Station Expérimentale Agricole
SF	Surface de la feuille étendard
t	calculé pour le coefficient de régression
TCV	Température du couvert végétal
TRE	Teneur relative en eau
USDA	United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service
Vs	Vitesse de sénescence
Σ50s	Date de la mi-sénescence

LISTE DES FIGURES

Figure.1	Orge à deux rangs (a) et orge à six rangs (b) Photos par E.F. El-Hashash.	8
Figure.2	Description de la mesure de la sénescence foliaire à l'aide d'IPP (Image Pro Plus, version 4, Media Cybernetics, SilverSpring, MA, USA).	43
Figure.3	Description de la mesure de la réflectance en RVB (Rouge, Vert, Bleu) à l'aide du logiciel Mesurim Pro.	44
Figure.4	Pluviométrie et température moyenne mensuelles enregistrées au cours des deux campagnes agricoles d'études sur le site expérimental de l'ITGC de Sétif.	48
Figure.5	Pluviométrie moyenne saisonnière du site expérimental de la SRA-ITGC de Sétif enregistrées au cours des campagnes agricoles d'études.	49
Figure.6	Cycle bimodale de la variation des moyennes de la température moyenne saisonnière du site expérimental de la SRA-ITGC de Sétif enregistrées au cours des campagnes agricoles d'études.	50
Figure.7	Déviations par rapport à la moyenne générale du rendement et certains paramètres mesurés en fonction de types d'orge	63
Figure.8	Liaison entre le rendement en grain, le nombre d'épis/m ² et le poids de mille grains chez les orges à deux rangs.	77
Figure.9	Liaison entre le rendement en grain, le nombre d'épis/m ² et le nombre de grains par épi chez les orges à six rangs.	78
Figure.10	Liaison entre le rendement en grain, l'indice de récolte chez les deux types d'orge (2 rangs à gauche et 6 rangs à droite).	79
Figure.11	Liaison entre la sénescence moyenne (S%) et le poids de mille grains chez les deux types d'orge (deux rangs à droite et six rangs à gauche).	81
Figure.12	Liaison entre la teneur en chlorophylle et la réflectance en rouge et en bleu chez l'orge à 6 rangs.	82
Figure.13	Liaison entre la durée de remplissage des grains (GFD) et la sénescence moyenne (S%) d'une part et la somme de la température correspondant à la date de la mi-sénescence ($\Sigma 50s$) d'autre part chez l'orge à 6 rangs.	85
Figure.14	Liaison entre la durée de remplissage des grains et le poids de mille grains (PMG) d'une part et entre l'intensité absolue de la vitesse de remplissage des grains (AFI) et le rendement en grain (RDT) d'autre part chez l'orge à 6 rangs.	85
Figure.15	Représentation des caractères mesurés sur les axes principaux 1 et 2.	92
Figure.16	Corrélation des caractères mesurés et des génotypes avec les axes principaux 1 et 2.	93
Figure.17	La relation entre les coefficients de régression et le rendement moyen en grains pour les génotypes d'orge testés.	97
Figure.18	Relation entre l'indice de stabilité d'écovalence de Wricke (Wi^2) et le rendement moyen en grains (Q / ha) pour les génotypes d'orge testés.	98
Figure.19	Relation entre l'indice non paramétrique de Nassar et de Huhn ($Si(1)$) et le rendement moyen en grains pour les génotypes d'orge testés	99
Figure.20	Relation entre l'indice non paramétrique de Thennarasu (NP^4) et le rendement moyen en grains pour les génotypes d'orge testés.	100
Figure.21	Biplot d'IPC1 (F1) et IPC2 (F2) de la matrice de corrélation de rang des paramètres de stabilité avec le rendement en grain et les génotypes d'orge testés.	102

LISTE DES TABLEAUX

Tableau.1	Superficie récoltée, rendement et production d'orge par rapport aux autres cultures céréalières du monde.	10
Tableau.2	Les dix principaux pays producteurs d'orge.	11
Tableau.3	Evolution des superficies, productions et rendements de l'orge en Algérie (2000 / 2017) (MADR, 2017).	12
Tableau.4	Résultats des analyses physico-chimiques du sol.	37
Tableau.5	Code, pédigrées, types de rangs, origine des géotypes testés dans l'expérimentation.	38
Tableau.6	Liste des paramètres de remplissage des grains calculés.	41
Tableau.7	Liste des géotypes évalués dans l'analyse de stabilité.	46
Tableau.8	Carrés moyens de l'analyse de la variance combinée des caractères phéno-morphologiques.	51
Tableau.9	Valeurs moyennes des caractères morphologiques des géotypes d'orge étudiés au cours des deux campagnes.	57
Tableau.10	Carrés moyens de l'analyse de la variance combinée du rendement et ses composantes.	59
Tableau.11	Valeurs moyennes du rendement et ses composantes des géotypes d'orge étudiés au cours des deux campagnes.	61
Tableau.12	Carrés moyens de l'analyse de la variance combinée des caractères physiologiques.	64
Tableau.13	Valeurs moyennes des caractères physiologiques d'orge étudiés au cours des deux campagnes.	68
Tableau.14	Carrés moyens de l'analyse de la variance combinée des paramètres de remplissage du grain.	69
Tableau.15	Valeurs moyennes des paramètres de remplissage des grains calculés des géotypes étudiés au cours des deux campagnes.	70
Tableau.16	Carrés moyens de l'analyse de la variance combinée des paramètres de la sénescence et la réflectance.	72
Tableau.17	Classement des géotypes basé sur les indices de la réflectance et de la sénescence.	74
Tableau.18	Valeurs moyennes des paramètres de la sénescence et de la réflectance calculés des géotypes étudiés au cours des deux campagnes.	76
Tableau.19	Corrélations phénotypiques entre les variables mesurées chez les orges à 2 et à 6 rangs (corrélations des 2 rangs au-dessus de la diagonale et celles des 6 rangs au-dessous de la diagonale).	80
Tableau.20	Corrélations phénotypiques entre les caractères mesurés chez les orges à 2 et à 6 rangs (corrélations des 2 rangs au-dessus de la diagonale et celles des 6 rangs au-dessous de la diagonale).	83
Tableau.21	Corrélations inter-caractères mesurés chez les populations d'orge à 2 et à 6 rangs (corrélations des 2 rangs au-dessus de la diagonale et celles des 6 rangs au-dessous de la diagonale).	84
Tableau.22	Modèle complet de la régression linéaire multiple du rendement en grains sur les variables pertinentes.	87
Tableau.23	Analyse de régression progressive du rendement en grains et des caractères agronomiques.	88
Tableau.24	Corrélations des variables mesurées avec les 2 premiers axes principaux de l'ACP.	91
Tableau.25	Indice de stabilité paramétrique, non paramétrique et rendement moyen en grains pour les géotypes d'orge testés.	96

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1	ORIGINES GENETIQUE ET GEOGRAPHIQUE DE L'ORGE	5
2	TAXONOMIE DE L'ORGE	6
3	TYPES D'ORGE	7
4	IMPORTANCE ECONOMIQUE DE LA CULTURE DE L'ORGE	9
4.1	DANS LE MONDE	9
4.2	EN ALGERIE	11
5	LES CONTRAINTES CLIMATIQUES DE LA PRODUCTION DES CEREALES SOUS CLIMAT MEDITERRANEEN	13
5.1	STRESSE HYDRIQUE	13
5.2	STRESS THERMIQUE	15
6	LA SELECTION DE L'ORGE POUR LA TOLERANCE AUX STRESS ABIOTIQUES	17
6.1	LA SELECTION POUR AMELIORER LE RENDEMENT GRAIN	17
6.2	LA SELECTION POUR AMELIORER L'ADAPTATION	17
6.2.1	ADAPTATION PHENOLOGIQUE	18
6.2.2	ADAPTATIONS MORPHOLOGIQUES	19
6.2.3	ADAPTATION PHYSIOLOGIQUE	20
6.2.3.1	LA REGULATION STOMATIQUE	20
6.2.3.2	LA TENEUR RELATIVE EN EAU DE LA FEUILLE	21
6.2.3.3	LE MAINTIEN DE L'INTEGRITE MEMBRANAIRE	22
6.2.3.4	LA TEMPERATURE DE LA CANOPEE	23
6.2.4	ADAPTATION BIOCHIMIQUE	24
6.2.4.1	LA TENEUR EN CHLOROPHYLLE	24
6.2.4.2	AJUSTEMENT OSMOTIQUE	24
6.2.4.3	ACCUMULATION DE LA PROLINE	25
6.2.4.4	ACCUMULATION DE SUCRES SOLUBLES	26
6.3	LA SELECTION ASSISTEE PAR DES MARQUEURS	26
6.4	SELECTION A L'AIDE D'IMAGES NUMERIQUES POUR ESTIMER LA SENESCENCE FOLIAIRE ET LA REFLECTANCE	30
6.4.1	LA SENESCENCE FOLIAIRE	30
6.4.2	REFLECTANCE FOLIARE	33

7	LES INDICES PARAMETRIQUES ET NON PARAMETRIQUES POUR L'EVALUATION DE LA STABILITE DU RENDEMENT ET DE L'ADAPTABILITE	35
----------	---	-----------

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

1	Localisation et mise en place de l'expérimentation	37
2	Matériel végétal	37
3	Dispositif expérimental	39
4	Notations et mesure	40
4.1	La durée de la phase végétative (DPV, J)	40
4.2	La surface foliaire (SF, cm ²) et poids spécifique foliaire (PSF)	40
4.3	La hauteur de la plante, la longueur de l'épi, du col de l'épi et des barbes	40
4.4	Remplissage des grains	41
4.5	La teneur relative en eau (TRE, %)	41
4.6	L'intégrité cellulaire (IC, %)	42
4.7	La température de la canopée (CT, °C)	42
4.8	Teneur en chlorophylle totale	42
4.9	Sénescence foliaire	43
4.10	Réflectance de feuille drapeau	44
4.11	Le rendement et ses composantes	44
5	Analyse des données	45
6	Analyse de la stabilité	45
6.1	Indices paramétriques	46
6.2	Indices non paramétriques	47

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

1	Présentation et description climatique des années d'études	48
1.1	Pluviométrie	48
1.2	Température	50
2	Etude de la variabilité phénotypique	51
2.1	Les caractères phéno-morphologiques.	51
2.1.1	Hauteur de la plante, la longueur de l'épi, du col de l'épi et des barbes	52
2.1.1.1	Hauteur de la plante (PHT)	52
2.1.1.2	Longueur de l'épi (LE)	52
2.1.1.3	La longueur des barbes (LB)	53
2.1.1.4	Longueur du pédoncule (LP)	53
2.1.2	La durée de la phase végétative (DVG)	54

2.1.3	La surface de la feuille étandard (SF)	55
2.1.4	Poids spécifique foliaire (PSF)	56
2.2	Le rendement et ses composantes	58
2.2.1	Rendement en paille	60
2.2.2	L'indice de récolte	60
2.3	Caractères physiologiques	64
2.3.1	La teneur relative en eau (TRE)	65
2.3.2	L'intégrité cellulaire (IC)	65
2.3.3	La température du couvert végétal (TCV)	66
2.3.4	Le contenu en chlorophylle (CHL)	66
2.4	Remplissage du grain	69
2.5	Sénescence foliaire (S) et Réflectance de feuille drapeau	72
2.5.1	Sénescence foliaire (S)	73
2.5.2	Réflectance de feuille drapeau	75
3	Corrélations entre caractères	77
4	Régression multiple	86
5	Régression progressive (Stepwise analysis)	87
6	Analyse en composantes principales	90
7	Analyse de stabilité du rendement en grain	95
7.1	Indices paramétriques	95
7.2	Indices non paramétriques	98
7.3	Association entre les indices de stabilité et le rendement en grain	100
7.4	Classification basée sur l'analyse en composantes principales	101
	CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVE	104
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	107
	ANNEXE	133

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Conduite en pluviale et sous climat méditerranéen, la céréaliculture algérienne est soumise à une multitude de stress abiotiques, dont l'eau est le principal facteur limitant. Par conséquent, toute approche visant une meilleure valorisation des faibles précipitations reçues reste un important objectif de la recherche agronomique. Cependant cette valorisation est ciblée à travers l'adoption d'un itinéraire technique plus résilient, notamment en termes de fertilisation azotée, de désherbage et de dates de semis. Dans cet itinéraire le choix de l'espèce et de la variété à adopter tient une place importante et permette d'assurer des productions plus régulières même en conditions relativement difficiles.

Parmi les céréales, l'orge (*Hordeum vulgare* L.) est la première céréale alimentaire domestiquée à travers le monde (Wang *et al.*, 2015); c'est l'une des rares espèces cultivées avec succès dans les zones semi-arides, où les précipitations varient considérablement d'une année à l'autre. Cette culture a le potentiel de pousser dans des conditions de sécheresse et de salinité. Le grain d'orge est utilisé comme fourrage, comme nourriture, tandis que la paille d'orge fournit une source importante de fourrage. À l'échelle mondiale, le grain d'orge est très important aujourd'hui, et occupe la quatrième place en termes de quantité produite et de superficie cultivée dans le monde après le blé, le riz et le maïs. En 2018/ 2019, la récolte mondiale annuelle d'orge était d'environ 140.602 milliers de tonnes sur une superficie d'environ 47.009.175 ha (USDA, 2019).

En Algérie, suite à sa relative adaptabilité aux zones sèches, la culture de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) est la culture prédominante, à côté du blé dur (*Triticum durum* Desf.), avec près de 1,3 millions d'hectares emblavés annuellement (Benbelkacem, 2013).

La culture de cette espèce est surtout plus présente entre les isohyètes 250 et 450 mm, caractérisées par de fortes variations intersaisonnières et intra-saisonnières en termes de quantité et de répartition des précipitations. Affectée par les contraintes environnementales, tout le long du cycle de développement de la plante, la production est fortement variable (Menad, 2008).

Les plantes sont exposées à de nombreux facteurs de stress au cours de leur cycle de vie ; ce qui a un effet significatif sur la croissance des plantes. Les stress biotiques (pathogènes, compétition avec d'autres organismes) et abiotiques (sécheresse, salinité, radiations, températures

élevées ou congélation,...) provoquent des changements dans les fonctions physiologiques normales de toutes les plantes. Le déficit hydrique est sans doute le plus hostile de tous les risques naturels, car elle affecte la croissance et le développement des plantes et entraîne une réduction importante de la production agricole dans le monde entier. Il se révèle dans la plante par une série de changements qui affectent les niveaux d'expression morphologique, physiologique, biochimique et génétique (Gerszberg et Hnatuszko-Konka, 2017).

Comme le déficit hydrique affecte le rendement, les techniques qui assurent une meilleure conservation et utilisation des précipitations, ainsi que celles qui réduisent des effets des stress sont les plus recherchées, telle que l'irrigation d'appoint (Chennafi *et al.*, 2006). En absence d'irrigation, l'amélioration génétique est un moyen relativement efficace pour concilier performance et adaptation (Ceccarelli *et al.*, 1998 ; Nouar *et al.*, 2010 ; Kadi *et al.*, 2010). En effet, l'amélioration génétique permet de cibler des génotypes qui présentent des potentialités d'atténuation des effets de stress aussi bien biotiques qu'abiotiques.

La sélection variétale est en faveur de variétés résistantes qui peuvent produire des rendements élevés et réduire les dangers économiques d'une mauvaise récolte, non seulement dans les zones semi-arides, mais aussi dans les zones tempérées où la sécheresse et la chaleur sont temporairement menaçantes (Benkherbache, 2013). L'amélioration des rendements en grain, dans une région passe essentiellement par la recherche d'une meilleure adaptation à l'environnement et de trouver des variétés qui réalisent des bons résultats.

Pour ce faire la sélection doit se faire, simultanément, sur la base de la tolérance des stress et du potentiel de rendement (Fellah *et al.*, 2002 ; Benmahammed *et al.*, 2010a ; Fellahi *et al.*, 2013, Hannachi *et al.*, 2013; Oulmi *et al.*, 2014). Les sélections d'orge, relativement plus récentes, montrent une faible stabilité spatio-temporelle. De plus, les variétés relativement stables ne sont pas les plus productives (Kadi *et al.*, 2010 ; Menad *et al.*, 2011). La présence de l'interaction génotype x milieux suggère que la sélection sur la base du rendement en grains est certes, efficace dans l'identification de génotypes à haut potentiel de rendement, mais elle l'est moins dans l'identification des génotypes à large adaptation (Menad *et al.*, 2011).

Ceccarelli *et al.*, (2006) mentionnent que la recherche d'une large adaptation conduit à l'identification de peu de génotypes adaptés sur de vastes zones, où la

variation climatique est très importante. Ce type de sélection diminue de la diversité génétique et augmente les risques d'obtention de faibles rendements. Il sous valorise la spécificité des terroirs (Kadi *et al.*, 2010).

Pour approcher l'adaptation la sélection s'appuie sur des caractéristiques morpho-physiologiques comme aides à la sélection. Ces caractéristiques sont nombreuses dont la capacité de tallage épis, le développement racinaire, la vigueur de la croissance précoce, le potentiel hydrique foliaire, la teneur relative en eau, l'efficacité d'utilisation de l'eau, le nombre et la taille des stomates, la stabilité membranaire, l'ajustement osmotique, la tolérance à la dessiccation, l'enroulement foliaire, la température de la feuille ou de la canopée, la précocité d'épiaison et à maturité, l'accumulation des métabolites et ainsi la remobilisation des assimilats stockés dans le col de l'épi.

Tembe *et al.*, (2017), ont mesuré la teneur en eau relative de la plante et la température de la canopée pour identifier la variété la plus tolérante à la sécheresse. Geetha *et al.*, (2017), se sont concentrés sur l'accumulation de composants osmotiques et l'intégrité de la membrane. Lalić *et al.*, (2017), s'intéressant au développement du système racinaire (longueur, nombre, diamètre et architecture racinaire). Ces caractères doivent être liés au potentiel de rendement pour améliorer simultanément la productivité et l'adaptabilité à la diversité des milieux (Richards *et al.*, 2002 ; Reynolds *et al.*, 2007 ; Benmahammed *et al.*, 2010a ; Pask *et al.*, 2012 ; Hamli *et al.*, 2015 ; Belkharchouche *et al.*, 2015).

Le présent travail se fixe pour objectif l'évaluation la productivité et l'adaptabilité de plusieurs génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) afin de sélectionner les génotypes performants et tolérants aux stress abiotiques qui caractérisent la région semi-aride.

Les paramètres étudiés ont été portés sur l'évaluation de plusieurs caractères adaptatifs participant à l'amélioration de la tolérance aux stress abiotique, d'ordre :

- Phénologiques comme la précocité,
- Morpho-physiologiques tels que: la hauteur des plantes, la longueur du col de l'épi, la longueur de l'épi, la longueur des barbes, la surface foliaire, la teneur relative en eau (TRE, %), l'intégrité cellulaire (IC, %), la température de la canopée (TCV, °C), la teneur en chlorophylle (SPAD).

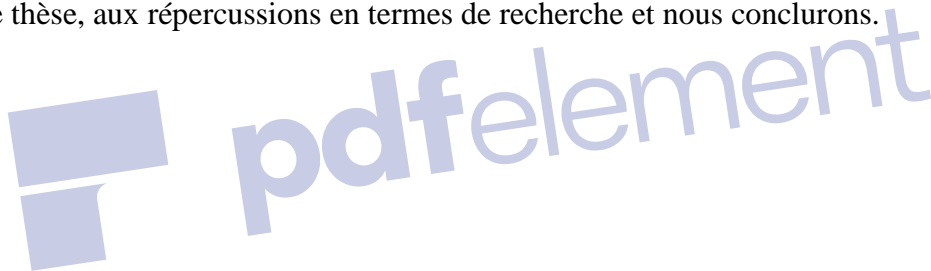
- Le rendement et ses composantes (le nombre d'épis, de grains par épi, le rendement grain et le poids de 1000 grains).
- L'utilisation de la technologie d'analyse d'images numériques (NIA) pour estimer la sénescence et la réflectance dans la sélection des génotypes tolérants.

Notre thèse s'intitule donc « *Contribution à la sélection de l'adaptation de quelques génotypes d'orge (*Hordeum vulgare L.*) dans les conditions agro-climatiques semi-arides de la région de Sétif* ». Ce document est organisé de la façon suivante :

Dans un *premier chapitre (synthèse bibliographique)*, on explicitera les généralités sur la culture d'orge, les contraintes de production, les mécanismes de sélection et d'adaptation aux stress abiotiques, ainsi que les indices paramétriques et non paramétriques pour l'évaluation de la stabilité du rendement et de l'adaptabilité.

Dans un *deuxième chapitre*, on présentera la description de la méthodologie de travail adoptée d'une manière détaillée et le matériel végétale.

Le troisième chapitre sera réservé à la présentation des résultats obtenus, aux perspectives de la présente thèse, aux répercussions en termes de recherche et nous conclurons.





CHAPITRE I

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1. ORIGINES GENETIQUE ET GEOGRAPHIQUE DE L'ORGE

L'orge cultivée (*Hordeum. vulgare* L.), de constitution génomique diploïde ($2n=14$) est une espèce très ancienne, elle est l'une des cultures fondatrices de l'agriculture du vieux monde et l'une des premières cultures domestiquées au Proche-Orient (Robinson, 2007).

L'utilisation de l'orge par l'homme comme aliment remonte, selon Harlan, (1975), au néolithique, soit il y a 12.000 ans. Des graines trouvées dans les fouilles situées dans le croissant fertile attestent de l'origine géographique.

La recherche archéologique et génétique a indiqué que le Croissant fertile du Moyen-Orient ainsi que le Tibet et l'Éthiopie (Hauts plateaux d'Abyssinie) sont le centre d'origine de l'orge (Newman et Newman, 2006; Feuillet *et al.*, 2008). Des disputes scientifiques ont eu lieu récemment au sujet de l'origine géographique de domestication de l'orge.

Des études basées sur l'analyse des gènes nucléaires et des simples séquences répétées (SSR) chloroplastiques suggèrent que l'origine de domestication de l'orge était le Maroc (Molina-Cano *et al.*, 1999). Ceci est contesté par l'étude de Blattner *et al.*, (2001) qui soutient l'idée que c'est le Moyen-Orient qui est le centre géographique de domestication de cette espèce, alors que l'étude de Orabi *et al.*, (2007) suggère plutôt que c'est l'Éthiopie et l'Érythrée qui sont les centres primaires de domestication.

Des travaux soutiennent, sur la base des restes trouvés dans des fouilles près de la mer morte, que la domestication de l'orge est beaucoup plus ancienne et date de plus de 23.000 ans (Nadel *et al.*, 2004). Ainsi, des restes d'orge, datant de 17.000 à 18.000 ans, ont été aussi découverts dans des fouilles près de la ville d'Aswan en Égypte (Nadel *et al.*, 2004).

Selon Bothmer *et al.*, (2003), les centres de diversité du genre *Hordeum* sont le Moyen-Orient, l'Ouest et le Sud américain et le pourtour du bassin méditerranéen. Les espèces appartenant au genre *Hordeum* envahissent divers habitats naturels. Les espèces pérennes se rencontrent dans les milieux humides, alors que les espèces annuelles se développent dans des environnements divers et variables. Parmi ces espèces, plusieurs montrent de l'adaptation aux conditions extrêmes de salinité, de sécheresse, de froid et de hautes températures (Bothmer *et al.*, 2003). Les études conduites pour déterminer l'origine génétique s'accordent à conclure que l'ancêtre sauvage de l'orge commune est probablement *H vulgare ssp spontaneum*, qui est encore présent au Moyen-Orient et en Afrique du Nord.

H. vulgare ssp. spontaneum, se caractérise par un épi cassant arborant 2 rangs de grains nus (Bothmer *et al.*, 2003). Cette espèce s'auto-sème facilement et c'est une caractéristique inexistante chez l'orge à 6 rangs cultivée dont le rachis est rigide. L'orge à 6 rangs se distingue aussi par des grains vêtus dont la dormance est de faible durée (Bothmer *et al.*, 2003). L'espèce sauvage est de type 2 rangs ce qui appuie l'idée avancée que l'ancêtre de l'orge est de type 2 rangs.

2. TAXONOMIE DE L'ORGE

L'orge appartient au genre *Hordeum* de la tribu des Triticées, de la famille des Poacées (communément connue sous le nom de graminées) (Badr *et al.*, 2000). La tribu Triticeae comprend d'importantes cultures céréalières telles que le blé, le riz, le maïs, l'orge, l'avoine, le seigle et le triticales.

L'orge cultivée (*Hordeum Vulgare* L.) dont la classification est la suivante (<http://www.itis.gov/>) :

Règne :	Plantae
Sous règne :	Tracheobionta
Super-division :	Spermaphyta
Division :	Magnoliophyta
Classe :	Liliopsida
Sous classe :	Commelinidea
Ordre :	Cyperales
Famille :	Poaceae
Genre :	<i>Hordeum</i>
Espèce :	<i>H. vulgare</i>
Sous espèce :	<i>H. vulgare</i> L. subsp <i>spontaneum</i> C. Koch

Le genre *Hordeum* comporte des espèces annuelles telles que *H. vulgare* et *H. marinum* et des espèces pérennes telle que *H. bulbosum*. Les nombreuses espèces du genre *Hordeum* se caractérisent par un nombre chromosomique de base $X = 7$. *H. vulgare* L. ssp. *vulgare* et son ancêtre sauvage *H.vulgare* L. ssp. *spontaneum* (C. Koch.) Thell sont des diploïdes avec $2n = 2x = 14$ chromosomes.

Les autres espèces du genre *Hordeum* sont soit diploïdes, tétraploïdes ($2n=4x=28$) ou hexaploïdes ($2n=6x=42$) (Bothmer *et al.*, 2003). Les génomes des deux espèces annuelles

méditerranéennes, *H. marinum* et *H. murinum*, divergent des génomes des autres espèces du genre *Hordeum* et ils sont désignés respectivement par X et Y. Le reste des espèces de ce genre sont assez proches et leur génome est désigné par *H* (Bothmer *et al.*, 2003).

D'après Von Bothmer *et al.*, (2003), il existe 32 espèces, pour un total de 45 taxons, du genre *Hordeum*. Linné (1975, in Benmahammed, 1996), a établi une classification des orges d'après la fertilité ou non des épillets latéraux et la compacité des épis, qui se résume ainsi :

1- Epillets médians et latéraux fertiles :

- Epi compact: *Hordeum hexastichum* L.
- Epi lâche: *Hordeum tetrastichum* L.
- Epi lâche à grain nu : *Hordeum vulgare* var. *coelisti*. L.

2- Epillets médians seuls fertiles:

- Epi compact: *Hordeum Zeocrithon* L.
- Epi lâche : *Hordeum distichum* L.
- Epi lâche à grain nu : *Hordeum distichum* L. var. *nudum*.

Sur chaque nœud, les épis d'orge comportent trois épillets, doté chacun d'une fleur unique. L'orge à deux rangs ou l'orge distique (*Hordeum distichum*) regroupe les variétés chez lesquelles les épillets latéraux sont stériles. Seul l'épillet central produit un caryopse.

3. TYPES D'ORGE

L'orge possède de nombreux cultivars et il existe de nombreuses façons de les classer. La classification des cultivars d'orge a commencé à la fin du XIXe siècle avec le botaniste allemand Körnicke (1885). Dans son travail systématique sur l'orge, Körnicke a décrit 44 formes botaniques d'orge en utilisant la fertilité des épillets, la couleur, la nature de l'arête et de la glume.

Selon Grillot (1959), sa classification est basée sur la fertilité des épillets latéraux, la densité de l'épi et la présence ou l'absence des barbes. On peut également décrire l'orge de seconde manière par: de type fourrager ou malt, de hauteur (orge nain) et de couleur de graine

(incolore, blanc, jaune, bleu). L'orge peut être divisée en deux types principaux en fonction du nombre de rangs de grains:

1- Orge à deux rangs, car l'épi contient deux rangées de grains d'orge (figure. 1.a).

Les épillets médians de ce type sont fertiles et les épillets latéraux sont stériles, entraînant la présence d'une graine à chaque nœud (Kling, 2004). Lorsque l'épi est vu, il semble y avoir deux rangées de grains (Kumlehn et Stein, 2014). Chaque épi produit de 15 à 30 grains. En règle générale, il semble que l'orge à deux rangs présente les meilleures performances parmi les grains dont le poids en grains et le contenu en amidon sont les plus élevés, (Bowman *et al.*, 2011). L'orge sauvage est de type 2 rangs ; ce qui appuie l'idée avancée que l'ancêtre de l'orge est de type 2 rangs.

2- Orge à six rangs, car l'épi contient six rangées de grains d'orge (figure. 1.b).

Tous les épillets sont fertiles. Quand l'épi est vu du haut, il semble y avoir six rangées de graines (Kumlehn et Stein, 2014). Chaque épi produit de 25 à 60 graines. Un seul épi d'orge peut produire jusqu'à 80 graines (Kling, 2004). De nombreuses sources ne différencient que les cultivars à deux et six rangs, car l'orge à quatre rangs est en réalité une orge large à six rangs.



Figure 1 : Orge à deux rangs (a) et orge à six rangs (b) Photos par E.F. El-Hashash

Selon Komatsuda *et al.*, (2007), le type de rangs est contrôlé par deux gènes, *Vrs1* et *Int-c*, qui sont portés respectivement par les 2H et 4H.

Le type à deux rangs a pour génotype *Vrs1Vrs1int-c int-c*, et le type à 6 rangs a pour génotype *vrs1vrs1Int-c Int-c* (Komatsuda *et al.*, 2007). Le gène récessif *vrs1* est présent chez toutes les orges à 6 rangs suggérant que cet allèle intervient dans le contrôle génétique du nombre de rangs ou de la fertilité/stérilité des épillets latéraux chez l'orge (Komatsuda *et al.*, 2007). D'autres locis intervenant dans le contrôle génétique de cette caractéristique ont été identifiés dans la descendance des croisements entre orges à 2 et à 6 rangs (Komatsuda *et al.*, 2007 ; Ramsay *et al.*, 2011).

4. IMPORTANCE ECONOMIQUE DE LA CULTURE DE L'ORGE

4.1 DANS LE MONDE

La production d'orge est importante et constitue l'une des huit céréales les plus cultivées au monde. Elle occupe la quatrième position dans la production mondiale après le blé, le maïs et le riz et avant le sorgho, l'avoine, le seigle et le triticale comme le montre le tableau 1. La superficie totale récoltée d'orge au cours de la campagne 2017/ 2018 était de 47,01 millions d'hectares dans le monde (FAOSTAT, 2018).

FAOSTAT (2018) enregistre une production record dans 243 pays à travers le monde. La production d'orge s'est élevée à 147,4 millions de tonnes 2017/ 2018, soit un rendement moyen de 3,14 t/ ha. L'utilisation de l'orge est également estimée à 7,4 millions de tonnes pour l'alimentation humaine, 98,3 millions de tonnes pour l'alimentation animale, 31,6 millions de tonnes à usage industriel (principalement du malt) et environ 8 millions de tonnes pour l'ensemencement.

Les principales zones de production se situent dans les régions d'Europe, d'Asie, d'Amérique du Nord et d'Australie partageant un climat continental. Les dix principaux pays producteurs d'orge en 2017/2018 sont résumés dans le tableau 2. Ces pays avaient la plus grande superficie en croissance d'orge, récoltant 27,48 millions d'hectares et produisant 92,13 millions de tonnes en 2017, qui ont été 8,45 et 62,51 % de la production mondiale totale d'orge, respectivement.

Tableau 1: Superficie récoltée, rendement et production d'orge par rapport aux autres cultures céréalières du monde.

culture	Superficie récoltée (millions d'ha)	rendement (tonnes / ha)	Production (mt)
Blé	218.54	3.53	771.72
Maïs	197.19	5.75	1134.75
Riz	167.25	4.60	769.66
Orge	47.01	3.14	147.40
Sorgho	40.67	1.42	57.60
L'avoine	10.19	2.55	25.95
Seigle	4.48	3.06	13.73
Triticale	4.17	3.74	15.56

Source: FAOSTAT (2018)

La Russie occupe le premier rang des producteurs d'orge avec 13,98 % de la production totale, suivie de l'Australie (9,16%), de l'Allemagne (7,36%) et de la France de 7,15%. Les pays restants produisent chacun entre 5,62% (Ukraine) et 0,27% (Danemark) de la production mondiale. Les rendements en Allemagne, en France, au Royaume-Uni et au Danemark sont considérablement supérieur à la moyenne de la production mondiale (3,14 tonnes / ha). L'Ukraine et le Canada ont enregistré un rendement légèrement supérieur et un taux de croissance supérieur à la moyenne mondiale. En revanche, la Russie, l'Australie, la Turquie et l'Espagne affichaient une moyenne inférieure à la moyenne mondiale. La production, la consommation et les stocks mondiaux d'orge ont diminué de 149,78 millions de tonnes (2015/2016), de 150,35 millions de tonnes (2016/2017) et de 26,34 millions de tonnes (2015/2016) à 141,32, 142,67 et 17,70 millions de tonnes en 2018/2019, respectivement (USDA, 2018). L'augmentation de la production totale d'orge, malgré la diminution de la superficie récoltée, peut être attribuée à l'amélioration des génotypes grâce à diverses méthodes de sélection et à des nouvelles pratiques culturales, telles qu'un contrôle plus efficace des adventices, une utilisation équilibrée d'engrais et la conduite de l'irrigation. Il est également possible que les superficies qui ont été retirées de la production d'orge aient été moins productives que celles maintenues en production (Newman et Newman, 2008).

Tableau 2 : Les dix principaux pays producteurs d'orge

Pays	Superficie récoltée (millions d'ha)	rendement (tonnes / ha)	Production (mt)	Production (% du monde)	Exportations (mt)
Russie	7.848	2.625	20.599	13.975	2.863
Australie	4.834	2.794	13.506	9.163	5.809
Allemagne	1.566	6.930	10.853	7.363	2.898
France	1.671	6.312	10.545	7.154	5.868
Ukraine	2.502	3.312	8.285	5.621	1.571
Canada	2.198	3.591	7.891	5.354	1.207
Royaume-Uni	1.177	6.091	7.169	4.864	1.757
Turquie	2.418	2.936	7.100	4.817	0.006
Espagne	2.598	2.228	5.786	3.925	0.048
Danemark	0.665	6.000	0.399	0.271	0.694

Source: FAOSTAT (2018)

4.2 EN ALGERIE

Dans la plus part des cas, la production des céréales, en Algérie, est en deçà de la demande. Ceci exige une amélioration des rendements aussi bien en milieux favorables qu'en milieux contraignants (Meziani *et al.*, 2011 ; Adjabi *et al.*, 2014).

Dans le contexte du milieu semi-aride, l'agriculture est basée sur des systèmes de production recherchant la minimisation du risque climatique et la valorisation des ressources naturelles. Ces systèmes de production se traduisent par une série de logiques et de comportements qui s'inscrivent globalement dans un cadre dominé par une céréaliculture extensive intégrée à l'élevage ovin (Benniou, 2008). Ces logiques et comportements visent: (1) des investissements dans la céréaliculture assez limités, (2) l'élaboration de rendement des céréales est fortement fonction des pratiques agricoles et donc très variable dans ses performances pour un même scénario climatique (3) une association fréquente des céréales à un troupeau (4) d'où une recherche de fourrages dans le système de production (Benniou, 2008). De fait, La culture d'orge (*Hordeum vulgare* L.), dont les superficies approchent celles du blé dur (*Triticum durum* Desf.), trouve une multitude d'utilisation en alimentation humaine et animale. La demande est élevée en production animale, où cette espèce est utilisée sous forme de grain, de paille et même les chaumes et résidus laissés sur champs sont pâturés (Abbas *et Abdelguerfi*, 2008).

La culture de l'orge est pratiquée, en Algérie, essentiellement sur les hauts plateaux. Les superficies qui lui sont consacrées varient d'une année à l'autre avec une moyenne, sur plus d'un siècle (1901-2005), de 1 million d'hectares et une production moyenne variant de 1,6 à 18 millions q/ an et une moyenne de rendement grain de 6,7 q/ ha (Menad *et al.*, 2011). De 2000 à 2017 les superficies variaient de 200.000 à plus d'un million d'hectares cependant, les rendements restaient faibles et variables d'une année à l'autre de l'ordre de 7 à 17 q/ ha (Tableau 3).

Tableau 3. Evolution des superficies, productions et rendements de l'orge en Algérie (2000 / 2017) (MADR, 2017).

période	Superficies (ha)	Production (q)	Rendement (qx/ha)
2000	215 630	1 632 870	7,57
2001	515 690	5 746 540	11,14
2002	894 900	4 161 120	10,4
2003	833 510	782 380	15,6
2004	1 029 000	12 116 000	13,2
2005	1 023 414	10 328 190	15,1
2006	1 117 715	12 358 800	15,2
2007	1 057 700	11 866 580	12,2
2008	1 195 269	3 959 215	9,1
2009	1 275 616	22 033 586	17,6
2010	1 296 626	15 039 300	12,8
2011	1 214 225	12 580 800	13
2012	1 222 048	15 917 150	15,4
2013	1 304 720	14 986 386	16,7
2014	1 227 431	9 394 009	11,9
2015	802 336	10 305 564	12,8
2016	706 678	9 199 064	13,0
2017	773 063	9 696 964	12,5

L'orge est une espèce très adaptée aux systèmes de cultures pratiqués en zones sèches. Cette adaptation est liée à un cycle de développement plus court et à une meilleure vitesse de croissance en début du cycle. La culture de l'orge s'insère bien dans les milieux caractérisés par une grande variabilité climatique où elle constitue avec l'élevage ovin l'essentiel de l'activité agricole (Hakimi, 1989 ; Ceccarelli *et al.*, 1998 ; Benniou, 2012).

La sélection de nouvelles variétés relativement mieux adaptées et plus productives est un important objectif de recherche dans les régions semi-arides où de faibles progrès ont été faits en la matière notamment en ce qui concerne la tolérance vis-à-vis des stress abiotiques (Ceccarelli *et al.*, 1998 ; Benmahammed *et al.*, 2005).

5. LES CONTRAINTES CLIMATIQUES DE LA PRODUCTION DES CEREALES SOUS CLIMAT MEDITERRANEEN

5.1 STRESS HYDRIQUE

L'agriculture est confrontée à de nombreux défis, qui se sont intensifiés ces dernières années en raison de la lenteur, enregistrée dans l'augmentation des rendements des cultures, causée par des stress biotiques et abiotiques (Grassini *et al.*, 2013). Comme toutes les cultures céréalières, la culture de l'orge se confronte à des contraintes abiotiques sévères notamment le manque d'eau et les températures extrêmes. Ces contraintes sont quasi permanentes et varient du point de vue du degré d'expression et de leur intensité qui induit une variation importante des rendements réalisés.

Le manque d'eau est l'un de facteurs abiotiques les plus préjudiciables, qui est à l'origine des pertes de production agricole dans de nombreuses régions méditerranéennes et dans le monde. Le déficit hydrique est une contrainte permanente dans les sols semi-arides à faibles réserve hydrique, qui affecte la production agricole dans de nombreux pays au climat méditerranéen. Les risques du manque d'eau sont et deviendront de plus en plus fréquents et persistants, à l'avenir, par suite des changements climatiques causés par l'effet de serre (Witcombe *et al.*, 2009). Le stress hydrique induit une série de modifications morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires chez les plantes (Osakabe *et al.*, 2014).

Passioura (2004) définit le déficit hydrique comme étant les circonstances dans lesquelles les plantes accusent une réduction de croissance et de production suite à une alimentation hydrique insuffisante. Tuberosa (2012) a défini le terme «sécheresse» comme une condition dans laquelle la quantité d'eau disponible grâce aux précipitations et / ou à l'irrigation est insuffisante pour répondre aux besoins de transpiration de la culture. Ainsi, l'un des effets de la diminution de la disponibilité de l'eau du sol est que le taux de transpiration dépasse l'absorption d'eau par les plantes et entraînera donc une déshydratation des plantes et une baisse de la productivité des cultures. La réponse des plantes à la sécheresse dépend du génotype, de la durée et de la gravité du déficit hydrique et du stade de développement (Nezhadahmadi *et al.* 2013).

Le manque d'eau affecte plus la culture de l'orge que celle des blés et ce, suite à la localisation de la culture de ces espèces. En effet la culture de l'orge est pratiquée à la limite inférieure du semi-aride où le déficit hydrique est plus prononcé. Les conséquences sont une réduction et une variation des productions, des rendements et des surfaces récoltées (Hakimi, 1993 ; Menad *et al.*, 2011, Benbelkacem, 2013).

Tardieu (2005), mentionne que le statut hydrique de la plante passe progressivement par trois principales phases, selon développement du stress hydrique :

Au cours de la phase initiale, la transpiration et l'assimilation se déroulent comme si la plante dispose de l'eau à volonté. Cette phase se poursuit jusqu'au moment où le niveau d'absorption racinaire ne peut plus satisfaire la demande climatique que subit le feuillage. La réserve utile du sol est alors épuisée à 50 %. Après ce seuil, la plante entre dans la seconde phase.

Au cours de la deuxième phase, la transpiration et l'assimilation sont réduites relativement au potentiel.

La plante réagit de façon dynamique, pour rétablir l'équilibre entre la demande climatique et l'offre du sol, faisant intervenir des mécanismes qui lui sont propres dont le développement du système racinaire, la régulation stomatique et/ou l'ajustement osmotique. Quand le déficit hydrique devient plus intense, alors la plante entre dans la troisième et dernière phase au cours de laquelle les stomates se ferment complètement, annulant toutes activités photosynthétiques. Toutes les pertes hydriques de la plante se font alors à travers les voies non stomatiques (cuticule). Il n'y a plus de gain de matière sèche, la respiration consomme les hydrates de carbone stockés et la plante passe au stade de survie. La période de survie dépend du rythme de la transpiration résiduelle et de la tolérance à la dessiccation des tissus vivant restants. Selon Kameli et Losel (1996), la croissance s'arrête avant qu'aucun abaissement notable ne soit perceptible dans le contenu relatif en eau. Le premier effet du déficit hydrique est de réduire la vitesse de croissance des cellules de la tige.

La croissance des plantes (expansion et taille des feuilles, indice de surface foliaire, hauteur de la plante, ramifications de la plante et nombre de talles) a été réduite lorsque les plantes ont subi un stress de sécheresse au cours des stades de croissance végétative (Farooq *et al.*, 2009).

Le déficit hydrique induit le dépôt de cire sur le limbe et la gaine de certaines variétés de céréales. Ce dépôt est d'autant plus marqué que l'environnement est plus sec. L'inflorescence des céréales est relativement protégée de l'évaporation par des surfaces protectrices comme une cuticule épaisse qui fait que le statut hydrique des inflorescences est meilleur que celui des feuilles (Shepherd et Griffiths, 2006). Le déficit hydrique provoque la réduction du nombre de grains par épi, du nombre d'épis par plant, du poids moyen du grain, de l'indice de récolte et du rendement grain (Chenafi *et al.*, 2006).

Sous stress hydrique, la matière sèche augmente progressivement, mais elle reste sous le seuil de 50%, comparativement à l'évolution de la matière sèche du témoin non stressé. Cette réduction est assez conséquente pour affecter significativement le rendement grain (Bouzerzour et Benmahammed, 2009). Le déficit hydrique affecte significativement les composantes du rendement. Le rapport poids des racines/ poids des tiges augmente chez les plantes exposées au déficit hydrique, à cause de la croissance racinaire au détriment de la partie aérienne (Benmahammed *et al.*, 2008). Parmi les solutés, accumulés sous stress hydrique, on note une augmentation des sucres solubles, des acides aminés comme la proline et à un degré moindre la glycine- bêtaïne, dont le rôle est la protection des membranes (Hussain, 2006).

L'orge, comme d'autres espèces cultivées, possède des capacités pour s'adapter à la contrainte du manque d'eau. La sélection de nouvelles variétés relativement mieux adaptées et plus productives est un important objectif de recherche dans les régions semi-arides où de faibles progrès ont été faits en la matière notamment en ce qui concerne la tolérance vis-à-vis des stress abiotiques (Ceccarelli *et al.*, 1998, Benmahammed *et al.*, 2005).

5.2 STRESS THERMIQUE

Les températures extrêmes constituent une seconde contrainte non moins importante que le manque d'eau. Les zones où se pratique la culture de l'orge sont connues par la fréquence élevée des hautes températures de fin de cycle, associées au manque d'eau. Le froid en hiver et le gel en début printemps figurent aussi parmi les contraintes auxquelles la plus part des variétés d'orge adoptées se montrent plus ou moins sensibles (Annichiarico *et al.*, 2005).

Le seuil mis en cause dans le cas du stress des hautes températures est variable en fonction du stade végétatif de la plante et de l'interaction avec le stress hydrique.

Ibrahim et Quick (2001), montrent que l'effet pénalisant de l'élévation de la température est surtout dû au fait que la plante n'arrive pas à absorber les éléments nutritifs et l'eau, et de les

utiliser, au rythme imposé par le stress thermique. Araus *et al.* (2003) notent une forte réduction du nombre de plantes levées par unité de surface, suite aux effets des hautes températures lors de la période du semis. L'effet des hautes températures au semis se matérialise par une réduction de la longueur de la coléoptile. La plante ne peut, alors, s'ancrer en profondeur et devient sensible aux effets du stress thermique.

Hauchinal *et al.* (1993), observent une réduction du rendement grain des semis tardifs, liée à une diminution du nombre d'épis et du poids moyen du grain, causée par les effets des hautes températures en fin de cycle. Ils notent aussi que l'effet pénalisant du stress thermique se matérialise par une accélération du développement et une réduction des dimensions des organes constitutifs de la plante. La résultante est un effet négatif sur la productivité globale de la plante.

L'élévation de la température, tard au cours du cycle de développement de la plante et particulièrement après l'anthèse, est une contrainte à l'augmentation des rendements en zone semi-aride. L'effet se manifeste par une accélération de la sénescence foliaire et l'arrêt de la croissance du grain (Haddad, 2010). La température optimale pour le développement et le remplissage du grain des céréales d'hiver varie de 12 à 15°C (Wardlaw et Willimbrink, 1994). Une diminution de 3 à 5% du poids du grain pour chaque degré centigrade d'augmentation de la température à partir de la base des 15°C, est notée.

L'abaissement brutal de la température, en dessous de 0°C, provoque de nombreuses perturbations au sein du végétal. Lorsque la température chute fortement, des cristaux de glace se forment dans les espaces intercellulaires déshydratant les cellules dont l'eau migre vers ces espaces. La membrane plasmique perd sa spécificité et il y a arrêt du fonctionnement cellulaire. La réversibilité du phénomène n'a lieu que si la structure cellulaire n'est pas fortement endommagée. Lors du dégel, les cellules intactes se réhydratent et redeviennent fonctionnelles.

Abbassenne *et al.*, (1997), observent une chute de la fertilité des épis des semis précoces qui est liée aux effets des basses températures au cours du stade gonflement. Gate (1995) mentionne que les températures minimales inférieures à -4°C, de la période stade épi-1cm stade 2 nœuds, affectent le nombre de grains par épi. Mekhlouf *et al.*, (2006), mentionnent qu'en régions méditerranéennes semi-arides, les gelées printanières touchent surtout les variétés précoces au stade début monté, détruisant l'épi du brin maître. Les dégâts sur racines se manifestent particulièrement sur la croissance du rhizome.

6. LA SÉLECTION DE L'ORGE POUR LA TOLÉRANCE AUX STRESS ABIOTIQUES

L'objectif de la sélection est l'identification de nouvelles lignées qui portent un ensemble de caractéristiques désirables leur permettant d'être adoptées comme variétés agricoles, sans de grands risques pour les producteurs. Elles doivent produire plus pour réduire les coûts de production au niveau de l'exploitation et surtout doivent se distinguer par une meilleure régularité des rendements en grains et une nette amélioration de la qualité du produit récolté (Bonjean et Picard, 1990).

La diminution des coûts de production, en zones sèches et variables passe par l'adoption de variétés relativement plus élastiques et plus adaptées qui valorisent des itinéraires techniques moins intensifs, et tolèrent un climat de nature variable (Bouzerzour *et al.*, 1998a).

6.1 LA SÉLECTION POUR AMÉLIORER LE RENDEMENT GRAIN

La productivité est définie comme la capacité de produire plus; C'est une notion relative. En sélection, la productivité désigne souvent le rendement grain. Une variété productive ne l'est, en fait que par rapport à une autre variété qu'elle remplace et à laquelle elle est comparée. Cette dernière est alors utilisée comme témoin de référence. 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 (Laala *et al.*, 2010). La sélection du rendement grain n'est efficace que si les conditions de milieu qui ont permis la réalisation d'un rendement grain donné, se répètent de façon régulière (Ceccarelli *et al.*, 1998 ; Kadi *et al.*, 2010).

6.2 LA SÉLECTION POUR AMÉLIORER L'ADAPTATION

L'adaptation fait suite à l'action modificatrice des facteurs extérieurs qui influencent le comportement et la structure de la plante. L'adaptation est définie aussi comme la capacité d'une plante à croître et à donner des rendements satisfaisants dans des zones sujettes à des stress de périodicités connues (Monneveux, 1991). La notion d'adaptation se confond parfois avec celles de résistance et de tolérance au stress. En fait l'adaptation n'est que la résultante de la tolérance et la résistance aux contraintes. Une plante adaptée est donc celle qui tolère ou résiste à un stress donné et réussit à produire à un niveau satisfaisant par rapport à une autre plante qui sera dite non adaptée (Ceccarelli, 1987).

La sélection pour l'adaptation ou pour la tolérance aux stress abiotiques; de nature ionique, hydrique, thermique et lumineuse; suit plusieurs voies dont entre autres, l'utilisation de la phénologie (Acevedo *et al.*, 1991), la morphologique (Hanson *et al.*, 1985; Sharma et Smith, 1986) et la physiologique (Farquhar *et al.*, 1994 ; Richards *et al.*, 1997 ; Araus *et al.*, 1998), ainsi

que le comportement global de la plante vis-à-vis de la variation environnementale, telle que mesurée par les indices (Benmahammed, 2005 ; Benmahammed *et al.*, 2010b).

6.2.1 ADAPTATION PHENOLOGIQUE

La stratégie appliquée en amélioration variétale, pour réduire les effets des stress, consiste à raccourcir la durée du cycle de la variété. La phénologie rythme le développement de la plante et ajuste le cycle végétatif de manière à l'assortir aux conditions optimales de croissance de l'environnement de production. Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique. La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement de la sécheresse de fin de cycle (Ben Naceur *et al.*, 1999).

Comme la sécheresse, les hautes températures de fin de cycle sont des caractéristiques dominantes des zones semi-arides. Il est donc souvent plus judicieux de privilégier la sélection de la précocité (esquive). En effet, Plusieurs études montrent l'existence d'une liaison positive entre le degré de précocité au stade épiaison et le rendement grains sous de telles conditions de culture (Benmahammed *et al.*, 2010a). En conditions semi-arides d'altitude, les géotypes précoces à l'épiaison se caractérisent par des vitesses de remplissage par mètre carré plus élevées, alors que les géotypes tardifs font plus appel aux assimilats stockés dans la tige (Abbassenne *et al.*, 1998).

Les variétés qui pourront s'adapter au climat sec, caractéristique des hauts plateaux doivent se caractériser par une croissance élevée en début du cycle, parce que l'eau est disponible à ce moment-là (Belkharchouche *et al.*, 2009) ; ce qui leur permet d'éviter la période de stress hydrique de fin de cycle. Par l'évitement de la déshydratation des tissus en maintenant un potentiel hydrique peu variable, à l'aide d'un système racinaire profond et le contrôle des pertes par transpiration, ainsi que par une tolérance remarquable de l'activité physiologique (Hayek *et al.*, 2000). Une croissance rapide en début du cycle améliore l'utilisation des pluies hivernales et permet l'obtention d'une biomasse élevée à maturité (Cantero *et al.*, 1995).

Cependant, ce type de croissance entraîne souvent une précocité excessive au stade épiaison et fait donc courir les risques de destruction des organes floraux par le gel tardif en zone d'altitude (Oosterom *et al.*, 1993). Comparativement les géotypes qui retardent leur croissance vers le début du printemps, pour des raisons de satisfaction des besoins physiologiques en matière de vernalisation et photopériode souffriront des effets des stress de fins de cycle

(Belkharchouche *et al.*, 2009). Turner (1979), note que l'amélioration des rendements en conditions sèches est due, pour sa plus grande part, à la précocité; celle-ci serait responsable de 40 à 60% de la variabilité du rendement.

D'après les résultats des essais de Dekkaki *et al.*, (2000), il apparaît qu'une longue période de croissance et une épiaison précoce améliorent le rendement du blé dur. La précocité de l'épiaison est efficacement utilisée comme critère de sélection pour améliorer les productions des zones sèches (Ali Dib, 1992 ; Ben Salem *et al.*, 1997).

6.2.2 ADAPTATIONS MORPHOLOGIQUES

L'effet de la sécheresse peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilats. Ces modifications affectent, d'une manière ou d'une autre, la partie aérienne ou souterraine: réduction de la surface foliaire et du nombre de talles, enroulement des feuilles et/ ou meilleur développement du système racinaire (Slama *et al.*, 2005).

Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol serait un caractère essentiel pour l'adaptation à la sécheresse. Cette caractéristique revêt une importance particulière pour les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques durant le cycle de croissance (El Fakhri *et al.*, 2011). L'exploitation d'un plus grand volume de sol permet à la plante de satisfaire ses besoins en eau, de maintenir ses échanges gazeux et sa croissance en conditions de sécheresse (Annerose, 1990).

La hauteur de la plante, qui apparaît comme un critère de sélection important particulièrement en zones semi-arides, (Benmahammed, 2005), révèle une liaison positive et significative entre le rendement et la hauteur de la paille. Ceci s'expliquerait par le fait qu'une paille haute s'accompagne souvent d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une capacité d'extraction de l'eau supérieure (Bagga *et al.*, 1970).

Quant à la surface foliaire, elle détermine progressivement à la fois les quantités d'eau utilisées par la plante sous forme de transpiration et les quantités de carbone fixées par voie photosynthétique (Cooper *et al.*, 1983; Benmahammed *et al.*, 2008). Les résultats de Mouellef (2010), montrent que le stress hydrique a entraîné une réduction de la surface foliaire. En milieux variables, la diminution de la surface foliaire peut avoir des effets bénéfiques en réduisant de la

surface évaporante et celle soumise à la radiation solaire (Cooper *et al.*, 1983 ; Benmahammed *et al.*, 2008 ; Belkherchouche *et al.*, 2009).

L'enroulement foliaire, fréquent chez de nombreuses plantes cultivées (orge, blé, sorgho...) peut donc être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation (Monneveux et This, 1997).

L'inflorescence des céréales est relativement protégée de l'évaporation par des surfaces protectrices comme une cuticule épaisse qui fait que le statut hydrique des inflorescences est meilleur que celui des feuilles (Shepherd et Griffiths, 2006).

De nombreux travaux, réalisés sur une large gamme de génotypes, semblent confirmer le rôle des barbes dans le remplissage du grain en conditions de déficit hydrique (Ali Dib *et al.*, 1992). En effet, les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Slama *et al.*, 2005).

6.2.3 ADAPTATION PHYSIOLOGIQUE

6.2.3.1 LA REGULATION STOMATIQUE

Lorsque l'évapotranspiration potentielle, déterminée par les caractéristiques de l'atmosphère, devient supérieure à ses possibilités d'alimentation en eau, la plante réagit en fermant ses stomates pour éviter de se dessécher (INRA, 2000).

Cependant, il faut garder à l'esprit que les stomates sont des cellules isolées au milieu de l'épiderme et qui possèdent leurs propres mécanismes de régulation de la turgescence. Aussi leur fonctionnement peut être relativement indépendant de la turgescence du mésophylle (Laffray et Louguet, 1991). Les stomates sont constitués de deux cellules affrontées qui peuvent ainsi se déformer sous l'effet de variations de leur pression hydraulique interne et ouvrir plus ou moins l'ostiole à travers lequel s'échappe l'eau transpirée (Durand, 2007).

La fermeture des stomates est déclenchée par une diminution du potentiel hydrique du mésophylle. Une hormone l'acide abscissique (ABA) semble jouer un rôle important de la fermeture des stomates (Hopkin, 2003). L'accumulation d'ABA dans un organe, chez les plantes en conditions hydriques limitantes et déficientes, est due d'abord à une augmentation de sa synthèse, mais peut être aussi le résultat d'une diminution de sa dégradation ou d'une augmentation de son importation à partir d'un autre compartiment (Cornic, 2008). D'après Tardieu et Simonneau, (1998) on peut classer les plantes en deux groupes :

- Les plantes dites isohydriques : comme le maïs, ferment rapidement leurs stomates lors d'un déficit hydrique. Ceci conduit à une économie de l'eau du sol disponible, mais entraîne une baisse précoce de la photosynthèse.
- Les plantes dites anisohydriques : comme le tournesol, maintiennent tardivement leurs stomates ouverts. L'état hydrique des tissus de ces plantes tend à suivre celui du sol lorsque ce dernier se dessèche.

La densité stomatique paraît également un autre moyen pour esquiver une sécheresse. En effet, Miskin *et al.*, (1972), en étudiant l'effet de la densité stomatique sur la transpiration, la photosynthèse et la résistance stomatique de 05 variétés d'orge, les résultats ont conclu que la sélection des plantes à faible densité stomatique serait un moyen efficace et logique pour trouver des cultivars résistants au stress hydrique.

6.2.3.2 LA TENEUR RELATIVE EN EAU DE LA FEUILLE

La teneur relative en eau correspond à une signification physiologique directe de l'état hydrique du végétal (Collinson *et al.*, 1997). C'est un paramètre physiologique indicateur de la résistance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique (Berka et Aïd, 2009). Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration (Turner, 1986). Les géotypes qui maintiennent leur TRE élevée lors du stress hydrique seront probablement les plus tolérants et seront les plus productifs (Sassi *et al.*, 2012). Benmahammed *et al.*, (2008) notent que la corrélation positive entre la teneur relative en eau et la biomasse accumulée indique, qu'en général, l'accumulation de la biomasse sous stress est dépendante du contenu foliaire en eau.

Les variétés de blé dur semblent présenter une meilleure résistance à la déshydratation foliaire que les variétés de blé tendre, et cette supériorité se manifeste essentiellement au stade de l'épiaison où la diminution de la teneur foliaire en eau chez le blé dur est significativement moins importante que celle enregistrée chez le blé tendre (Alem *et al.*, 2002). Fahmi *et al.*, (2011) rapportent qu'en présence d'un stress hydrique, la teneur en eau relative des feuilles d'*Argania spinosa* augmente de 55,09 % à 77,82 %, cette augmentation est due à une fermeture graduelle des stomates; ce qui permet de maintenir la turgescence foliaire de la plante pour tolérer la déshydratation. Clarke *et al.*, (1991), suggèrent que la teneur relative en eau comme critère de criblage pour la sélection de lignées tolérantes à la contrainte hydrique.

6.2.3.3. LE MAINTIEN DE L'INTEGRITE MEMBRANAIRE

D'autres mécanismes encore peuvent intervenir dans le maintien de la turgescence cellulaire, comme l'élasticité membranaire, la réduction de la taille des cellules (Tyree et Jarvis, 1982) et la résistance protoplasmique. Cette dernière dépend de la capacité des cellules à résister à un dommage mécanique et à la dénaturation des protéines au niveau membranaire ou cytoplasmique (Gaff, 1980).

Le mécanisme de tolérance des membranes cellulaires s'exprime lorsque ces dispositifs périphériques de protection des cellules ne sont plus efficaces. Le caractère de tolérance sensu stricto le plus connu est la résistance membranaire ou résistance protoplasmique. Elle est le plus souvent mesurée par la méthode des efflux d'électrolytes après choc osmotique au polyéthylène glycol (Blum et Ebercom, 1981 ; Turner *et al.*, 2001). La tolérance membranaire s'exprime à un niveau particulièrement important chez les plantes dites de résurrection qui peuvent reconstituer leurs membranes après des périodes de plusieurs semaines de déshydratation (Gaff, 1980). Chez le blé dur, la résistance à la sécheresse au sein de la plante entière dépend, du moins en partie, de l'existence de mécanismes opérant au niveau cellulaire (Bajji *et al.*, 2000).

La tolérance des membranes cellulaires face à la contrainte hydrique est l'un des mécanismes de résistance à la sécheresse les plus efficaces chez les plantes. Il a été mis en relation avec la performance au champ des géotypes sur différentes espèces végétales notamment sur des légumineuses (Vasquez-Tello *et al.*, 1990 ; Dhanda et Sethi, 2002). Ces différents résultats montrent bien qu'une appréciation de l'intégrité des membranes en condition de stress constitue une approche indispensable pour l'évaluation de la capacité de tolérance à la sécheresse d'un matériel donné (Annerose, 1990).

Le maintien de l'intégrité membranaire constitue encore le mécanisme de tolérance à la sécheresse le plus évident et probablement le plus efficace chez l'arachide. Les différences variétales mises en évidence permettent de caractériser les variétés les plus tolérantes par leur capacité à conserver l'intégrité de leurs tissus en condition de sécheresse. L'intérêt de ce comportement n'est pas seulement d'améliorer la capacité de la plante à supporter une déshydratation mais, il devrait aussi contribuer à favoriser ses capacités de reprise à l'arrêt de la sécheresse (Annerose, 1990).

La prise en compte des résultats obtenus à la fois aux niveaux cellulaire et de la plante entière apparaît nécessaire pour une meilleure compréhension de la complexité des mécanismes permettant à la plante de résister au stress et constitue à nos yeux une stratégie essentielle dans ce type d'étude (Bajji *et al.*, 2000).

6.2.3.4 LA TEMPERATURE DE LA CANOPEE

La température de surface du couvert végétal est une caractéristique physique de la plante influencée par la contrainte hydrique. Plusieurs méthodes ont été utilisées pour estimer et mesurer la température d'un couvert végétal, cependant l'utilisation de la télédétection infrarouge thermique est celle qui semble offrir des voies prometteuses. Elle présente l'avantage de la rapidité et de la facilité d'acquisition, nécessaire pour un diagnostic hydrique. Ceci a conduit au développement de plusieurs indicateurs de stress hydrique basés sur la relation qui existe entre la température, les propriétés optiques des végétaux et leur état hydrique. 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. Ces variétés maintiennent une activité photosynthétique élevée autorisant un rendement plus élevé, sous stress terminal.

La mesure de la température de la canopée a bénéficié d'un certain intérêt comme technique de criblage pour la résistance au stress, particulièrement avec l'avènement du thermomètre infrarouge portable. Dakheel *et al.*, (1993) trouvent que durant les premiers stades de développement, jusqu'au stade épiaison, quand la température de l'air est relativement basse, la température de la canopée est corrélée positivement avec le rendement en grains. A partir du stade épiaison et durant la période de remplissage du grain, la température foliaire est corrélée négativement avec le rendement en grains. Des températures basses du couvert végétal sont indicatives d'un potentiel hydrique foliaire élevé (Blum et Pnuel, 1990).

6.2.4 ADAPTATION BIOCHIMIQUE

6.2.4.1 LA TENEUR EN CHLOROPHYLLE

La diminution de la photosynthèse, qui fait suite à la réduction de la teneur relative en eau et du potentiel hydrique foliaire, est causée par la réduction de la pénétration du CO₂. La diminution de la photosynthèse nette peut être attribuée à la diminution de la concentration interne du CO₂ sans que la capacité photosynthétique des tissus de la feuille ne soit endommagée (El-jaafari et Paul, 1993). Bousba *et al.*, (2009), indiquent qu'une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur sous stress hydrique. Tahri *et al.*, (1997) montrent que l'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b). Ainsi la variété qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et vice versa (Tahri *et al.*, 1997).

6.2.4.2 AJUSTEMENT OSMOTIQUE

La tolérance est la stratégie qui permet à la plante d'assurer ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique (Temagoult, 2009). L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique (El Midaoui *et al.*, 2007).

L'ajustement osmotique peut aussi jouer un rôle important en aidant des feuilles partiellement flétries à redevenir turgescentes lorsque l'apport d'eau reprend. En aidant la feuille à maintenir sa turgescence, l'ajustement osmotique permet aux plantes de garder leurs stomates ouverts et de prélever du CO₂ pour effectuer leur photosynthèse dans des conditions de stress hydriques modérés (Hopkins, 2003). Il peut intervenir à tous les stades du développement (Monneveux et This, 1997). Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs (El Midaoui *et al.*, 2007). Les solutés responsables de la régulation osmotique sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés (proline, glycine-bétaine), des sucres solubles et certains constituants inorganiques (Richards *et al.*, 1997). La fonction principale des solutés compatibles est d'empêcher la perte d'eau pour maintenir la turgescence cellulaire et à maintenir le gradient de reprise en eau dans la cellule. Ces accumulations de métabolite dans les cellules conduisent à une augmentation du potentiel osmotique et ont finalement abouti à une plus grande capacité d'absorption d'eau par les racines et l'économie d'eau dans les cellules (Sayed *et al.*, 2012).

L'ajustement osmotique apparait aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse (Monneveux et This, 1997).

6.2.4.3 ACCUMULATION DE LA PROLINE

Parmi les acides aminés pouvant être accumulés, la proline représente des manifestations les plus remarquables des stress hydriques et osmotiques. Singh *et al.*, (1973) proposent d'utiliser la proline comme critère de sélection pour la tolérance au stress chez l'orge. La proline est l'un des solutés compatibles le plus fréquemment accumulé en réponse à des contraintes environnementales variées et joue un rôle important dans la tolérance des plantes (Ben Rejeb *et al.*, 2012). L'accumulation de proline est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez les plantes pour limiter les effets du stress hydrique. Elle est liée à l'osmorégulation cytoplasmique (Acevedo *et al.*, 1989).

Selon Tahri *et al.*, (1997), l'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires: stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines. La proline est synthétisée selon deux voies distinctes, via le glutamate et l'ornithine (Neffar, 2013). La chaîne de réaction commence par la réduction du glutamate en glutamyl-5-semialdéhyde. Ce composé se cyclise spontanément et forme l'acide pyrroline-5-carboxylique qui est réduit ensuite en proline. La proline peut être issue aussi de l'ornithine, précurseur de l'acide pyrroline-2-carboxylique, transformé ensuite en proline (Jean-François et Morot-Gaudry, 1997).

Son accumulation dans les feuilles de plantes qui souffrent d'un manque d'eau a été décrite très anciennement (Cornic, 2008). On pense que l'accumulation se fait dans le cytoplasme où sa concentration atteint parfois 230 à 250 mM. Elle peut à cette concentration participer effectivement à l'ajustement osmotique de la plante (Samars *et al.*, 1995). Un déficit hydrique plus grave amplifie davantage l'accumulation de la proline dans les tissus foliaires, atteignant pratiquement le double de celle du témoin (757,15 contre 345,72 $\mu\text{g} / 100 \text{ mg}$ feuilles, soit 119,01 % d'augmentation), (Hireche, 2006).

Outre son rôle osmotique, la proline semble aussi avoir un rôle dans l'enroulement foliaire, constituant un mécanisme de limitation de la transpiration chez les céréales, qui serait lié à l'accumulation d'acide abscissique (ABA) au niveau des feuilles. Elle pourrait en outre jouer plusieurs rôles dans le métabolisme intracellulaire, dans la protection des membranes et des systèmes enzymatiques, et favoriserait la reprise après réhydratation (Lepoivre, 2003). Plusieurs sélectionneurs et physiologistes ont utilisé la capacité de son accumulation dans le criblage de génotypes résistants au déficit hydrique (Benlarabi et Monneveux, 1988).

6.2.4.4 ACCUMULATION DE SUCRES SOLUBLES

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante (Hench, 1987). Le potentiel osmotique peut être maintenu pour un stress hydrique de faible ou moyenne intensité, par ajustement osmotique (Dubos, 2001). Les sucres peuvent servir de composés solubles compatibles pour cet ajustement osmotique (Dubos, 2001). Ils permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines (Darbyshire, 1974).

Généralement, on pense que l'accumulation de sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse de réserves (en particulier, d'amidon) mais aussi une modification du métabolisme carboné, la dégradation de polysaccharides et une réduction de l'utilisation de carbohydrates plus importante que la réduction de la photosynthèse en conditions de déficit hydrique (Lepoivre, 2003).

De nombreuses études ont mis en évidence l'accumulation de sucres solubles lors de la dessiccation. Une idée principale en ressort: différents sucres solubles peuvent être présents dans des tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation (Dubos, 2001). Chez le soja, la teneur foliaire en saccharose contribuerait au maintien d'une pression osmotique élevée limitant les pertes d'eau par transpiration (Bensari *et al.*, 1990). Berka et Aïd (2009), montrent que la teneur en sucres solubles des feuilles des plants stressés augmente régulièrement et d'une manière significative en fonction de la diminution de la teneur relative en eau.

Les sucres sont considérés par plusieurs auteurs comme de bons osmorégulateurs (Kameli et Losel, 1995; Sanchez *et al.*, 1999) qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes à la sécheresse (Morgan, 1984; Zhang *et al.*, 1999).

6.3 LA SÉLECTION ASSISTÉE PAR DES MARQUEURS

Bien que la sélection classique des céréales, ait obtenu des résultats encourageants elle ne parvient plus aujourd'hui à évoluer aussi rapidement. L'amélioration du blé porte maintenant sur des caractères très complexes, présentant en majorité une distribution continue (Maccaferri *et al.*, 2006, in El-Hadef, 2015).

Face aux difficultés d'utilisation de «critères physiologiques de prédiction» en sélection, le développement des outils de marquage moléculaire est susceptible d'apporter d'importants éléments de réponse, l'idée de base étant de rechercher des relations entre la présence de certains marqueurs et certains mécanismes physiologiques liés à la tolérance (Monneveux et This, 1995).

Contrairement aux marqueurs traditionnels (morphologiques et biochimiques), les marqueurs moléculaires ne sont pas influencés par les fluctuations de l'environnement et sont indépendants de l'organe analysé et du stade de développement de la plante. Ces marqueurs moléculaires deviennent aujourd'hui un outil essentiel d'amélioration des plantes et ouvrent de nouvelles perspectives pour les sélectionneurs. La recherche de marqueurs moléculaires étroitement liés aux gènes de résistance est une étape importante avant leur exploitation pratique pour accélérer et améliorer l'efficacité des programmes de sélection (Hospital, 2001; Eagles *et al.*, 2001 ; Dekkers et Hospital, 2002).

La sélection assistée par des marqueurs (SAM) devient de plus en plus un complément nécessaire aux schémas de sélection classique d'amélioration des céréales (Hospital, 2001). Cette technique a été utilisée de manière avantageuse dans l'amélioration de la résistance aux maladies et aux insectes (Langridge *et al.*, 2001). Elle s'appuie sur la variabilité naturelle de l'espèce ciblée et les travaux de détection de quantitative trait loci (QTL), pour accélérer le processus de sélection en orientant de façon raisonnée le choix des génotypes qui combinent le maximum de caractères favorables (Virouvet, 2011). Cette sélection assistée par marqueurs est donc d'un intérêt certain pour le sélectionneur puisqu'elle offre l'avantage d'une sélection efficace, rapide et précoce, et devient alors un complément nécessaire aux méthodes traditionnelles d'amélioration génétique des céréales (Najimi *et al.*, 2003). Dans le cas de la résistance à la sécheresse, un des premiers succès de cette technique a été obtenu par le CIMMYT, (Gaufichon *et al.*, 2010). Par ailleurs, pour la sélection de caractéristiques agronomiques à déterminisme génétique complexe, comme le rendement par exemple, gouvernées par un grand nombre de gènes ou de QTL qui interagissent et dont la plupart sont encore inconnus, la sélection assistée par des marqueurs (SAM) est actuellement un outil inefficace (Thabuis *et al.*, 2004).

Pour mieux comprendre les composantes physiologiques, génétiques et moléculaires de la tolérance à la sécheresse, une étude génétique des caractères d'adaptation est néanmoins nécessaire. Par ailleurs, l'identification et l'utilisation de marqueurs moléculaires liés à des caractères complexes constituent un gain de temps pour la sélection. Cette recherche peut être abordée en identifiant les locus impliqués dans la variation quantitative du caractère étudié ou QTL (Quantitative Trait Loci) et en étudiant leur nombre, leur effet et leur stabilité. Pour que ce type d'étude soit efficace, il faut sélectionner les caractères en fonction de leur valeur adaptative

globale par rapport à des stress et des environnements variables, leur impact positif sur le rendement et leur extrapolation possible aux autres céréales (Teulat-Merah *et al.*, 2001).

Un locus de caractères quantitatifs (LCQ) ou locus de trait quantitatif (QTL) est une région plus ou moins grande d'ADN qui est étroitement associée à un caractère quantitatif ; c'est-à-dire une région chromosomique où sont localisés un ou plusieurs gènes à l'origine du caractère en question. Un QTL nous aide à relier deux types de données, l'information phénotypique et les données génotypiques. Une analyse QTL permet aux chercheurs dans des domaines aussi variés que l'agriculture et la médecine de relier certains phénotypes complexes à des régions spécifiques des chromosomes. Le but de ce processus consiste à identifier l'action, l'interaction, le nombre et l'emplacement précis de ces régions (Miles et Wayne, 2008). Les QTL peuvent être identifiés grâce à l'analyse génétique d'individus issus de croisements choisis, mais aussi grâce à une approche appelée génétique d'association. La génétique d'association consiste à rechercher des corrélations entre des marqueurs moléculaires et le caractère d'intérêt dans une large collection de plantes représentant au mieux la diversité existant dans l'espèce (Thornsberry *et al.*, 2001). Lorsqu'un QTL a été détecté, l'allèle favorable pour le caractère étudié peut être transféré dans le génome d'une plante élite grâce à une succession de croisements. À chaque étape, les individus ayant hérité de l'allèle favorable sont identifiés et sélectionnés grâce aux marqueurs moléculaires qui lui sont associés. Cette approche permet de réduire le nombre de croisements (de six à huit) à quatre (Gaufichon *et al.*, 2010).

Un marqueur moléculaire est un locus polymorphe qui renseigne sur le génotype de l'individu qui le porte. Un bon marqueur doit être à hérédité simple, multi-allélique et codominant. Les marqueurs moléculaires correspondent donc au polymorphisme révélé au niveau de l'ADN. L'analyse de ce polymorphisme par les techniques de biologie moléculaire s'adresse à l'ensemble du génome, qu'il soit ou non traduit en protéines, et est indépendante des conditions de l'environnement (Eagles *et al.*, 2001 ; Langridge *et al.*, 2001; Dekkers et Hospital, 2002). L'analyse du polymorphisme de l'ADN est menée actuellement sur la base de trois techniques: RFLP (restriction fragment length polymorphism), RAPD (random amplified polymorphic DNA), ADN satellites (This et This, 1993).

La technique RFLP développée par Botstein *et al.*, (1980) repose sur la mise en évidence de la variabilité de la séquence nucléotidique de l'ADN génomique après digestion par des enzymes de restriction. Une multitude de fragments d'ADN de tailles variables est générée par digestion enzymatique, puis séparée sur gel d'agarose et transférée par capillarité sous forme dénaturée sur une membrane de nylon. Cette membrane est mise en contact avec une solution contenant un fragment d'ADN ou sonde qui permet de repérer, par hybridation moléculaire, des

fragments d'ADN génomique qui lui sont homologuées. La différence entre deux génotypes est révélée par autoradiographie si la sonde est marquée par le phosphore radioactif ou par réaction colorée si elle est associée à un conjugué enzymatique (Najimi *et al.*, 2003). L'analyse des RFLP demande du temps, difficile à automatiser, nécessite de grandes quantité d'ADN et elle est peu économique pour l'évaluation des populations en ségrégation de grandes tailles comme celles rencontrées souvent dans les programmes de sélection (Jia *et al.*, 1996).

La méthode RAPD a été simultanément mise au point par deux équipes (Welsh et McClelland, 1990 ; Williams *et al.*, 1990). Il s'agit d'une technique moins lourde que la RFLP, mais les allèles sont moins informatifs car ils sont généralement dominants et souvent peu répétables. D'autre part, l'utilisation des marqueurs RAPD est limitée au fond génétique dans lequel ils ont été mis en évidence (Poormohammad Kiani, 2007). Elle consiste en l'amplification par PCR de fragments de l'ADN génomique en utilisant des amorces arbitraires de taille courte (10 pb). Une amorce RAPD permet généralement l'amplification d'une dizaine de fragments correspondant à des locus dominants. Les produits d'amplification sont généralement visualisés par électrophorèse sur gel d'agarose. Le polymorphisme décelé est dû à des mutations soit dans les régions amplifiées soit au niveau des sites de fixation des amorces. Le polymorphisme révélé est un polymorphisme de sites d'hybridation d'amorce. Les amorces constituent donc les marqueurs (Williams *et al.*, 1990).

Les microsatellites sont hautement polymorphes par la variation du nombre de répétitions et de ce fait très informatifs. De plus, ils sont facilement détectables par la technique de réaction de polymérisation en chaîne (PCR) et reproductibles. Cependant, ces marqueurs sont fréquemment utilisés, car plus de 2000 microsatellites hautement polymorphes ont été ordonnés de manière précise (en moyenne, 1 tous les 1.6 cM) (Dib *et al.*, 1996). Ainsi que le degré de polymorphisme élevé des microsatellites est fortement apprécié pour les études d'association génétique ou, pour la cartographie de gènes impliqués dans la tolérance aux stress abiotiques (Bousba *et al.*, 2013).

Dans tous les cas, des marqueurs liés de façon absolue aux gènes seront d'un intérêt bien plus grand que ceux liés de façon statistique. Les progrès dans les connaissances permettent d'espérer ce type de marqueurs (c'est ce qui est recherché à partir des gènes « candidats » - pour des QTLs - ou des sondes cDNA). Cela donnera encore plus de puissance au généticien et au sélectionneur pour l'analyse, la gestion et l'utilisation de la variabilité génétique. C'est vraiment une ère nouvelle qui s'ouvre pour la génétique des caractères complexes et donc pour le sélectionneur (Gallais, 1994). Grâce aux marqueurs génétiques, il devient possible d'une part

d'établir l'empreinte génétique d'un individu, et de suivre les gènes impliqués dans l'expression de caractères d'intérêt agronomique ou technologique (Langridge *et al.*, 2006).

6.4 SELECTION A L'AIDE D'IMAGES NUMERIQUES POUR ESTIMER LA SENESCENCE FOLIAIRE ET LA REFLECTANCE.

6.4.1 LA SENESCENCE FOLIAIRE

La sénescence est la dernière phase du développement des feuilles, culminant avec la mort de l'organe. Pendant la sénescence, la photosynthèse diminue en raison de la dégradation des chlorophylles et des protéines impliquées dans les réactions de photosynthèse (Krupinska et Humbeck, 2004).

La sénescence d'une feuille est définie comme la détérioration progressive de ses fonctions avec l'âge, car les feuilles changent de couleur parce que la chlorophylle est dégradée, la teneur en eau est réduite et les membranes se dégradent (Hafsi et Guendouz, 2012). La feuille primaire du feuillage est la première à subir la sénescence, tandis que la feuille étendard est la dernière à présenter des symptômes de sénescence. L'un des principaux objectifs de la sénescence est de remobiliser des nutriments des feuilles plus anciennes pour les recycler et les utiliser dans des feuilles plus jeunes ou pour le remplissage des grains.

L'ensemble du processus de sénescence (initiation et taux de progression) est connu sous le nom de moment de la sénescence et influe sur les principaux traits agronomiques clés tels que le rendement, l'efficacité de l'utilisation des nutriments et la qualité de la culture (Hoffmann *et al.*, 2012; Mickelson, 2003; Schmalenbach et Pillen, 2009; Uauy *et al.*, 2006).

Un certain nombre de facteurs influencent le moment, l'étendue et le taux de sénescence, y compris les contraintes environnementales et les niveaux internes d'hormones. La sénescence est contrôlée par l'équilibre entre les hormones favorisant la sénescence telles que l'ABA et les hormones retardant la sénescence telles que les cytokinines (Schippers *et al.*, 2007). Par conséquent, la compréhension des facteurs intrinsèques (génétiques et épigénétiques) et environnementaux régulant la sénescence, ainsi que le système de remobilisation des nutriments (en particulier l'azote) est nécessaire pour entreprendre des stratégies efficaces d'amélioration des cultures (Distelfeld *et al.*, 2014).

Les facteurs environnementaux influencent le moment de la sénescence chez les plantes. La carence en azote induit une baisse de la photosynthèse associée au démontage des organites cellulaires et à l'augmentation des protéases (Gregersen *et al.*, 2008; Parrott *et al.*, 2010). En revanche, des niveaux élevés d'azote retardent la sénescence (Hollmann *et al.*, 2014) et aussi retardent la dégradation de l'appareil photosynthétique.

Dans l'adaptation naturelle et locale des plantes céréalières aux conditions méditerranéennes, où un été chaud et sec détermine la limite supérieure de la saison de croissance dans des conditions non irriguées, une accélération du processus de sénescence est nécessaire pour favoriser la remobilisation des nutriments (Hafsi *et al.*, 2000). La sénescence précoce et rapide se produisant dans des conditions méditerranéennes a été exploitée dans la sélection moderne de cultivars de blé dur (Isidro *et al.*, 2011).

Dans les céréales, les processus impliqués dans la sénescence sont importants car ils se produisent pendant le remplissage des grains, et les preuves suggèrent qu'une sénescence précoce peut limiter le rendement (Patterson et Moss, 1979). Dans les espèces céréalières, les études sur la sénescence se sont concentrées sur feuille-drapeau en raison de son impact sur la qualité et le rendement des grains. Selon (Davies et Gan, 2012), la feuille étendard et les glumes sont les principales sources de la remobilisation de l'azote vers les grains en développement.

Il a longtemps été postulé que les rendements des cultures pourraient être améliorés en retardant ou en modulant la sénescence des feuilles (Thomas et Stoddart, 1980). Ces hypothèses supposent que la période d'activité photosynthétique maximale peut être prolongée en retardant la sénescence et que cela devrait à son tour conduire à une production plus élevée. Cependant, le retard de la sénescence est souvent obtenu au détriment de la remobilisation de l'azote et, par conséquent, les cultivars qui restent verts peuvent présenter une teneur en protéines de grain relativement faible (Chen *et al.*, 2011).

Les plantes dont la sénescence foliaire est retardée sont préférées dans de nombreux programmes de sélection car on pense qu'elles ont une résistance accrue aux maladies, à la sécheresse ou à la verse (Thomas et Smart, 1993). Il a été suggéré que de faibles taux de sénescence pourraient conduire à une translocation plus régulière des assimilés au grain et à un meilleur remplissage du grain.

Dans les cultivars de sorgho, de blé et d'orge à sénescence tardive montrant un phénotype SG, une augmentation de la biomasse et une augmentation du rendement en grains ont été

observées (Howard Thomas et Ougham, 2014). Ce phénotype est également associé à une résistance à la sécheresse et à de meilleures performances dans des conditions de faible azote dans le sorgho (Borrell *et al.*, 2014).

Des publications récentes ont également signalé qu'une amélioration des performances de différents cultivars d'orge soumis à des conditions de sécheresse est associée à un phénotype stay green, marqué visuellement ou d'après la teneur en chlorophylle (Gonzalez *et al.*, 2010; Vaezi *et al.*, 2010). Il est souvent constaté que l'amélioration des performances dans des conditions de stress environnemental est une caractéristique des cultivars qui restent verts chez différentes espèces (Rivero *et al.*, 2007 ; Naruoka *et al.*, 2012).

Dans toutes ces études, la sénescence foliaire a été évaluée visuellement. La sénescence correspondant à un jaunissement dû à la perte de chlorophylle (Patterson et Moss, 1979), l'identification des parties sénescentes de la feuille est assez facile. L'évaluation visuelle de la sénescence est cependant imprécise en raison de la nature qualitative des observations visuelles. La progression de la sénescence de la pointe à la base du limbe n'est pas toujours homogène et l'évaluation du pourcentage de la surface foliaire affectée par la sénescence ne devrait pas être très précise.

Une évaluation précise de la sénescence est difficile. Le chlorophylle- mètre présente plusieurs avantages par rapport à l'analyse de la concentration de chlorophylle dans le tissu foliaire. Les échantillons n'ont pas besoin d'être envoyés à un laboratoire pour analyse, ce qui permet d'économiser du temps et de l'argent. L'irradiance, l'état hydrique des feuilles et le moment de la mesure peuvent cependant interférer avec les mesures de transmittance (Martines et Guiamet, 2004). D'autre part, des mesures sont effectuées sur une zone limitée du limbe et la distribution non uniforme de chlorophylle à la surface des feuilles est susceptible d'affecter leur représentativité (Uddling *et al.*, 2007). Les chlorophylles- mètre sont relativement chers pour certains programmes d'amélioration nationaux dans les pays en développement. Le développement de méthodes alternatives est donc nécessaire pour une analyse plus précise et à moindre coût de la sénescence. Les méthodes d'analyse d'images numériques (NIA) ont été explorées et se sont avérées très prometteuses. Dymond et Trotter (1997) et Clarke (1997), ont utilisé des appareils photo numériques pour évaluer la verdure des cultures. Adamsen *et al.*, (1999), ont développé cette méthode pour mesurer la sénescence des canopées de blé. Hafsi *et al.*, (2000) ont modifié la technique pour évaluer la sénescence de la feuille étendard.

6.4.2 LA REFLECTANCE FOLIARE

La lumière est un facteur essentiel dans la physiologie des plantes vertes, car la photosynthèse est un phénomène qui se produit dans plusieurs stades chimico-optiques et biochimiques au cours desquels l'énergie lumineuse absorbée par les chlorophylles est transformée dans l'appareil photosynthétique en énergie chimique (sous forme de pouvoir réducteur et d'ATP) utilisée par les plantes. La lumière à travers sa qualité spectrale; son intensité ou sa durée (photopériode) affecte la croissance des plantes. Parmi les contraintes environnementales sur l'activité photosynthétique, la contrainte hydrique, de forts éclaircissements (la photo-inhibition), le stress oxydatif l'élévation de la concentration atmosphérique en CO₂ et notamment la contrainte d'assimilation de carbone, de l'azote et du soufre (Farineau et Morot-Gaudry, 2006 ; Guendouze, 2014). Selon Guendouze, (2014), en zones semi-arides, la lumière intense avec un stress hydrique est l'un des principaux facteurs affectant le taux de photosynthèse. Par conséquent, certains scientifiques ont suggéré l'introduction de la réflectance comme un mécanisme de sélection précis et important pour la résistance des cultures aux stress hydrique et thermique (Marutani *et al.*, 2014; Çulha Erdal et Çakirlar, 2014).

Le rayonnement solaire tombant sur la surface des feuilles est soit réfléchi, absorbé ou transmis. La nature et les quantités de réflexion, d'absorption et de transmission dépendent de la longueur d'onde du rayonnement (selon la conception de Plank et Einstein), de l'angle d'incidence, de la rugosité de surface et des différences dans les propriétés optiques et le contenu biochimique des feuilles.

Le premier contact du rayonnement entrant se fait avec la surface foliaire, qui se compose de la cuticule et des couches épidermiques. Certaines feuilles ont également de la cire et / ou des poils sur la cuticule et ceux-ci modifient les quantités de lumière réfléchie ou absorbée par la feuille. Le rayonnement solaire entrant est la principale source d'énergie de nombreux processus biologiques se produisent dans les plantes.

Les interactions entre le rayonnement solaire et les plantes peuvent être divisé en trois grandes catégories: effets thermiques, effets photosynthétiques et les effets photomorphogènes du rayonnement. Plus de 70% du rayonnement solaire entrant absorbé par les plantes est converti en chaleur et utilisé pour maintenir la température des plantes et pour la transpiration (effets thermiques), (Slatyer, 1967; Gates, 1968).

Les pigments sont intégralement liés à la fonction physiologique des feuilles. Les chlorophylles absorbent l'énergie lumineuse et la transfèrent dans l'appareil photosynthétique. Les caroténoïdes (pigments jaunes) peuvent également apporter de l'énergie au système photosynthétique. Des changements dans la réflectance foliaire des feuilles vertes avec maturation et sénescence ont été attribués à des changements dans l'arrangement de chlorophylle et de mésophylle (Grant, 1987).

Il a été également démontré que les variations de la teneur en chlorophylle des feuilles détectables par réflectance spectrale sont liées au développement et à la sénescence des feuilles (Carter et Knapp, 2001).

La réflectance spectrale de la canopée fournit une méthode importante pour l'étude de la canopée des plantes dans différentes conditions environnementales. La région visible du spectre de réflectance de la végétation est caractérisée par une faible réflectance et transmittance dues à de fortes absorptions par les pigments foliaires. Par exemple, les pigments chlorophylliens absorbent la lumière bleu-violet et rouge pour la photosynthèse. La lumière verte n'est pas absorbée pour la photosynthèse, donc la plupart des plantes apparaissent vertes. Récemment, l'imagerie numérique est devenue une nouvelle tendance dans l'analyse des couleurs des plantes. Des appareils photo numériques ou des scanners en combinaison avec des ordinateurs et des logiciels appropriés peuvent être utilisés pour photographier, numériser et évaluer les feuilles pour la couleur avec une relative facilité et à un coût abordable (Guendouz, 2012).

En agriculture, la technologie numérique a été utilisée pour caractériser la couleur des pommes (Schrevens et Raeymaeckers, 1992), évaluer les taux de sénescence du blé de printemps (Adamsen *et al.*, 1999) et du blé dur (Hafsi *et al.*, 2000; Guendouz et Maamari, 2011; Guendouz *et al.*, 2012).

7. LES INDICES PARAMETRIQUES ET NON PARAMETRIQUES POUR L'EVALUATION DE LA STABILITE DU RENDEMENT ET DE L'ADAPTABILITE

Parmi les céréales, l'orge est la première céréale alimentaire domestiquée au monde (Wang *et al.*, 2015) ; c'est l'une des rares cultures cultivées dans les zones semi-arides, où les précipitations varient considérablement d'une année à l'autre.

En Algérie, l'orge (*Hordeum vulgare* L.) est la deuxième culture pluviale après le blé dur (*Triticum durum* Desf.) Avec 1 million d'hectares de surfaces récoltées. Sa superficie de production est principalement située dans la zone agro-climatique semi-aride (300-400 mm de précipitations) caractérisée par la variabilité et la sévérité des conditions climatiques.

Ces conditions climatiques difficiles ont un impact négatif sur la stabilité des rendements qui varient entre 11 q/ ha dans les années sèches et 27 q / ha dans les années pluvieuses (MADR, 2014).

La stabilité du rendement est un critère important pour le développement d'une variété. Elle est perçue en termes de réduction de la fréquence des rendements faibles. C'est un objectif de sélection prioritaire dans les environnements contraignants (Annichiarico *et al.*, 2005 ; Bahlouli *et al.*, 2005 ; Kadi *et al.*, 2012 ; Guendouz et Hafsi, 2017).

L'objectif principal des sélectionneurs d'orge est de développer des variétés caractérisées à la fois par la stabilité et un bon niveau de rendement.

Le comportement instable des variétés, qui présentent des fluctuations de rendement dans les différents environnements, est dû à la présence d'interactions entre le génotype et l'environnement (Alberts, 2004).

Les essais multi-environnementaux sont importants dans la sélection des plantes pour étudier la stabilité des rendements et prédire les performances des génotypes dans différents environnements. Les interactions génotype x environnement (GEI) compliquent l'identification des génotypes supérieurs (Allard et Bradshaw, 1964) mais leur interprétation peut être facilitée par l'utilisation de plusieurs méthodes de modélisation statistique.

L'IEG se produit lorsque les génotypes réagissent différemment d'un environnement à l'autre, et elle est considérée comme l'un des principaux facteurs limitant les progrès de la sélection, et par conséquent de la production agricole.

Plusieurs méthodes statistiques ont été développées pour analyser les IEG. Ces analyses permettent de caractériser les génotypes en vue de leur adaptation et de leur degré de stabilité. Parmi ces méthodes, on peut citer :

Un grand nombre de mesures de stabilité ont été développées pour analyser les IEG (Mohammadi *et al.*, 2016). Les programmes d'amélioration des cultures intègrent des approches paramétriques et non-paramétriques (Mohammadi et Ahmed 2008). Ces analyses permettent de caractériser les génotypes en vue de leur adaptation et de leur degré de stabilité. Parmi ces méthodes, on peut citer :

La première approche, la plus courante, est paramétrique et repose sur des hypothèses de répartition concernant les effets génotypiques, environnementaux et GxE. La deuxième approche majeure est l'approche non paramétrique ou analytique par regroupement, qui met en relation les environnements et les phénotypes par rapport aux facteurs environnementaux biotiques et abiotiques sans faire d'hypothèses de modélisation spécifiques.

Plusieurs méthodes paramétriques, y compris des méthodes univariées et multivariées, ont été mises au point pour évaluer la stabilité et l'adaptabilité des variétés.

L'approche paramétrique comprend de nombreux indices tels que le coefficient de régression (b_i ; Finlay et Wilkinson, 1963), la variance des écarts par rapport à la régression (S^2_{di} ; Eberhart et Russell, 1966), l'indice de stabilité de l'écovalence de Wricke (W_i^2 ; Wricke, 1962), la variance de stabilité de Shukla (σ_i^2 ; Shukla, 1972), le coefficient de variance environnementale (CV_i ; Francis et Kannenberg, 1978) et l'indice de stabilité du rendement (YS_i ; Kang, 1991).

Le deuxième groupe de méthodes analytiques comprend des méthodes non paramétriques telles que les statistiques de Nassar et Huhn ($S^{(1)}$, $S^{(2)}$; Nassar et Huhn, 1987), l'équation de Huhn ($S^{(3)}$ et $S^{(6)}$; Huhn, 1990), les statistiques de Thennarasu ($NP(i)$; Thennarasu, 1995). Les statistiques non paramétriques sont une alternative possible aux statistiques paramétriques parce que leur performance est basée sur des données classées (Nassar et Huhn, 1987) et qu'aucune hypothèse n'est nécessaire sur la distribution et l'homogénéité de la variance des erreurs. Comme chaque méthode a ses propres avantages et inconvénients, la plupart des programmes de sélection intègrent désormais des méthodes paramétriques et non paramétriques pour la sélection de génotypes stables.



CHAPITRE II MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Localisation et mise en place de l'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée sur le site expérimental relevant de la station de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif, situé dans l'étage bioclimatique semi-aride central, qui culmine (1080 m d'altitude, 36° 9 'N., 5° 21' E). L'expérimentation a été réalisée au cours des deux campagnes agricoles successives 2017/18 et 2018/19.

Le site est représentatif de la zone centrale des hautes plaines, il se caractérise par des terres plates, peu fertiles et un fort risque de gel tardif et de la sécheresse en fin de cycle. Le sol est de texture limono-argileuse avec un taux moyen en matière organique de 2.8 % (Tableau 4). La densité apparente est de 1,35 g cm⁻³, la capacité au champ est de 25% et le point de flétrissement se situe à 12% (Chennafi *et al.*, 2006).

Afin de connaître les caractéristiques chimiques du sol de la parcelle expérimentale, nous avons recouru à des analyses qui ont été effectuées au laboratoire de l'ITGC sur des échantillons prélevés au préalable diagonalement sur deux profondeurs du sol: (0-20 cm et 20-40 cm). Les résultats sont mentionnés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Résultats des analyses physico-chimiques du sol.

Profondeur (cm)	Matière organique (%)	pH	CE Mmohs/cm	Azote N (%)	Phosphore P (ppm)	Potassium K (ppm)	CaCO ₃ total (%)
0-20	3	8,13	0,33	0,09	10,97	166,7	1,46
20-40	2,6	8,06	0,40	0,07	6,21	136,7	1,63

2. Matériel végétal

L'expérimentation comporte le suivi de trente-trois (33) génotypes provenant de différentes origines dont vingt-deux nouveaux génotypes prometteurs du centre international de recherche agricole dans les zones arides (ICARDA), sept génotypes du centre arabe de recherche agricole dans les zones arides (ACSAD), sélectionnés au sein du programme de sélection de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) et six variétés locales (Fouarra, Saida 183, Tichedrette, Rihane 03, Souguer et Rahma), considérées comme des témoins. (Tableau 5).

- Fouarra est une variété d'orge à 6 rangs, elle a été sélectionnée, en année 1991/ 92 par la station de Sétif à l'intérieur de la pépinière de l'ICARDA. C'est une variété très productive et de bonne stabilité, elle a été proposée et inscrite au catalogue officiel depuis 1997 (Benmahamed *et al.*, 2001).

- Tichedrette est une variété d'orge à 6 rangs, ancienne, issue de la sélection à l'intérieure des populations locales. C'est une variété de type demi-hiver, rustique, s'adaptant plus aux conditions environnementales des hauts plateaux de l'est du pays. Tichedrette occupe 15% du programme de multiplication de semences (Boufenar et Zaghouane, 2004).
- Saida 183 est une variété d'orge à 6 rangs, ancienne, issue des populations locales. Elle est de type printemps, à paille haute, sensible à l'Helminthosporiose. Saïda 183 est cultivée sur une large gamme d'environnements et occupe 74 % de la sole réservée à la production de semences au niveau national (Boufenar et Zaghouane, 2004).
- Rihane 03 est une variété d'orge à 6 rangs, ancienne, de type printemps, très sensible aux gels tardifs, très performante lors des années sans froid excessif. C'est une sélection de la station de Sidi Bel Abbés. Elle est très productive dans les plaines intérieures et les hauts plateaux de l'ouest (Benmahamed *et al.*, 2001).
- Rahma est une variété d'orge à 2 rangs, sélectionnée par la station de Sétif, au début des années 1990, à l'intérieur des pépinières de l'ICARDA. Elle est légèrement plus productive que les variétés locales.
- Souguer est une variété d'orge semi-tardive à 6 rangs, de hauteur et de tallage moyens. Elle est caractérisée par : un rendement en grain élevé, une tolérance à la sécheresse (Douici-Khalfi *et al.*, 2019).

Tableau 5 : Code, pédigrées, types de rangs, origine des génotypes testés dans l'expérimentation.

Code	Variété ou Pédigrée	Types de rangs	Origine
G1	TARM 92	2	ICARDA
G2	Sadik-02*2/3/Narcis//K-281/Skorohod	2	ICARDA
G3	Pamir-010/Sahara-3768/3/YEA168.4/YEA605.5//Lignee131/ArabiAbiad	2	ICARDA
G4	Pamir-010/Sahara-3768/3/YEA168.4/YEA605.5//Lignee131/ArabiAbiad	2	ICARDA
G5	GkOmega/4/CI08887/CI05761//Man/CI02320/3/Alger/Ceres362-1-1//Emir/5/Roho/Masurka//ICB-103020/3/Kc/MullersHeydla//SlS/4/Sararood	2	ICARDA
G6	GkOmega/4/Arr/Esp//Alger/Ceres362-1-1/3/ICB-100175/5/Birlik-1	2	ICARDA
G7	GkOmega/CWB117-5-9-5/5/Excelle/4/Alpha/Durra/3/4679/105//YEA132TH	2	ICARDA
G8	CWB117-77-9-7//Alpha/Durra(TH)/4/YEA168-4/YEA605.5//Lignee131/ArabiAbiad/3/Sararood	2	ICARDA
G9	Grivita/Malta1-4-3094-2/3/Lignee131/ArabiAbiad//Mal1-4-3094-2	2	ICARDA
G10	Antares/Ky63-1294//CWB117-77-9-7/5/Roho/Masurka//ICB-103020/3/GkOmega/4/Sararood	2	ICARDA
G11	ChiCm/An57//Albert/3/ICB-102379/4/GkOmega/5/Ste/Lignee640//Hml-02/ArabiAbiad*2/3/Sararood	2	ICARDA

G12	LARENDE	2	ICARDA
G13	Scio/5/Lignee640/3/CI02325/CI12225//Boy*2/Surb*3/4/CI14100/6/Kc/MullersHeydla//SIs/3/Victoria/4/Sararood	2	ICARDA
G14	Lignee131/ArabiAbiad//Mal1-4-3094-2/3/WKN5185-82/Pamir-038	2	ICARDA
G15	Tipper/ICB-102854//Alpha/Durra/3/80-5024/F3BulkHip//Lignee131	2	ICARDA
G16	ChiCm/An57//Albert/3/ICB-102379/4/GkOmega/5/Sararood*2	2	ICARDA
G17	Alpha/Durra//Antares/ArabiAbiad/3/Sararood	2	ICARDA
G18	CWB117-77-9-7/4/Belt67-1608/Slr/3/Dicktoo/Cascade//Hip/5/Kc/MullersHeydla//SIs/3/Victoria/4/Sararood	2	ICARDA
G19	Birlik-1/4/4679/105//YEA132TH/3/Pamir-168	2	ICARDA
G20	Birlik-1/4/4679/105//YEA132TH/3/Pamir-168	2	ICARDA
G21	GkOmega/CWB117-5-9-5/5/Excelle/4/Alpha/Durra/3/4679/105//YEA132TH	2	ICARDA
G22	Grivita/Malta1-4-3094-2/3/Lignee131/ArabiAbiad//Mal1-4-3094-2	2	ICARDA
G23	Fouarra	6	Algérie
G24	Saida 183	6	Algérie
G25	Tichedrette	6	Algérie
G26	Rihane 03	6	Algérie
G27	Rahma	2	Algérie
G28	BUCK M8.88/E.ACACIA/MSEL /3/ ACSAD 1644ACS -B - 12330(2010)- 12IZ -1IZ-1IZ-0IZ	6	ACSAD
G29	ACSAD1644/6/BARBARA/4/BACA”S”/3/AC253//C108887/C105761/5/BARBARA/4/BACA”S”/3/AC253ACS-B-12106-2008-24IZ-3IZ-2IZ-0IZ	6	ACSAD
G30	Souguer	6	Algérie
G31	ACSAD 1610 / ACSAD 1632ACS -B - 12450(2010)- 10IZ -2IZ-2IZ-0IZ	6	ACSAD
G32	ACSAD1644/4/ALANDA/HAMRA/3/AW BLACK/ATHS//RHN-08ACS-B-12105-2008-1IZ-3IZ-1IZ-0IZ	6	ACSAD
G33	BUCK M8.88/E.ACACIA/MSEL /3/ ACSAD 1644ACS -B - 12330(2010)- 25IZ -1IZ-3IZ-0IZ	6	ACSAD

3. Dispositif expérimental

Les génotypes testés sont évalués dans un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets avec trois répétitions. La parcelle élémentaire est constituée de 6 lignes de 5 m de long, espacés de 20 cm, soit une surface de 6 m².

L'essai est installé sur un précédent jachère travaillée. Le semis est réalisé le 02 décembre, pour les deux campagnes à une densité de 250 graines/ m². La fertilisation phosphatée est appliquée avant le semis à raison de 100 kg/ ha de mono ammonium phosphate (MAP). Quant à la fertilisation azotée, elle a été apportée en deux apports sous forme d'urée 46 %, le

premier apport a été épandu au stade trois feuilles à raison de 40 kg/ ha et le deuxième apport au stade épi un centimètre (1cm) à raison de 60 kg/ ha. Le désherbage chimique de post émergence a été effectué juste avant l'apport de l'engrais azoté avec du Zoom [4,1% *Triasulfuron* + 65,9 % *Dicamba*, 3,6-dichloro-2-methoxybenzoic acide] à raison de 150 g ha⁻¹.

4. Notations et mesures

Les notations et les mesures ont portés sur la détermination de :

4.1 La durée de la phase végétative (DPV, J)

La durée de la phase végétative est déterminée en nombre de jours calendaires comptés à partir de la levée jusqu'à la date de réalisation de 50% de l'épiaison. La date d'épiaison est indiquée par la sortie des barbes de la gaine de la dernière feuille complètement développée.

4.2 La surface foliaire (SF, cm²) et poids spécifique foliaire (PSF)

La surface foliaire est estimée à partir d'un échantillon de 05 feuilles, dont on mesure la longueur (L) et la plus grande largeur de la feuille étendard. La surface foliaire est déduite par la formule: **SF (cm²) = 0.607 (L x 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) (Spagnoletti-Zeuli et Qualset, 1990).

Ensuite, les feuilles étendards sont séchées à 85°C pendant 48 heures et pesées pour obtenir le poids sec (PS). Le poids spécifique foliaire (PSF) est calculé à partir de la formule donnée par Sarkar *et al.*, (2003) : **PSF (mg/ cm²) = PS/SF**

4.3 La hauteur de la plante, la longueur de l'épi, du col de l'épi et des barbes

- La hauteur de la plante (PHT) est mesurée au stade maturité. Elle est prise en cm du sol jusqu'à la pointe de l'épi, barbes non incluses.
- La longueur de l'épi du maitre brin (LE) de 05 plantes a été mesurée en centimètre (cm) de la base de l'épi jusqu'au sommet en excluant les barbes.
- La longueur du col de l'épi à partir du dernier nœud jusqu'à la base de l'épi (1^{er} article du rachis). Elle est exprimée en cm.
- La longueur des barbes a été mesurée en centimètre (cm) à partir du sommet de l'épillet terminal jusqu'au sommet des barbes.

4.4 Remplissage des grains

De l'anthèse à la maturité physiologique, chaque deux jours, cinq épis de la pousse principale de chaque parcelle élémentaire ont été récoltés et séchés dans un four à 80 ° C pendant 48 heures. Après séchage, 10 grains du tiers médian de l'épi, soit au total 50 grains par échantillon ont été utilisés pour mesurer les paramètres de remplissage du grain (Tableau 6).

Tableau 6 : Liste des paramètres de remplissage des grains calculés.

Paramètre de remplissage du grain	Acronyme	Références	Équations
Poids maximum des grains	MGW	Vesna <i>et al.</i> , 2018	Estimation sur la base du poids d'un seul grain à différents échantillons
Le taux de remplissage des grains	GFR	Vesna <i>et al.</i> , 2018	$GFR = \text{poids sec final du grain} / GFD$
La durée de remplissage des grains	GFD	Vesna <i>et al.</i> , 2018	GDD accumulé de l'anthèse
degrés-jours de croissance-Cumul de la température moyenne journalière (Tn)	GDD	Vesna <i>et al.</i> , 2018	$Tn = ((T_{max} + T_{min})/2) - T_b$
L'intensité absolue de la vitesse de remplissage des grains	AFI	Radford, 1967	$AFI = (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1)$
La vitesse maximale de remplissage des grains	MFR	Brdar <i>et al.</i> , 2004	Estimation sur la base de l'AFI pour chaque géotype

Légende: Tn: degré-jour quotidien, Tmax: température maximale journalière, Tmin: température minimale journalière, Tb: température de base (0°C), W1 et W2: poids secs de l'échantillon aux temps T1 et T2, respectivement.

4.5 La teneur relative en eau (TRE, %)

La mesure de TRE a été réalisée au stade épiaison sur un échantillon de cinq feuilles échantillonnées pour déterminer l'état hydrique des plantes selon la méthode de Barrs et Weartherly (1962). Les feuilles échantillonnées par traitement sont coupées au niveau de la base du limbe et directement pesées pour avoir le poids de la matière fraîche (PF, mg). Elles sont ensuite placées dans un tube à essai contenant de l'eau distillée, à l'abri de la lumière à la température ambiante du laboratoire pendant 4 heures, pour atteindre l'état turgide. Les feuilles sont à nouveau pesées, après avoir pris soin de l'essuyer de l'excès d'eau avec du papier buvard, pour obtenir le poids turgide (PT, mg). L'échantillon est enfin mis à sécher dans une étuve, à 65°C pendant 16 heures afin de déterminer le poids sec (PS, mg). Les valeurs de la teneur relative en eau sont calculées à partir de la formule :

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

Où :

TRE = teneur relative en eau foliaire (%)

PF = poids de la matière fraîche foliaire (mg)

PS = poids de la matière sèche foliaire (mg)

PT = poids de la matière turgide foliaire (mg)

4.6 L'intégrité cellulaire (IC, %)

Le test de l'intégrité cellulaire (IC) est effectué sur les deux dernières feuilles entièrement développées, prises au hasard par génotype et traitement. Ces échantillons sont lavés à l'eau courante. Les feuilles sont découpées en segments de 1 cm de long. Un échantillon de 10 segments du limbe foliaire est mis dans un tube à essai et lavé trois fois avec de l'eau distillée pour enlever les poussières adhérentes qui influent sur les résultats du test. A Chaque tube on ajoute 10 ml d'eau distillée déminéralisée. Les tubes, ainsi traités, sont périodiquement agités manuellement et laissés à la température ambiante du laboratoire. Une première lecture est faite (EC1) avec le conductimètre 24 heures après. Les tubes sont ensuite mis au bain marie, dont la température est portée à 100°C, pendant 60 minutes. Une deuxième lecture de la conductivité est faite 24 heures après le passage des échantillons dans le bain marie (EC2). Le pourcentage de cellules endommagées par le stress hydrique est estimée, selon la procédure décrite par Bajji *et al.*, (2001), comme suit :

$$\% \text{ IC} = 100 (\text{EC1} / \text{EC2})$$

Où

% IC est le pourcentage de cellules endommagées par le déficit hydrique, EC1 et EC2 sont respectivement les conductivités du traitement avant et après passage au bain marie.

4.7. La température de la canopée (CT, °C)

La température de la canopée est mesurée au stade épiaison, à raison de trois lectures par génotype et par répétition. Un thermomètre infrarouge portatif (modèle TECPEL 513, TAIWAN), avec un champ de vision de 100 mm à 1000 mm, a été utilisé pour mesurer le CT (°C). Les données ont été prises du même côté de chaque parcelle à 1 m du bord et à environ 50 cm au-dessus de la canopée à un angle de 30 ° par rapport à l'horizontale. Les lectures ont été faites entre 13h00 et 15h00 les jours ensoleillés.

4.8. Teneur en chlorophylle totale

La teneur en chlorophylle de la feuille étandard a été mesurée au stade épiaison à l'aide d'un chlorophylle- mètre de marque SPAD- 502 (MINOLTA, Osaka, Japon).

Cet appareil portable fonctionne sur pile et est conçu pour faire des mesures rapides et non destructives sur des échantillons de feuilles intactes. Le SPAD- 502 a une surface de mesure de 0,06 cm² et donne des mesures en unités SPAD basées sur l'absorbance à 650 et 940 nm.

a. Réflectance de feuille drapeau

La réflectance des feuilles de drapeau (FLR) a été évaluée par l'analyse d'image numérique (NIA) (Hafsi *et al.*, 2000 et Guendouz *et al.*, 2012). Estimer la réflectance en rouge, vert et bleu (RVB); les feuilles ont été photographiées sur une surface noire, entre 11h00 et 12h00 heure solaire avec un appareil photo numérique couleur (Canon, Power Shot A460, AiAF, CHINE). Les images ont été stockées dans un JPEG (Joint Photographic Expert Group) avant d'être téléchargées sur un ordinateur PC et analysées à l'aide du logiciel Mesurim Pro (version 3.3).

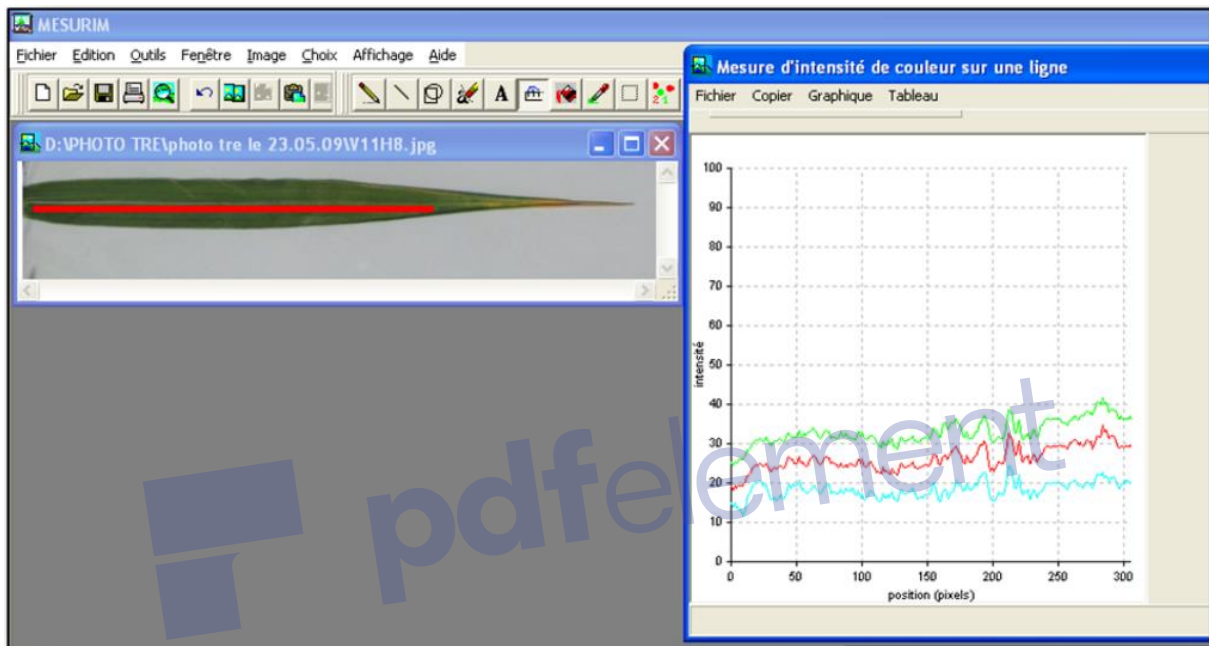


Figure 3: Description de la mesure de la réflectance en RVB (Rouge, Vert, Bleu) à l'aide du logiciel Mesurim Pro (Guendouz *et al.*, 2012).

4.11 Le rendement et ses composantes

Le rendement en grains (RDT) a été déterminé au stade maturité à partir du poids des grains issues du battage des épis par bottillon de végétation provenant de la récolte d'un segment de rang de 1 m de long par parcelle élémentaire. Ces mêmes bottillons ont servi aussi à la détermination du nombre d'épis (NE/ m²) produit par unité de surface. Le poids de 1000 grains (PMG, g) a été déterminé sur la base du poids de 250 grains comptées par parcelle élémentaire.

Les nombres de grains par épi (NGE) a été déduit par calcul, en utilisant les données relatives au rendement en grains, au poids de 1000 grains et au nombre d'épis produit par unité de surface:

$$\text{NGM}^2 = 1000 \text{ RDT} / \text{PMG}$$

$$\text{NGE} = \text{NGM}^2 / \text{NE}$$

Où

NGM² = nombre de grains produits par m²

RDT = rendement en grains (g/m²)

PMG = poids de 1000 grains (g)

NE = nombre d'épis comptés par m²

NGE = nombre moyen de grains par épi

Le rendement en paille (PLL) est estimé par la différence entre la biomasse et le rendement grain.

L'indice de récolte (HI) est estimé au stade maturité par le rapport du rendement en grains sur la biomasse aérienne.

$$\text{HI}\% = (\text{Rendement grain} / \text{biomasse aérienne}) * 100$$

5. Analyse des données

Les données collectées ont été analysées à l'aide du logiciel Costat, version 6.4. L'analyse de la variance (ANOVA) a été effectuée, selon le dispositif expérimental, pour tous les paramètres agronomiques, physiologiques et morphologiques et ainsi le test à plusieurs échelles LSD de Fisher, qui a été utilisé pour la comparaison des moyennes.

Les corrélations phénotypiques entre les différentes variables sont calculées, selon la méthode décrite par Quinn et Keough (2002). Ces corrélations donnent une idée sur les caractères susceptibles d'être utilisés comme critères de sélection.

Une régression linéaire multiple était utilisée lorsqu'il y avait plus d'une variable prédictive. Ce modèle a été utilisé pour évaluer la contribution relative des composants liés aux variations de rendement en grains.

La régression progressive (stepwise regression) a été utilisée pour déterminer les variables les plus importantes (variables indépendantes) ayant contribué de manière significative à la variabilité du rendement total (variable dépendante) (Draper et Smith, 1981).

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode exploratoire et descriptive (Dagnelie, 1986). Elle est utilisée pour mieux visualiser les liaisons complexes qui existent entre les variables mesurées et les différents génotypes étudiés.

6. Analyse de la stabilité du rendement

La stabilité a été approchée par le calcul de plusieurs indices dont certains relèvent des méthodes paramétriques, alors que d'autres relèvent des méthodes non paramétriques (Rose *et al.*, 2008; Benmahammed *et al.*, 2010 ; Adjabi *et al.*, 2016; Guendouz et Hafsi, 2017).

Basé sur le rendement en grains, le matériel végétal utilisé dans cette analyse se compose de seize génotypes (Tableau 7) pour sélectionner des génotypes d'orge adaptés et stables sur la base de certains indices paramétriques et non paramétriques. Les génotypes ont été évalués durant trois campagnes agricoles consécutives au niveau de la station de recherche de l'institut technique de grandes cultures (ITGC) de Sétif de 2017-18 à 2019-20.

Tableau 7 : Liste des génotypes évalués dans l'analyse de stabilité.

Code	Variété ou Pédigrée	ORIGINE
G1	TARM 92	ICARDA
G2	Pamir-010/Sahara-3768/3/YEA168.4/YEA605.5//Lignee131/ArabiAbiad	ICARDA
G3	Pamir-010/Sahara-3768/3/YEA168.4/YEA605.5//Lignee131/ArabiAbiad	ICARDA
G4	Grivita/Malta1-4-3094-2/3/Lignee131/ArabiAbiad//Mal1-4-3094-2	ICARDA
G5	ChiCm/An57//Albert/3/ICB-102379/4/GkOmega/5/Ste/Lignee640//Hml-02/ArabiAbiad*2/3/Sararood	ICARDA
G6	LARENDE	ICARDA
G7	Scio/5/Lignee640/3/CI02325/CI12225//Boy*2/Surb*3/4/CI14100/6/Kc/MullersHeydla//Sls/3/Victoria/4/Sararood	ICARDA
G8	Lignee131/ArabiAbiad//Mal1-4-3094-2/3/WKN5185-82/Pamir-038	ICARDA
G9	Alpha/Durra//Antares/ArabiAbiad/3/Sararood	ICARDA
G10	CWB117-77-9-7/4/Belt67-1608/Slr/3/Dicktoo/Cascade//Hip/5/Kc/MullersHeydla//Sls/3/Victoria/4/Sararood	ICARDA
G11	Birlik-1/4/4679/105//YEA132TH/3/Pamir-168	ICARDA
G12	GkOmega/CWB117-5-9-5/5/Excelle/4/Alpha/Durra/3/4679/105//YEA132TH	ICARDA
G13	Grivita/Malta1-4-3094-2/3/Lignee131/ArabiAbiad//Mal1-4-3094-2	ICARDA
G14	Fouarra	Algérie
G15	Saida 183	Algérie
G16	Tichedrette	Algérie

6.1 Indices paramétriques

Le coefficient de régression (b_i) est la réponse du génotype à l'indice environnemental qui est dérivé de la performance moyenne de tous les génotypes dans chaque environnement (Finlay et Wilkinson, 1963). Si b_i ne diffère pas significativement de 1, alors le génotype est adapté à tous les environnements.

En plus du coefficient de régression, la déviation de la régression (S^2_{di}) a été proposée comme l'un des paramètres les plus utilisés pour la sélection de génotypes stables. Les génotypes avec un $S^2_{di} = 0$ seraient les plus stables, tandis qu'un $S^2_{di} > 0$ indiquerait une stabilité moindre dans tous les environnements. Par conséquent, les génotypes ayant des valeurs inférieures sont les plus souhaitables (Eberhart et Russell, 1966).

Wricke (1962) a proposé le concept d'écovalence comme étant la contribution de chaque génotype à la somme des carrés de l'IEG. L'écovalence (W_i) du génotype est son interaction avec les environnements, au carré et additionnée à travers les environnements. Ainsi, les génotypes ayant des valeurs faibles présentent de plus petits écarts par rapport à la moyenne dans les différents environnements et sont plus stables.

Enfin, le coefficient de variation est suggéré par Francis et Kannenberg (1978) comme une statistique de stabilité par la combinaison du coefficient de variation, du rendement moyen et de la variance environnementale. Les génotypes à faible CV_i , à faible variance environnementale (EV) et à rendement moyen élevé sont considérés comme les plus souhaitables.

6.2 Indices non paramétriques

Huhn (1990) et Nassar et Huhn (1987) ont proposé quatre indices non paramétriques. Nous avons utilisé dans cette étude deux indices:

$S^{(1)}$: Moyenne des différences absolues de génotype sur tous les environnements testés

$S^{(6)}$: La somme des carrés de rang pour chaque génotype par rapport à la moyenne des rangs.

La valeur la plus basse pour chacune de ces statistiques révèle une grande stabilité pour un certain génotype.

En outre, quatre statistiques NP (1-4) constituent un ensemble de statistiques alternatives non paramétriques sur la stabilité définies par Thennarasu (1995). Nous avons utilisé uniquement les paramètres $NP^{(2)}$ et $NP^{(4)}$. Ces paramètres sont basés sur les rangs des moyennes ajustées des génotypes dans chaque environnement. Les faibles valeurs de ces statistiques reflètent une grande stabilité.

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel en ligne (**STABILITYSOFT**) développé par Pour-Aboughadareh *et al.*, (2019).



CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Présentation et description climatique des années d'études

1.1 Pluviométrie

On rappelle que pour l'agronome qui s'intéresse à l'effet du climat sur l'élaboration d'une production agricole, il s'agit notamment d'analyser: (i) la répartition dans l'année des pluies, des températures, de l'insolation, par rapport au cycle végétal, (ii) leur variabilité spatiale et interannuelle, (iii) leur extériorisation sur le végétal, variable notamment en fonction des terrains (Aubry *et al.*, 1986 ; Benniou, 2008).

Les cumuls pluviométriques durant les deux années d'expérimentation ; 2017/18 et 2018/19, enregistrés au cours des mois, allant de septembre à juin inclus sont respectivement de 442,1 et 346,6 mm (Figure 4). A ce titre, l'écart inter campagnes élevé a été observé où on a enregistré 95,2 mm. Ces résultats indiquent la variabilité pluviométrique à laquelle est sujet le climat des hautes plaines orientales dont le site expérimental de la SRA-ITGC de Sétif en fait parti.

Par mois, le maximum a été observé aux mois de mars et avril 90,4 mm et 81,3 en 2017/18 et au mois de janvier 77 mm en 2018/19. Par contre, le minimum a été observé au mois d'octobre 10,7 mm en 2017/18 et aux mois de décembre et juin 10,8 mm et 00 mm en 2018/19.

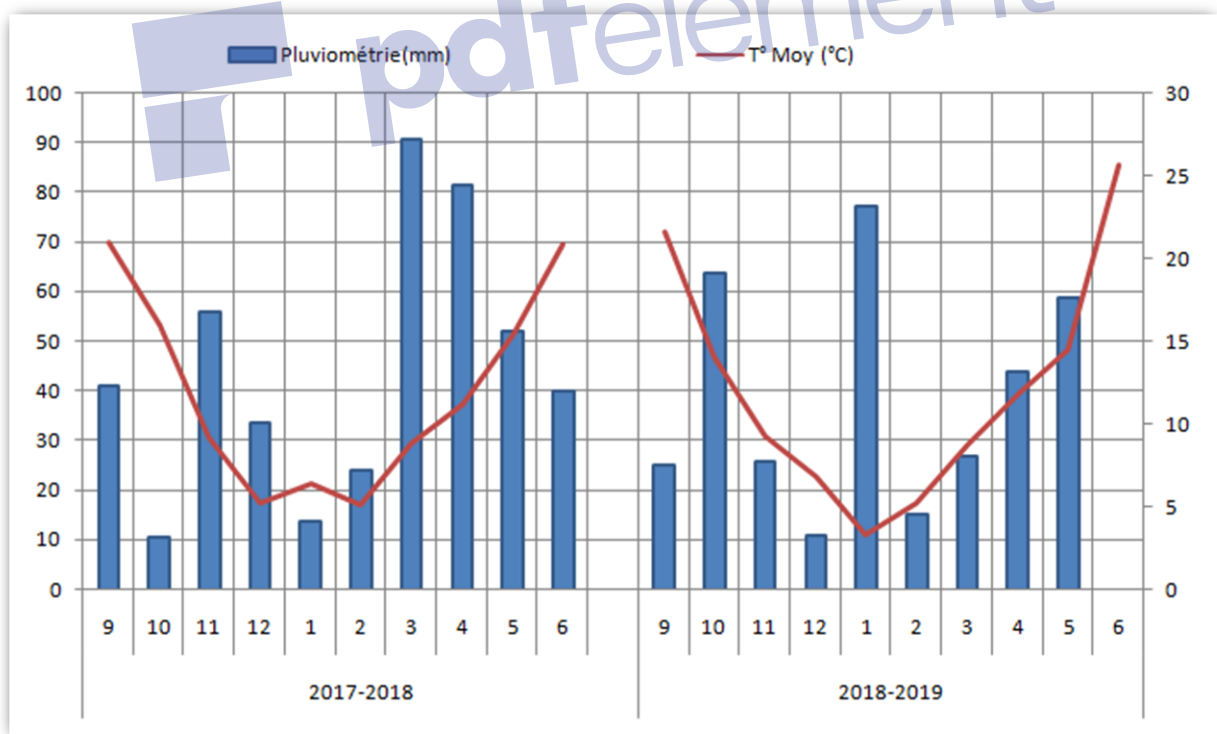


Figure 4: Pluviométrie et température moyenne mensuelles enregistrées au cours des deux campagnes agricoles d'études sur le site expérimental de l'ITGC de Sétif.

Donc, la variabilité pluviométrique est interannuelle et interannuelles. Leur analyse est très importante pour la prévision, la gestion des ressources hydriques en zones semi-aride. Cette variabilité des quantités de pluies temporelle explique le peu de ressemblance entre campagnes et de fait, la variabilité des performances des géotypes cultivés en rendement en grains.

D'une manière générale, il y a une variation saisonnière très marquée des précipitations pendant ces deux saisons agricoles. En effet, les quantités de pluies enregistrées au cours de l'hiver (décembre à février) est en moyenne 87,5 mm soit 22,76 %, elles sont plus faibles que celles enregistrées en automne (septembre, octobre et novembre), avec une moyenne de 110,9 mm soit 28,85% et au printemps (mars à juin inclus), avec une moyenne de 196.3 mm soit 51.07 %.

La variabilité saisonnière interannuelle est plus prononcée au printemps comparé à l'automne et l'hiver (Figure 5).

En effet, au cours des deux campagnes agricoles, la pluie printanière s'élevait à 263,4 mm en 2017/18 comparé à celle de 2018/19, du simple au double (Figure 5).

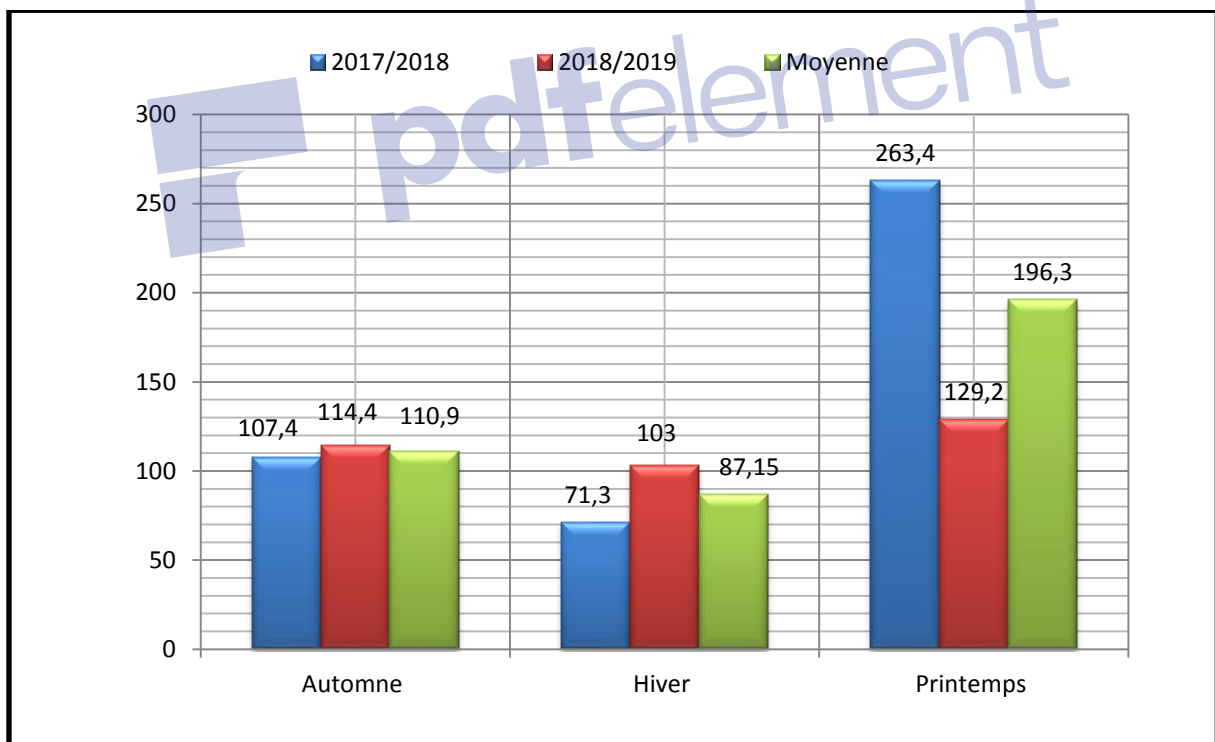


Figure 5: Pluviométrie moyenne saisonnière du site expérimental de la SRA-ITGC de Sétif enregistrées au cours des campagnes agricoles d'études.

1.2 Température

La moyenne température est plus élevée en saison d'été puis, elle baisse progressivement au cours de l'automne pour atteindre les valeurs basses en hiver notamment, au mois de janvier et février. Elle se redresse rapidement au cours du printemps, en accélérant la croissance et le développement de la végétation pour atteindre des valeurs hautes en été (Figure 6). Par saison, la moyenne des températures varie peu d'une saison à l'autre ; elle varie de 15,17°C en automne contre 14,6°C au printemps. Par contre, la moyenne hivernale est trop basse (5,38°C) ; ce qui engendre arrêt de la croissance de la plante, réduisant la valorisation de l'humidité du sol. Cette dernière est, le plus souvent, plus implorante au cours de cette saison (Figures 4 et 6).

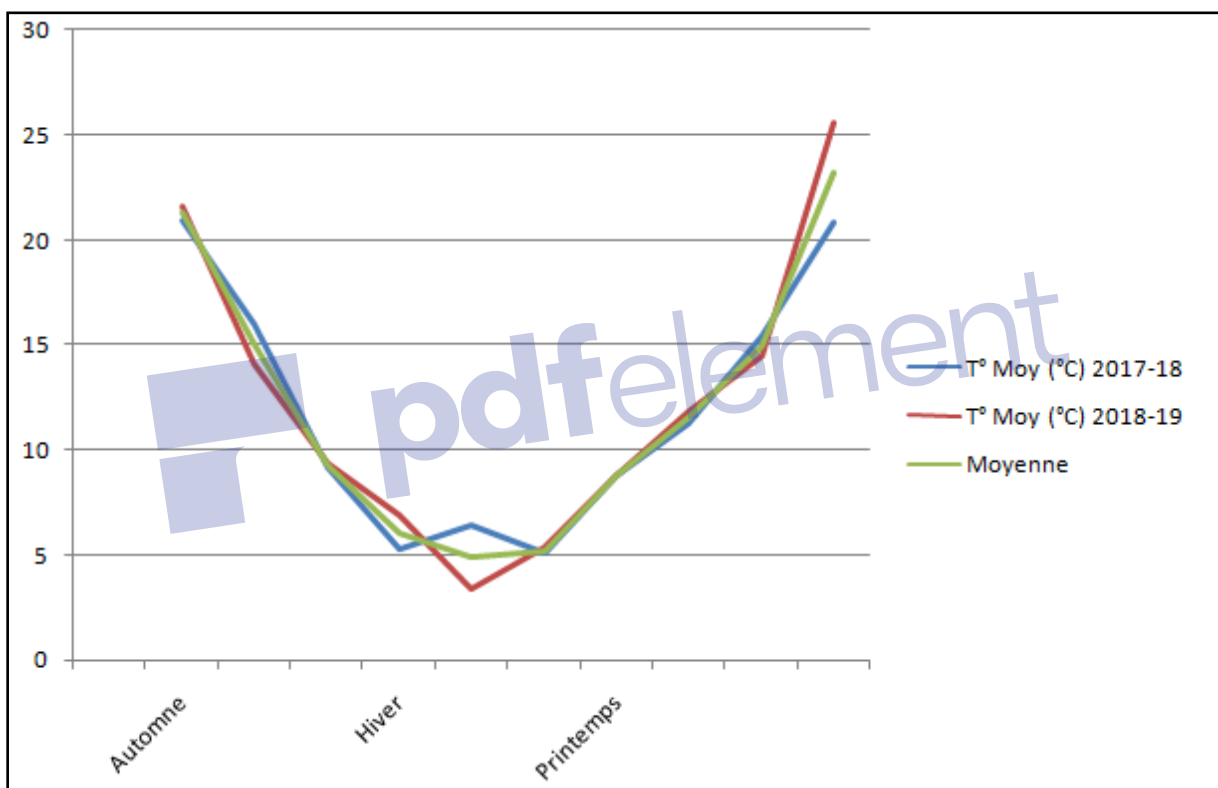


Figure 6: Cycle bimodal de la variation des températures moyennes saisonnières du site expérimental de la SRA-ITGC de Sétif enregistrées au cours des campagnes agricoles d'études.

Au cours des deux campagnes agricoles (2017/ 18 et 2018/ 19), la température moyenne hivernale été de 5,38°C pour atteindre 14,6°C en printemps, par contre, la moyenne automnale est 15,17°C. De fait, la température moyenne suit un mode bimodal comme le montre la figure 6: elles sont basses en hiver, intermédiaires en automne et au printemps et élevées en été.

2. Etude de la variabilité phénotypique

2.1 Les caractères phéno-morphologiques.

L'analyse de la variance révèle un effet génotype très hautement significatif pour l'ensemble des caractères phéno-morphologiques mesurés. Les résultats obtenus indiquent la présence d'une variabilité assez importante entre les génotypes étudiés ; ce qui justifie l'analyse génétique pour la sélection à fin d'améliorer la productivité et l'adaptation de l'orge en zones semi-arides comme le montre le tableau 8.

Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la combinaison (génotypes x années) des caractères phéno-morphologiques mesurés, a un effet année très hautement significatif hormis la hauteur de la plante, une interaction (génotypes x années) significative pour l'ensemble des variables analysées (Tableau 8). Cette analyse indique que l'effet année affecte significativement l'expression des variables mesurés chez l'ensemble de génotypes évalués

L'effet moyen campagne indique que la deuxième année (2018/2019) permet une meilleure expression des variables suivantes: la surface foliaire, le poids spécifique, la durée de la phase végétative, la longueur de l'épi et des barbes alors, que la meilleure expression de la hauteur de la plante et la longueur du col de l'épi a été observée durant la première campagne année (2017/2018).

Tableau 8: Carrés moyens de l'analyse de la variance combinée des caractères phéno-morphologiques.

Source de variation	ddl	PHT	LE	LP	LB	DVG	SF	PSF
Génotype	32	176,86***	8,37***	69,56***	11,95***	83,65***	7,69***	1,55 e ⁻⁵ ***
Année	1	21,95 ns	14,67***	323,61***	6,21***	1168,77***	162,04***	0,004***
G x E	32	31,72***	0,34***	12,51**	0,91***	4,14***	1,53*	3,21 e ⁻⁶ **
Erreur	132	9,59	0,11	5,45	0,37	1,05	0,81	1,73 e ⁻⁶
CV	-	3.57	4.83	9.68	5.72	0.74	18.65	8.97
ET	-	3.09	0.33	2.33	0.60	1.02	0.90	0.001

Légende : PHT: hauteur de la plante, LE: longueur d'épi, LP: longueur du pédoncule, LB: longueur de barbes, DVG: durée de la phase végétative, SF: surface foliaire de la feuille étendard, PSF: poids spécifique foliaire, ns, *, **, *** : effet non significatif et significatif au seuil de 5 et 1% respectivement.

2.1. 1 Hauteur de la plante, la longueur de l'épi, du col de l'épi et des barbes

2.1.1.1 Hauteur de la plante (PHT)

Dans la zone semi-aride algérienne, la hauteur est considérée comme critère de criblage dans les programmes de sélection (Benkherbache, 2002). La hauteur de la plante est un caractère morphologique qui semble différer d'un génotype à l'autre et est très liée aux conditions du milieu. En effet, l'analyse de la variance montre que l'effet génotype est très hautement significatif avec une hauteur élevée notée chez les génotypes G20, G5, G4 et G24 (Saida 183) par rapport à tous les autres génotypes, soit 95,89, 95,60, 94,29 et 94,20 cm respectivement par rapport à la moyenne de tous les génotypes qui est de 86.61 cm, par contre les valeurs les plus basses ont été observées chez le génotype G32 avec 70,25 cm.

A noter que la hauteur de la végétation peut être un critère important pour la sélection surtout dans les zones semi-arides et ceci pour la richesse en glucide disponible au niveau des talles. Ce paramètre permet de couvrir la demande en énergie des animaux d'élevage mais au détriment du rendement grain. Cette caractéristique est désirée durant les années sèches (Annicchiarico *et al.*, 2005 ; Bahlouli *et al.*, 2005).

Rebetzke *et al.*, (2002) trouvent que l'importance de la hauteur sous stress est liée à la capacité de croissance du système racinaire en profondeur. De ce fait, une paille haute est souvent associée d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une meilleure capacité d'extraction de l'eau du sol. Sur cette base, les valeurs moyennes obtenues pour cette caractéristique au cours des deux campagnes d'expérimentation montrent que les génotypes G20, G5, G4 et Saida 183 sont les plus hauts (Tableau 9).

2.1.1.2 Longueur de l'épi (LE)

La longueur de l'épi (LE) est très variable entre les génotypes, en moyenne la LE a des valeurs élevées pour les génotypes G20, G22 et G4 (9,12, 8,38 et 8,26 cm), contrairement à G31, G29, G33 et G25 (Tichedrette) dont les valeurs LE sont les plus courts : 4,57, 4,51, 4,44 et 4,40 cm respectivement.

Selon Biscoe *et al.*, (1976), l'épi joue un rôle dans la photosynthèse et la production d'assimilats nécessaires au remplissage du grain, quand la dernière feuille devient sénescente, et sa contribution à la photosynthèse de la plante entière serait comprise entre 13% et 76%. En cas de déficit hydrique, la photosynthèse de l'épi participe relativement plus au remplissage que la feuille étandard (Bammoun, 1997). De ce fait, une augmentation de la longueur de l'épi contribue à une augmentation de la capacité photosynthétique.

La longueur des épis ainsi que le nombre d'épis et le nombre de fleurons par épi représentent un grand potentiel d'amélioration du rendement en grains (Dimitrijević *et al.*, 2011), par le développement du nombre de grains par épi et comme source d'assimilation pendant la période de remplissage des grains et de fait pour l'élaboration du rendement des grains.

L'épi long et fertile peut potentiellement contribuer à l'amélioration du rendement en grains du blé (Knezevic *et al.*, 2014). Subhashchandra *et al.*, (2009), mentionnent que la longueur de l'épi exerce un effet direct, positif et élevé sur le rendement par plante, suivi du nombre de talles fertiles. De ce fait, ces auteurs proposent que les efforts de la sélection doivent se concentrer sur ces deux caractères pour améliorer indirectement le rendement grains. Sur cette base, les résultats obtenus au cours des deux années d'expérimentation montrent que les meilleurs génotypes sont: G20, G22 et G4 (Tableau 9).

2.1.1.3 La longueur des barbes (LB)

Le rôle joué par la barbe dans la tolérance à la sécheresse et le remplissage des grains a été rapporté par plusieurs auteurs (Bort *et al.*, 1994; Merah et Monneveux, 2014).

La longueur des barbes est souvent considérée comme critère de sélection pour la résistance à la sécheresse chez les céréales (Grignac, 1981). L'effet génotypes et l'effet années sont très hautement significatifs avec les deux variétés locales Tichedrette (14,49 cm) et Fouarra (14,44 cm) et qui ont présenté les barbes les plus longs quelque soit l'année. Quant au génotype G2, il a présenté les barbes les plus courtes durant les deux campagnes avec 8,64 et 9,06 cm respectivement et une moyenne année de 8,85 cm.

A souligner que le développement de longues barbes permet le maintien de l'activité photosynthétique après la sénescence de la dernière feuille et reflète une tolérance à la sécheresse (Febrero *et al.*, 1991).

2.1.1.4 Longueur du pédoncule (LP)

Le pédoncule de l'épi atteint sa forme définitive 10 à 15 jours après le stade épiaison, moment où les stress hydrique et thermique deviennent intenses. C'est cette partie du chaume qui est généralement le siège de transfert d'hydrates de carbone pour la finition du grain, lorsque le remplissage se réalise sous stress (Bahlouli *et al.*, 2005 ; Benmahammed *et al.*, 2008 ; Belkharchouche *et al.*, 2015). Le col de l'épi a été proposé comme un critère de sélection des génotypes tolérants au stress hydrique (Fischer et Maurer, 1978; Ehdaie *et al.*, 2006).

Les résultats de l'analyse de variance montrent des différences très hautement significatives entre les génotypes testés. Les génotypes G7, G31, G5 et G20 affichent les longueurs du col de l'épi les plus élevées avec (28,62, 28,18, 27,96 et 27,74 cm) par contre, les génotypes G27 (Rahma) et G1 (Tarm 92) enregistrent les longueurs les plus courtes durant les deux années d'expérimentation soit 13,7 et 15,45 cm respectivement.

Le col de l'épi présente un paramètre important qui indique le degré de la tolérance pour la variété qui possède un col d'épi élevé ; cette dernière tolère mieux la sécheresse (Bounazef et Louani, 2013). Les études récentes (Dodig *et al.*, 2016 et 2017) réalisées sur des génotypes de blé ont montré que l'un des traits les plus importants du poids des grains par épi était la longueur du pédoncule dans des conditions de sécheresse. D'autres auteurs (Nikkhah *et al.*, 2010; Shobbar *et al.*, 2017) ont signalé que la longueur du pédoncule avait l'un des effets directs les plus élevés sur le rendement en grains des génotypes d'orge à six et à deux rangs dans des conditions de sécheresse terminale. Sur cette base et à travers les résultats obtenus, les génotypes sélectionnés pour cette caractéristique sont: G7, G31, G5 et G20 (Tableau 9).

2.1. 2 La durée de la phase végétative (DVG).

La précocité est une caractéristique d'adaptation qui permet d'échapper aux risques de stress hydrique et thermiques de fin de cycle ou qui coïncident avec les stades critiques des céréales à savoir la méiose-épiaison et le remplissage du grain comme les maximas et les minimas des températures (Mekhlouf, 2006).

L'analyse de la variance de la précocité à l'épiaison montre des différences significatives entre ces lignées, ce résultat semble être dû à la diversité de potentialités génétique du matériel végétal utilisé.

La valeur moyenne de la durée de la phase végétative la plus élevée est enregistrée chez les génotypes G12 (Larende) et G1 (Tarm 92) avec une durée moyenne de 146 jours (plus tardifs), le génotype G28 est le plus précoce avec une moyenne de 128 jours

Le choix du cycle de végétation est donc très important pour que la plante puisse faire une bonne utilisation des disponibilités du milieu tout en s'harmonisant aux conditions climatiques de l'environnement de production (Bouzerzour *et al.*, 2002). La précocité apparaît comme un caractère dont il faut tenir compte dans la recherche d'une plus grande stabilité de la production dans la mesure où elle conditionne la stabilité d'une des composantes du rendement (Bouzerzour *et al.*, 1998b).

La durée de la phase végétative est intéressante, du point de vu 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.*, 2010a). Ce mécanisme biologique pourrait être quantifié d'esquive puisque les génotypes précoces peuvent accomplir leur cycle en évitant ainsi la sécheresse terminale (Megherbi *et al.*, 2012).

Toutefois, la précocité est un mécanisme important de résistance dans ces conditions, mais il ne suffit pas, étant donné la possibilité d'avoir des stress au début ou au milieu de saison (Hayek *et al.*, 2000). L'utilité de la sélection sur la base de la précocité au stade épiaison est justifiée aussi par le souci de donner à la plante un cycle de développement qui lui permet d'éviter les contraintes climatiques tels que le froid tardif (Bouzerzour et Benmahammed, 1994), la sécheresse et les hautes températures de fin de cycle (Oosterom *et al.*, 1993).

Sous stress hydrique terminal, ce qui est courant dans les conditions méditerranéennes, les génotypes précoces sont généralement préférés aux plus tardifs, car la précocité est une stratégie d'évasion (Bidinger *et al.*, 1977; Sanchez *et al.*, 2002; Tewolde *et al.*, 2006; Mansour *et al.*, 2017).

2.1.3 La surface de la feuille étendard (SF)

D'après Rouphael *et al.*, (2010), la surface foliaire est une importante caractéristique pour les études de croissance, d'interception de l'énergie lumineuse, d'efficacité photosynthétique, de transpiration, d'évaporation et de réponse à la fertilisation et à la disponibilité de l'eau. En effet, la surface foliaire est largement utilisée dans les modèles de prévision de la croissance et du développement de la plante.

La valeur moyenne de la surface de la feuille étendard est significativement plus importante chez G25 (Tichedrette), G30 et G23 (Fouarra) avec 7,67, 7,51 et 7,35 cm² respectivement, alors que la plus petite est présente chez le génotype G18 avec une valeur de 2,87cm².

La surface foliaire conditionne la résistance à la sécheresse, vu qu'une surface foliaire élevée perdra plus d'eau qu'une faible surface foliaire (Belkharchouche *et al.*, 2009). De ce fait, une surface foliaire réduite comme celle du génotype G18 perdra moins d'eau, donc cette dernière adopte une stratégie d'évitement, qui permet le maintien d'un potentiel hydrique élevé dans la plante (Belhassen *et al.*, 1995). Cependant, 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 (O'toole et Cruz, 1980).

D'autre part, Cherfia, (2010), trouve une corrélation positive entre le rendement et la surface foliaire de la feuille étendard. Ainsi, les variétés de blé étudiées qui se distinguent par les surfaces les plus élevées donnent un rendement en grains très important. Toute fois une diminution de la surface foliaire peut affecter le rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique (Lefi *et al.*, 2004). Un certain nombre d'études ont montré une association positive entre la surface de la feuille étendard et le rendement en grains dans les céréales (Khaliq *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2011). De ce fait, la sélection pour cette caractéristique privilégie la variété locale Tichedrette (Tableau 9).

2.1.4 Poids spécifique foliaire (PSF)

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).

L'analyse de la variance du poids spécifique foliaire indique un effet génotype très hautement significatif, le poids spécifique foliaire le plus élevé est enregistré chez les génotypes G28 et G29 (7,96 et 7,69 mg/ cm² respectivement) et le plus faible est observé chez Tichedrette (5,56 mg/ cm²).

Selon Araus *et al.*, (1990), un poids spécifique foliaire élevé est un indicateur d'une meilleure capacité photosynthétique, d'une moindre sensibilité à la photo-inhibition et de la consistance de l'appareil photosynthétique. L'augmentation du poids spécifique foliaire chez les plantes stressées, selon (Dubey, 1994) est due au rétrécissement des cellules qui provoque une diminution du volume et même du suc intracellulaire ce qui le rend plus concentré. C'est pourquoi les génotypes sélectionnés pour ce critère sont: G28, G29 et G24 (Saida 183) qui ont les valeurs les plus élevées (Tableau 9).

Tableau 9: Valeurs moyennes des caractères morphologiques des géotypes d'orge étudiés au cours des deux campagnes.

Géotypes	PHT	LE	LB	LP	DVG	SF	PSF
G1	90.76	7.85	9.08	15.45	146.16	6.11	5.75
G2	92.65	7.50	8.85	25.97	137.83	5.94	6.21
G3	87.39	7.12	10.18	24.4	136.5	5.06	6.22
G4	94.29	8.26	9.72	27.72	133.5	4.33	5.69
G5	95.60	7.33	10.68	27.96	135.66	4.06	6.03
G6	87.91	7.08	10.03	26.21	134.66	3.11	6.49
G7	92.15	7.45	9.33	28.62	136.16	4.52	6.29
G8	91.47	7.82	11.18	26.85	136	3.97	6.02
G9	84.07	7.16	10	23.02	138	4.05	6.30
G10	87.21	7.98	11.2	26.39	136	5.36	5.72
G11	86.62	7.12	9.58	19.83	138.16	4.26	6.06
G12	87.68	8	9.01	17.15	146.5	5.14	5.80
G13	85.9	7.45	10.60	27.05	135.33	4.52	6.07
G14	86.72	7.56	11.01	25.72	137.16	4.24	5.63
G15	84.25	6.99	9.09	27.33	136.33	3.61	6.14
G16	85.52	7.31	9.76	23.38	136.66	3.73	6.63
G17	86.94	7.43	10.73	23.92	136.66	3.30	6.06
G18	80.87	6.78	9.22	22.48	133.16	2.87	7.01
G19	84.64	6.87	9.80	23.48	131.5	3.39	6.88
G20	95.89	9.12	9.75	27.74	136.16	5.14	5.83
G21	84.44	7.21	10.36	27.72	138.83	5.04	5.56
G22	77.83	8.38	10.53	20.26	138.5	3.66	6.07
G23	77.72	5.22	14.44	20.17	139.5	7.35	5.92
G24	94.20	5.94	12.24	21.35	138.66	5.86	7.41
G25	91.94	4.40	14.49	24.81	141.5	7.67	5.56
G26	86.19	5.17	11.42	26.01	134	5.95	6.48
G27	83.8	7.88	9.18	13.7	143.33	5.16	5.88
G28	79.48	5.16	12.28	25.61	128.33	5.79	7.96
G29	75.25	4.51	12.46	22.44	131	5.23	7.69
G30	81.5	5.25	14.20	23.4	136.33	7.51	7.22
G31	83	4.57	12.70	28.18	135.33	6.65	7.22
G32	70.25	4.9	10.38	25.66	133.33	6.38	6.92
G33	74.83	4.44	10.79	24.55	133	4.74	7.37
Min	70.25	4.40	8.85	13.7	128.33	2.87	5.56
Max	95.89	9.12	14.49	28.62	146.5	7.67	7.96
Moy	86.61	6.94	10.62	24.13	136.93	4.85	6.27
Ppds 5 %	5.01	0.54	0.98	3.77	1.65	1.46	0.85

Légende: PHT: hauteur de la plante, LE: longueur de L'épi, LP: longueur du pédoncule, LB: longueur de barbes, DVG: durée de la phase végétative, SF: surface foliaire de la feuille étendard, PSF: poids spécifique foliaire.

2.2 Le rendement et ses composantes

Le rendement en grains de l'orge est un trait complexe d'une importance économique considérable qui résulte l'effet du génotype et de l'environnement pendant tout le cycle de vie de la plante. Il est difficile de créer une variété qui possède toutes les propriétés positives dans différentes conditions de culture et résistant aux facteurs de stress biotiques et abiotiques (Madić *et al.*, 2016).

Le rendement est déterminé par trois composantes principales, à savoir le nombre d'épis, de grains par épi et le poids de 1000 grains.

Le stress hydrique a réduit le rendement en grains par plante, probablement en raison d'une réduction de ses trois principaux composants : épis par m², grains par épi et poids des grains, comme indiqué par (Rharrabti *et al.*, 2001 ; García del Moral *et al.*, 2003, 2005; Subira *et al.*, 2015).

Le stress hydrique a un effet négatif sur les composantes de rendement telles que le nombre des épis m⁻², le nombre de grains par épi et le poids de 1000 grains. Dans des conditions de sécheresse Samarah, (2005), a observé une réduction significative du rendement en grains de l'orge (*Hordeum vulgare* L.), principalement en raison d'un plus petit nombre de talles et de grains fertiles et d'un faible poids de 1000 grains.

L'analyse de la variance des interactions (génotypes x années) des caractères mesurés, montre un effet année très hautement significatif hormis le nombre d'épis/m² (non significatif), un effet génotype très hautement significatif pour l'ensemble des variables et une interaction (génotypes x années) significative pour la plupart des variables hormis le rendement en paille comme le montre le tableau 10. Cette analyse indique que les années affectent significativement l'expression des variables mesurés chez l'ensemble de génotypes évalués.

L'effet moyen année indique que la première campagne (2017/2018) permet une meilleure expression des variables suivantes: le nombre d'épis/ m², poids de mille grains et le rendement en grains, alors que la meilleure expression du nombre de grains par épi a été observée durant la deuxième campagne (2018/2019).

Tableau 10: Carrés moyens de l'analyse de la variance combinée du rendement et ses composantes.

Source de variation	ddl	NEM	NGE	PMG	RDT	RDT paille	HI
Géotype	32	42208.98***	475.78***	68.79***	364.85***	199.27**	80.24***
Année	1	2708.33ns	277.52***	3870.85***	1456.43***	2642.11***	848.22***
G x E	32	9199.37*	26.75***	7.84***	150.24*	154.67 ns	26.04***
Erreur	132	5239.57	3.53	2.84	87.17	104.36	9.18
CV	-	15.47	6.51	3.98	17.31	19.41	5.89
ET	-	72.38	1.88	1.68	9.33	10.21	3.03

Légende: NEM: nombre d'épis/m², NGE: nombre de grains par épi, PMG: poids de 1000 grains, RDT: rendement en grains, RDT paille: rendement en paille, HI : indice de récolte, ns, *, **, *** : effet non significatif et significatif au seuil de 5 et 1% respectivement.

Le rendement en grains le plus élevé est enregistré chez Fouarra (G23) à raison de 76,32 q/ha, suivi par G29 (71,64 q/ha) par contre, le plus faible rendement a été enregistré chez les génotypes G17 et G20 à raison de 42,57 et 42.99 q/ha respectivement.

Pour le caractère nombre d'épis/ m², les résultats obtenus révèlent un effet très hautement significatif entre les différents génotypes testés, le nombre d'épis/m² varie de 264 à 635 épis/m², avec une moyenne de 467,89 épis/m². Le nombre d'épis le plus élevé est noté chez les génotypes G18 et G21 avec des valeurs de 635 et 600,16 épis/m² respectivement, alors que Tichedrette enregistre la plus faible valeur (264 épis/m²).

Pour le nombre de grains par épi, les résultats obtenus indiquent qu'il existe des différences très hautement significatives entre les génotypes testés. Les valeurs moyennes varient de 21,13 à 53 grains/épi, avec une moyenne de l'essai de 28,88 grains. Le nombre de grains/ épi le plus élevé est enregistré chez G32 et G31 à raison de 53 et 52,2 grains/épi respectivement, alors que le nombre le plus faible a été enregistré chez le génotype G17 (21,13 grains/ épi).

L'analyse du composant poids de 1000 grains, montre qu'il existe des différences très hautement significatives entre les cultivars testés. Le poids de 1000 grains varie de 28,74 à 52,16 g, comparés à la moyenne obtenue de l'essai qui est de l'ordre 42,38 g, les génotypes G12 (Larende) et Saida 183 expriment les meilleurs poids de 1000 grains, avec respectivement 52,16 et 50,4 g, alors que le génotype G33 présente le poids de 1000 grains le plus faible (28,74g).

2.2.1 Rendement en paille

Les résultats obtenus pour le rendement en paille indiquent qu'il existe des différences hautement significatives entre les génotypes testés. Les valeurs moyennes varient de 39,40 à 69,27q/ ha avec une moyenne de l'essai de 52,62 q/ ha. Tarm 92 (G1) et Rahma (G27) ont produit le rendement les plus élevés (69,27 et 66,27 q/ ha respectivement) parmi les génotypes testés par contre, le génotype G32 a produit le rendement le plus faible (39,40 q/ ha)

2.2.2 L'indice de récolte

Selon Benmahammed *et al.*, (2003) et Bousba, (2012), l'indice de récolte représente le rapport du rendement en grains sur rendement total (grains+ paille) . L'indice de récolte c'est un indicateur de lacapacité du génotype à produire des grains sous les contraintes hydriques auxquelles il est soumis, une valeur élevée de ce rapport signifie que la translocation de photosynthétats vers les sites est bonne et qu'une part importante de ces derniers a contribué au remplissage des grains.

L'indice de récolte des génotypes testés varie de 46,18 à 69,1 % avec une moyenne de l'essai de 51,44 %. Chez les génotypes G1 (Tarm 92) et G27 (Rahma) on a enregistré un indice de récolte le plus important avec respectivement 69,27 et 66,27 % contre la valeur moyenne la plus faible qui est exprimée par le génotype G32 avec 39,40 %.

L'indice de récolte explique clairement la liaison entre la biomasse aérienne et le rendement en grain, car il représente la part de la biomasse produite exprimé en matière sèche qui est valorisée sous forme de grain (Bousba, 2012). De fait, l'indice de récolte est une caractéristique importante pour améliorer le rendement grain (Ullah, 2004 ; Joshi *et al.*, 2004). Au vu des valeurs maximales exprimées, pour sélectionner sur la base de l'indice de récolte, les génotypes G32, G29, G28 et Fouarra sont les plus indiqués.

Tableau 11: Valeurs moyennes du rendement et ses composantes des géotypes d'orge étudiés au cours des deux campagnes.

Géotypes	NEM	NGE	PMG	RDT grains	HI	RDT paille
G1	489	24.54	47.47	58.46	46.18	69.27
G2	566.16	23.95	41.49	56.57	50.51	57.69
G3	599.83	22.61	44.59	60.47	52.43	56.12
G4	515.33	24.89	42.41	54.23	49.68	57.13
G5	490.33	21.86	47.60	51.03	50.35	54.96
G6	509.83	23.84	41.78	50.90	51.16	50.93
G7	508.33	25.30	43.43	55.70	50.90	55.77
G8	508	23.75	41.01	49.56	47.25	56.14
G9	452.33	25.33	40.87	46.53	49.52	51.35
G10	485.5	22.17	42.53	45.50	50.08	48.83
G11	451.66	24.02	44.45	48.45	48.55	56.94
G12	456.66	25.80	52.16	62.06	53.98	52.83
G13	483.16	22.86	40.75	44.57	49.74	46.09
G14	468.66	24.24	44.59	50.40	47.68	57.24
G15	491.16	23.48	41.07	46.18	51.52	48.37
G16	469.66	24.01	42.67	47.72	50.78	49.51
G17	474.83	21.13	42.84	42.57	48.24	49.18
G18	635	22.65	42.29	60.36	55.49	49.15
G19	506.33	22.82	44.29	50.90	52.18	49.40
G20	406.83	25.28	41.79	42.99	47.58	51.95
G21	600.16	21.68	43.85	56.83	49.89	59.55
G22	548.5	23.97	40.99	51.82	53.54	48.92
G23	399.16	48.79	40.47	76.32	58.50	55.64
G24	287.33	39.41	50.4	56.21	52.45	49.34
G25	264	40.08	45.82	48.97	52.87	43.11
G26	337.16	41.88	37.96	51.28	49.01	50.88
G27	546.66	23.66	38.13	49.33	47.56	66.27
G28	321.33	49.5	41.93	66.63	58.74	46.80
G29	412	47.4	36.78	71.64	59.59	53.84
G30	313.33	47.36	31.80	47.35	53.66	49.98
G31	369.33	52.2	34.38	66.65	55.99	54.87
G32	400	53	29.32	62.31	62.10	39.40
G33	433.33	50.46	28.74	62.82	57.22	48.21
Min	264	21.13	28.74	42.57	46.18	39.40
Max	635	53	52.16	76.32	62.10	69.27
Moy	467.89	28.88	42.38	53.56	51.44	52.62
Ppds5 %	117.05	3.04	2.72	15.09	4.90	16.52

Légende: NEM: nombre d'épis/m², NGE: nombre de grains par épi, PMG: poids de 1000 grains, RDT: rendement en grains, RDT paille: rendement en paille.

Une variabilité appréciable existe aussi bien au sein de la population des orges à deux rangs comme au sein de celle des orges à six rangs pour le rendement, les composantes du

rendement et l'ensemble des caractères agronomiques mesurées (Figures 7), sauf la durée de la phase végétative (DVG) et la longueur du col de l'épi (LP).

Pour la hauteur de la plante, 42,7% des génotypes à 2 rangs et 6,06% des orges à 6 rangs présentent une valeur supérieure à la moyenne générale de l'essai (86,61 cm). Pour la surface foliaire, 24,2% des orges à 2 rangs et 27,2% des orges à 6 rangs ont une moyenne égale ou supérieure à 4,85 cm². Pour le poids spécifique, 18,1% des orges à 2 rangs et 21,2% des orges à 6 rangs ont une moyenne égale ou supérieure à 6,27 g/cm². Pour la longueur de l'épi, 63,6% des orges à 6 rangs sont supérieures à 6,94cm (moyenne de l'essai), par contre, tous les orges à 2 rangs ont un moyen inférieur à la moyenne générale de l'essai. Alors que la longueur des barbes 15,1% des orges à 2 rangs et 27,2% des orges à 6 rangs ont une moyenne égale ou supérieure à 10,62 cm.

L'analyse en composantes principales a indiqué que le nombre d'épis, le poids de 1000 grains, et le nombre de grains par épi, ainsi que l'indice de récolte sont fortement influencés par le type de rangée (Bensemene *et al.*, 2011). Des études précédentes comparant des orges avec différents types d'épis sous stress hydrique pendant le stade remplissage des grains ont montré que le rendement en grains et ses composants différaient avec le type d'épis (Samarahet *et al.*, 2009; Haddadin, 2015).

Des pourcentages appréciables existent aussi pour les autres caractères comme le nombre d'épi/ m², le nombre de grains par épi et le poids de mille grains (Figure 7). Ces résultats suggèrent que la sélection pour l'adaptation, à l'intérieur des deux populations et sur la base des différents caractères, pourrait être efficace. Globalement, les orges à 2 rangs se différencient des orges à 6 rangs par un nombre d'épis et un poids de 1000 grains relativement plus élevés, dont les valeurs moyennes respectivement sont: de 506,25 épis/m² vs 344,61 épis/m² et 43,29 g vs 39,45 g.

Pour le nombre de grains par épi, le rendement en grains et l'indice de récolte, les orges à 6 rangs présentent des valeurs moyennes plus élevées que celles des orges à 2 rangs (45,7 grains/épi vs 23,6 grains/épi, 60,21 q/ha vs 51,49 q/ha et 55,21 % vs 50,27 %).

Ces résultats suggèrent que les orges à 6 rangs sont, en général, plus productives sous les conditions des hautes plaines orientales comparativement aux orges à 2 rangs (environ plus de 16,28 %), Ce résultat est relativement similaire à celui de 18 % obtenu par (Masoud *et al.*, 2019). Dans ce contexte, plusieurs chercheurs ; Le Gouis *et al.*, (1999) ; Alqudah et Schnurbusch, 2014; Alqudah *et al.*, (2016), rapportent des différences significatives entre les orges à 2 et les orges à 6

rangs pour la capacité de tallage épis qui est à l'avantage du type à 2 rangs et pour le nombre de grains par épi qui est à l'avantage du type à 6 rangs.

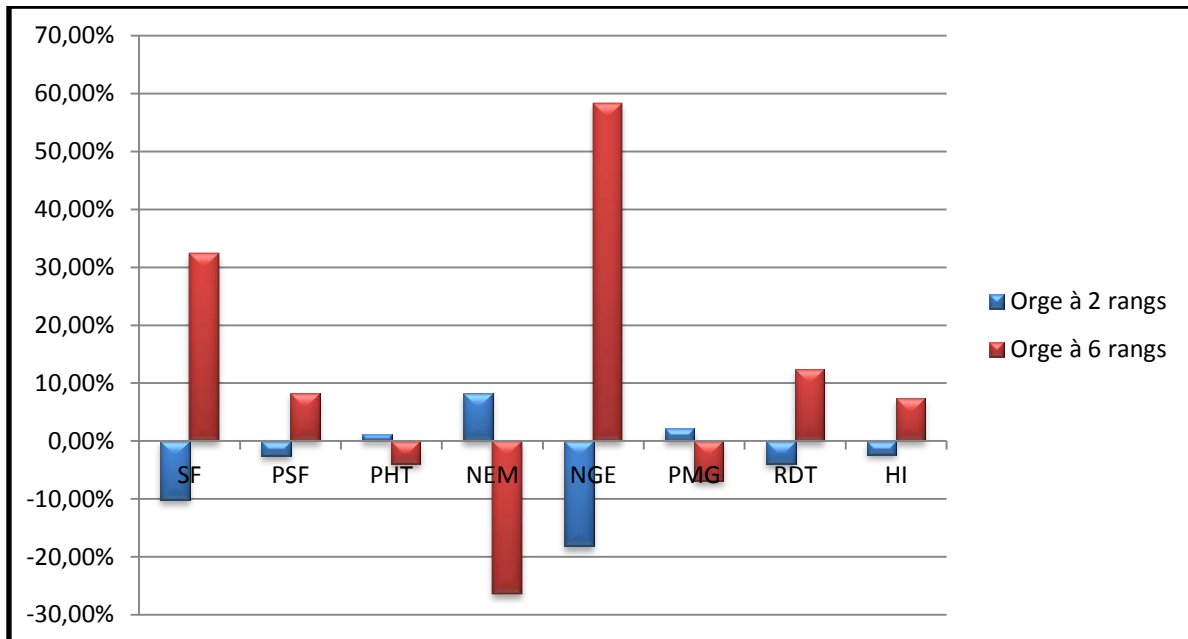


Figure 7: Déviation par apport à la moyenne générale du rendement et certains paramètres mesurés en fonction de types d'orge.

L'avantage des orges à 6 rangs pour le nombre de grains par épi compense souvent largement le faible nombre de talles-épis sous conditions limitantes comme c'est le cas des hautes plaines orientales. Cependant selon Kolodinska-Brantestam *et al.*, (2008) ; Djekic *et al.*, (2017), les orges à 2 rangs produisent en moyenne un grain plus lourd et plus volumineux que les orges à 6 rangs c'est ce qui explique le meilleur poids de 1000 grains chez le type à 2 rangs.

Ces résultats suggèrent que dans le cas où la sélection mono caractère est justifiée, la population des orges à 2 rangs est plus intéressante pour améliorer le poids de 1000 grains et le nombre d'épis par unité de surface, alors que la population des orges à 6 rangs est plus intéressante pour l'amélioration des autres variables. L'amélioration d'un caractère donné n'est intéressante que dans la mesure où elle a un effet positif sur le rendement en grains qui est le caractère d'intérêt ciblé par la sélection.

La sélection sur la base d'un caractère donné, induit souvent une réponse positive du caractère sélectionné et des réponses négatives, parfois non désirables, des caractères non sélectionnés. De ce fait, l'étude des liaisons entre caractères est très

informative pour mesurer l'efficacité de la sélection. Parmi les techniques d'étude des relations entre caractères figurent l'analyse des corrélations, l'analyse en chemin, la régression complète, la régression progressive, l'analyse en composantes principales et l'indice de sélection.

2.3 Caractères physiologiques

L'analyse de la variance combinée (génotype x année) des caractères physiologiques, montre un effet année très hautement significatif, un effet génotype significatif pour la température du couvert végétal (TCV) et très hautement significatif pour le reste des variables, une interaction (génotypes x années) hautement significative pour l'intégrité cellulaire (IC), très hautement significative pour la teneur en chlorophylle (CHL) et non significative pour la teneur relative en eau (TRE) et la température du couvert végétal (TCV) (Tableau 12). Cette analyse indique que les années affectent significativement l'expression des variables mesurés chez l'ensemble de génotypes évalués.

De fait, l'effet moyen année indique que la deuxième année (2018/ 2019) permet une meilleure expression des variables suivantes: la teneur relative en eau, la teneur en chlorophylle et la température du couvert végétal, alors que la meilleure expression de l'intégrité cellulaire a été observée durant la première année (2017/ 2018).

Tableau 12: Carrés moyens de l'analyse de la variance combinée des caractères physiologiques

Source de variation	ddl	TRE	IC	CHL	TCV
Génotypes	32	43.03***	228.98***	124.51***	2.07*
Années	1	827.60***	1267.26***	656.53***	141.34***
G x A	32	21.69 ns	181.17**	59.85***	1.44 ns
Erreur	132	18.62	77.65	24.50	1.16
CV	-	5.08	13.59	12.54	4.82
ET	-	4.31	8.81	4.94	1.08

Légende: TRE: teneur relative en eau (%), CHL: contenu en chlorophylle (unités SPAD), IC: intégrité cellulaire (%), TCV: température du couvert végétal (°C), ns, *, **, *** : effet non significatif et significatif au seuil de 5 et 1% respectivement.

2.3.1 La teneur relative en eau (TRE)

La teneur relative en eau des feuilles est le principal indicateur de l'état hydrique des plantes en condition de déficit hydrique. Les résultats obtenus indiquent que le génotype G29, enregistre la teneur relative en eau la plus importante avec 90,62 %, alors que la plus faible valeur pour cette caractéristique est mesurée chez la variété locale Saida 183 (G24) avec 75,37 %.

Selon Arjenaki *et al.*, (2012), la teneur relative en eau (TRE) est un critère utile pour prévoir l'état de l'eau tissulaire, exprimant ainsi le potentiel hydrique de la plante. La teneur relative en eau, c'est un paramètre physiologique indicateur de la résistance 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 résistantes à la sécheresse (Berka et Aïd, 2009). Scofield *et al.*, (1988), notent que la diminution de la TRE est plus rapide chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes.

Les génotypes qui maintiennent leur TRE élevée lors du stress hydrique seront probablement les plus tolérants et seront les plus productifs (Sassi *e tal.*, 2012). En termes de sélection, la recherche d'un génotype avec une teneur relative en eau élevée est désirable. Le génotype G29 est tout indiqué pour la sélection sur la base de la teneur relative en eau (Tableau 13).

2.3.2 L'intégrité cellulaire (IC)

L'analyse de la variance indique un effet génotype très hautement significatif pour ce caractère (Tableau 12), la moyenne du dommage cellulaire la plus élevée est notée chez G12 (Larende), avec un taux de 77,35 % et la moyenne la plus faible est exprimée par le génotype G33, avec 44,01 %.

Le maintien de l'intégrité des membranes cellulaires en cas de stress hydrique est un des caractères universellement reconnus dans l'explication de la tolérance des plantes à la sécheresse. Selon Cornaire *et al.*, (1995) et Lefebvre *et al.*, (2009), parmi les mécanismes qui peuvent intervenir dans le maintien de la turgescence cellulaire figure la résistance protoplasmique qui dépende de la capacité des cellules à résister à un dommage mécanique et à la dénaturation des protéines au niveau membranaire ou cytoplasmique. Reynolds *et al.*, (1994), trouvent une forte corrélation entre le pourcentage de dégâts cellulaires causés par le choc thermique et la réduction de la productivité des génotypes testés. Ceci suggère que la sélection

sur la base d'un faible dommage cellulaire améliore significativement le rendement grain. De ce fait, la sélection pour cette caractéristique privilégie le génotype G33 (Tableau 13).

2.3.3 La température du couvert végétal (TCV)

La température du couvert végétal figure au rang des paramètres biophysiques les plus utilisés pour la connaissance du statut hydrique de la plante (Kotchi, 2004). La température du couvert (Tc. Canopy temperature) a été définie comme la température radiométrique mesurée dans l'infrarouge thermique (IRT) et pour laquelle la végétation est dominante dans le champ de vue du capteur, l'effet du sol étant minimale (Moran, 2000).

Les résultats de l'analyse de la variance montrent une différence significative. Cette différence apparaît clairement entre les génotypes étudiés suggérant la présence d'une variabilité assez importante pour cette caractéristique. La température de la canopée varie de 21 à 23,5°C par rapport à une moyenne de 22,11 °C. La température la plus élevée est mesurée respectivement chez G32 et G33 à raison de 23,5°C et 23,16°C, par contre, la plus basse température est mesurée chez les génotypes G25 (Tichedrette), G10 et G31 à raison de 21 °C, 21,02 °C et 21,16 °C respectivement.

La mesure de la température de la canopée a été largement utilisée ces dernières années pour étudier la réponse génotypique à la sécheresse. D'après Berliner *et al.* (1984) et Moran *et al.* (2000), la température du couvert (CT) est l'un des premiers indices spectraux IRT utilisé pour l'évaluation de l'état hydrique de la plante. Reynolds *et al.*, (1994), suggèrent que la température du couvert végétal peut être un excellent outil de sélection pour la résistance et à l'adaptation au stress thermique. Sur cette base le génotype G10 est indiqué pour la sélection (Tableau 13).

2.3.4 Le contenu en chlorophylle (CHL)

La teneur en chlorophylle est un facteur important dans la détermination du taux de la photosynthèse et de la production de la matière sèche (Ghosh *et al.*, 2004).

Les résultats obtenus pour la teneur en chlorophylle totale indiquent qu'il existe des différences très hautement significatives entre les génotypes testés (Tableau 12). L'analyse des moyennes montrent que les valeurs moyennes du contenu en chlorophylle varient de 31,5 à 51,16 unités SPAD. Les valeurs minimales mesurées chez les G23 (Fouarra) et G1 (Tarm 92)

avec 31,5 et 32.31 unités SPAD respectivement par contre, la valeur maximale est enregistrée chez le génotype G30 avec 51,16 unités SPAD.

Rong-Hua *et al.*, (2006), ont conclu que la teneur en chlorophylle (SPAD) pourrait être considérée comme un indicateur fiable dans la sélection des génotypes d'orge pour la tolérance à la sécheresse. Richards *et al.*, (2009), ont montré que les génotypes qui maintiennent une teneur en chlorophylle élevée sont plus tolérants que ceux qui réduisent fortement leur teneur en chlorophylle sous condition de sécheresse.

Certaines recherches ont également montré que la production de composés phénoliques était stimulé sous conditions de déficit hydrique, réduisant ainsi la synthèse de la chlorophylle de types «a» et «b» et abaissant la teneur en chlorophylle dans la feuille ; ce qui engendrerait une réduction de l'activité photosynthétique et par conséquent le rendement en grains (Arjenaki *et al.*, 2012). Pour cette raison la sélection basée sur cette caractéristique privilégie les génotypes G30, G31 et G5 comme le montre le Tableau 13.



Tableau13: Valeurs moyennes des caractères physiologiques d'orge étudiés au cours des deux campagnes.

Génotypes	TRE	IC	CHL	TCV
G1	82.13	77.09	32.31	21.88
G2	87.45	72.45	43.61	21.88
G3	86.92	67.49	34.83	22.37
G4	85.47	68.59	37.71	22.95
G5	84.82	65.14	50.22	22.22
G6	84.62	62.05	36.1	21.83
G7	85.82	61.79	42.22	21.79
G8	85.12	65.72	38.54	22.93
G9	86.60	63.40	42.31	22.34
G10	87.78	71.43	35.98	21.02
G11	85.15	69.29	40.46	21.29
G12	86.08	77.35	37.23	21.65
G13	82.45	61.17	44.03	22.51
G14	85.11	74.92	36.55	21.17
G15	85.94	67.92	36.46	22.88
G16	82.49	63.64	34	22.31
G17	87.13	67.84	32.85	22.70
G18	81.68	66.57	42.75	22.30
G19	82.40	56.46	36.01	22.13
G20	84.69	64.27	42.34	21.62
G21	83.63	57.94	39.78	22.38
G22	79.55	71.59	37.85	21.95
G23	80.06	57.46	31.50	22.77
G24	75.37	54.09	36.71	21.30
G25	84.93	63.21	32.84	21
G26	87.50	64.55	42.43	22.19
G27	89.24	63.83	47.2	22.5
G28	89.14	49.48	49.36	22
G29	90.62	61.99	44.86	22.16
G30	88.45	59.92	51.16	21.83
G31	89.61	52.23	50.46	21.16
G32	86.41	64.44	47.63	23.5
G33	89.76	44.01	40.93	23.16
Min	75.37	44.01	31.50	21
Max	90.62	77.35	51.16	23.5
Moy	84.83	64.79	39.44	22.11
Ppds 5 %	6.97	14.25	8.00	1.74

Légende: TRE: teneur relative en eau (%), CHL: contenu en chlorophylle (unités SPAD), IC: intégrité cellulaire (%), TCV: température du couvert végétal (°C).

2.4 Remplissage du grain

Le remplissage du grain, processus final associé à la performance de rendement, est un déterminant crucial du rendement en grain dans les cultures céréalières. La sensibilité de l'orge au déficit hydrique est particulièrement importante durant la période du remplissage des grains, parce que cette phase de maturation est très sensible au statut hydrique de la plante. Al-Ajlouni *et al.* (2016), ont signalé une réduction significative de la croissance de l'orge et la durée de remplissage des grains dans les génotypes sensibles à la sécheresse.

L'analyse de la variance combinée (génotypes x années) de l'ensemble des paramètres de remplissage du grain mesurés, montre un effet année très hautement significatif, un effet génotype non significatif pour AFI, significatif pour MFR et très hautement significatif pour le reste des paramètres (MGW, GFR, GFD), une interaction (génotypes x années) très hautement significative pour le poids maximum des grains (MGW), le taux de remplissage des grains (GFR) et la durée de remplissage des grains (GFD), tableau 14.

Tableau 14: Carrés moyens de l'analyse de la variance combinée des paramètres de remplissage du grain.

Source de variation	ddl	MGW	GFR	MFR	AFI	GFD
Génotype	32	46.72***	1.30 e ⁻⁴ ***	0.63*	0.49 ns	3775.74***
Année	1	5417.31***	0.0026***	6.04***	16.62***	361425.45***
G x A	32	11.44***	3.3516e ⁻⁵ ***	0.36 ns	0.66 ns	1668.92**
Erreur	132	3.86	1.072e ⁻⁵	0.35	0.72	830.64
CV	-	4.56	4.71	20.66	22.03	6.93
Ecart type	-	1.96	0.0032	0.59	0.85	28.82

Légende : MGW: poids maximum des grains, GFR: taux de remplissage des grains, MFR: vitesse maximale de remplissage des grains, AFI: intensité absolue de la vitesse de remplissage des grains, GFD: durée de remplissage des grains, ns, *, **, *** : effet non significatif et significatif au seuil de 5 et 1% respectivement.

L'effet année indique que la première année (2017/2018) permet une meilleure expression des variables suivantes: le poids maximum des grains, le taux de remplissage des grains et l'intensité absolue de la vitesse de remplissage des grains alors, que la meilleure expression de la durée de remplissage des grains et la vitesse maximale de remplissage des grains a été observée durant la deuxième année (2018/2019).

Tableau 15: Valeurs moyennes des paramètres de remplissage des grains calculés des génotypes étudiés au cours des deux campagnes.

Génotypes	MGW	GFR	MFR	AFI	GFD
G1	45.53	0.0730	2.79	1.652	493.85
G2	42.05	0.0672	3.04	2.233	447.78
G3	46.28	0.0740	3.50	1.183	420.05
G4	44.16	0.0708	2.96	1.780	415.71
G5	51.07	0.0819	3.39	1.807	457.75
G6	47.37	0.0760	2.66	1.440	452.76
G7	44.41	0.0711	2.55	1.561	427.63
G8	43.23	0.0690	2.68	2.049	423.18
G9	40.79	0.0652	3.06	1.787	440.2
G10	43.56	0.0696	2.63	1.554	445.18
G11	46.51	0.0743	2.68	1.982	466.08
G12	46.23	0.0742	2.86	1.347	486.25
G13	43.10	0.0687	2.75	1.605	440.2
G14	43.46	0.0694	3.56	1.398	466.08
G15	43.84	0.0700	2.67	1.577	432.61
G16	44.20	0.0707	3.11	1.904	445.18
G17	44.67	0.0711	2.79	1.699	423.63
G18	45.29	0.0725	2.93	1.137	440.2
G19	45.45	0.0727	3.65	1.920	435.75
G20	42.88	0.0684	2.63	1.807	452.76
G21	41.82	0.0668	2.93	2.210	432.16
G22	41.70	0.0663	2.62	1.879	430.76
G23	38.65	0.0613	2.15	1.401	486.25
G24	46.16	0.0737	2.76	1.542	486.25
G25	44.77	0.0717	2.59	1.903	488.8
G26	39.01	0.0624	2.74	1.646	440.2
G27	38.60	0.0671	3.07	1.743	529.7
G28	41.30	0.0718	3.07	1.359	425.8
G29	38.14	0.0663	2.65	0.937	449.1
G30	32.24	0.0560	3.41	1.904	458
G31	35.35	0.0614	3.29	0.922	458
G32	31.05	0.0539	2.43	0.986	458
G33	30.10	0.0523	2.70	0.776	449.1
Min	30.10	0.0523	2.15	0.776	415.71
Max	51.07	0.0819	3.65	2.233	529.7
Moy	43.04	0.0694	2.88	1.63	450.7
Ppds5 %	3.17	0.0052	0.96	1.73	46.6

Légende: MGW: poids maximum des grains, GFR: taux de remplissage des grains, MFR: vitesse maximale de remplissage des grains, AFI: intensité absolue de la vitesse de remplissage des grains, GFD: durée de remplissage des grains.

La valeur moyenne maximale pour le poids maximum des grains (MGW) et le taux de remplissage des grains (GFR) est enregistrée chez le génotype G5 avec 51,07 mg et 0,0819 mg/°C respectivement. Par contre, la valeur minimale est notée chez le génotype 33 avec 30,1

mg et 0,0523 mg/°C respectivement. La vitesse maximale de remplissage des grains (MFR) la plus élevée est enregistrée chez G19, G14 et G3 avec 3,65, 3,56 et 3,50 mg/ j respectivement, et la plus faible valeur est enregistrée chez G23 (Fouarra) avec 2,15 mg/.

La durée de remplissage des grains (GFD) la plus longue est observée chez Rahma (G27) 529,7 °C et la plus courte chez G4 (415,7 °C).

Pour l'intensité absolue de lavitesse de remplissage des grains (AFI), il n'y a pas une différence significative entre les génotypes testés (Tableau 14). Alors, l'AFI la plus élevée est notée chez G2 avec 2,23 mg/j et la plus faible valeur est observée chez G33 avec 0,77 mg/j.

Basé sur l'architecture de l'épi (type de rangs), les résultats sont conformes à ceux obtenus par Ho et Jui, (1989) ; Vesna *et al.*, (2018) , selon lesquels le poids maximum des grains et le taux de remplissage des grains étaient plus élevés dans les génotypes d'orge à deux rangs que dans les génotypes d'orge à six rangs. Il est suggéré que ces caractéristiques figurent parmi les principales caractéristiques permettant d'optimiser le rendement dans des conditions de sécheresse tardive.

L'orge à deux ou six rangs fait référence à la façon dont les grains d'orge se développent sur le rachis de l'épi. Comme les grains du type à deux rangs poussent sur les côtés opposés du rachis, ils ont beaucoup de place pour s'agrandir et ont tendance à être gros et de même taille. Dans l'orge à six rangs, l'espace entre deux rangs opposés est rempli par quatre autres rangs de grains plus petits, ce qui fait que les grains sont non seulement plus petits mais aussi inégaux (Gebhardt *et al.*, 1993). Outre la différence de nombre de grains par épi, le poids de mille grains et le poids spécifique sont également fortement influencés par le type d'orge. En effet, le poids maximum des grains et le poids de mille grains étaient plus élevés dans les génotypes à deux rangs que dans ceux à six rangs. Ce qui est confirmé à d'autres résultats (Kolodynska-Brantestamet *et al.*, 2008; Bensemane *et al.*, 2011 ; Dejan *et al.* , 2018).

Des résultats légèrement différents ont été rapportés par Ho et Jui (1989), qui ont comparé la durée du remplissage des grains dans des variétés d'orge à deux et six rangs. Ils ont constaté que l'orge à deux rangs avait une durée de remplissage des grains plus courte que l'orge à six rangs. Cependant, Le Gouis (1993) a obtenu une durée de remplissage des grains très similaire pour les deux types d'orge, ce qui est conforme aux résultats de notre étude.

2.5 Sénescence foliaire (S) et Réflectance de feuille drapeau

L'analyse de la variance combinée (génotypes x années) de l'ensemble des paramètres de la sénescence et la réflectance, montre un effet année, génotype et une interaction (génotype x années) très hautement significatif pour tous les paramètres mesurés (Tableau 16). Cette analyse indique que l'expression des variables mesurés chez l'ensemble de génotypes évalués est fortement affectée par l'effet année.

Tableau 16: Carrés moyens de l'analyse de la variance combinée des paramètres de la sénescence et la réflectance.

Source de variation	ddl	Sénescence			Réflectance %		
		S %	Sv	Σ50s	Rouge	Vert	Bleu
Génotype	32	236.84***	0.06***	3578.34***	27.94***	24.40***	8.72***
Année	1	883.06***	0.33***	2649713.2***	9664.58***	3885.47***	1529.90***
G x A	32	48.63***	0.02***	1061.68***	16.69***	12.78***	2.31***
Erreur	132	0.22	1.86 e ⁻⁴	57.35	0.56	0.44	0.31
CV	-	0.97	2.87	1.76	2.76	1.61	2.10
ET	-	0.47	0.01	7.57	0.74	0.66	0.56

Légende: S %: sénescence moyenne, Sv: vitesse de sénescence, Σ50s: somme de la température correspondant à la date de la mi-sénescence, Rouge %: réflectance en rouge, Vert %: réflectance en vert, Bleu %: réflectance en bleu, ns, *, **, *** : effet non significatif et significatif au seuil de 5 et 1% respectivement.

L'effet moyen année indique que la première campagne 2017/2018 permet une meilleure expression des variables suivantes: la vitesse de sénescence, la somme de la température correspondant à une valeur de 50 % de S et la Réflectance en rouge, vert et bleu, alors que la meilleure expression de la sénescence moyenne a été observée durant la deuxième campagne (2018/2019).

2.5.1 Sénescence foliaire (S)

Les résultats de l'analyse de la variance ont montré un effet très hautement significatif (Tableau 16) entre les génotypes testés pour tous les paramètres de sénescence mesurés, à savoir : S%, Vs et $\Sigma 50s$.

Alors, la valeur moyenne totale de l'essai pour la sénescence moyenne (S%) est de 59,84 %, avec des valeurs extrêmes variaient de 41,01 % chez Larende (G12) à 74,11 % chez G30. De même, la valeur moyenne de l'essai de la vitesse de sénescence (Vs) est de 0.47 % /°C en variant de 0,28 %/°C chez G12 (Larende) à 0.77 %/°C chez le génotype G29. Quant à la somme de la température correspondant à la date de la mi-sénescence ($\Sigma 50s$) varie de 263,12 °C pour le génotype G30 à 508,66 °C pour le génotype Larende (G12), avec une valeur moyenne de l'essai qui s'élève à 430.23 °C.

La sénescence peut être affectée de différentes façons ; moment de l'apparition, intensité et vitesse de progression. Dans les cas extrêmes les conditions de stress, la sénescence précoce provoquée par la maturation due à la dégradation rapide des tissus végétaux et des macromolécules par exemple, la chlorophylle, entraîne des pénalités importantes sur le rendement (Chapman *et al.*, 2002; Kyratzis *et al.*, 2017). Borrell *et al.*, (2014), ont démontré les effets négatifs d'un taux de sénescence élevé sur le rendement en grains dans des conditions de stress thermique et hydrique. Donc, la sélection pour une faible sénescence pourrait améliorer la performance du cultivar dans des conditions de stress (Lopes *et al.*, 2012; Borrell *et al.*, 2014). Les génotypes préférables sont ceux qui ont de faibles valeurs pour la sénescence moyenne et la vitesse de sénescence; basé sur cette raison et à travers le classement des génotypes basé sur l'indice de sénescence, les génotypes sélectionnés sont Tarm92 et Larende (Tableau 17).

Tableau 17 : Classement des géotypes basé sur les indices de la réflectance et de la sénescence

Géotypes	Réflectance				Sénescence		
	Rouge	Vert	Bleu	Score	S %	Sv	Score
G1	33	33	33	29	2	1	1
G2	31	31	30	27	10	17	10
G3	22	23	25	23	18	11	12
G4	29	29	31	26	23	24	19
G5	10	7	20	12	16	22	14
G6	17	21	27	22	21	20	16
G7	24	20	23	23	20	18	14
G8	27	25	29	25	14	25	15
G9	15	11	14	13	7	5	4
G10	21	18	21	18	12	16	11
G11	12	9	12	10	4	9	5
G12	20	28	22	23	1	2	1
G13	28	24	28	24	27	21	20
G14	23	19	19	19	11	10	8
G15	11	5	5	6	17	12	12
G16	18	15	13	16	26	19	18
G17	13	8	15	11	22	4	9
G18	14	14	24	17	19	23	17
G19	8	17	17	14	25	28	22
G20	16	16	11	15	13	13	9
G21	25	22	16	20	3	7	2
G22	9	10	10	9	8	3	3
G23	32	32	32	28	5	14	7
G24	30	30	4	21	9	8	6
G25	26	27	18	24	6	6	4
G26	19	26	26	24	28	29	24
G27	1	1	1	1	15	15	13
G28	2	2	3	2	29	26	23
G29	3	3	7	4	32	33	26
G30	6	13	9	8	33	32	26
G31	4	6	2	3	24	27	21
G32	5	4	8	5	30	31	25
G33	7	12	6	7	31	30	25

Légende: S %: sénescence moyenne, Sv: vitesse de sénescence, $\Sigma 50s$: somme de la température correspondant à la date de la mi-sénescence, Rouge %: réflectance en rouge, Vert %: réflectance en vert, Bleu %: réflectance en bleu.

2.5.2 Réflectance de feuille drapeau

Dans cette étude, la réflectance des feuilles de drapeau a été mesurée en rouge (654 nm), bleu (450 nm) et vert (500 nm). Comme indiqué dans le tableau 16, l'analyse de la variance a révélé que la réflectance à différentes longueurs d'onde (rouge, bleu et vert) était très hautement significative entre les génotypes testés.

La réflectance en rouge variait de 17,41 % pour Rahma (G27) à 34,61 % pour Tarm 92 (G1), avec une moyenne de l'essai de 27,14 %. De plus, la moyenne de la réflectance en bleu varie de 21,54 % chez Rahma (G27) à 30,75 % chez Tarm 92 (G1), avec une moyenne totale de 26,75 %. Alors que la valeur de la réflectance en vert la plus élevée est enregistré chez Tarm 92 (G1) avec 47,44 et la plus faible chez Rahma (G27) avec 32,73 %.

Plusieurs chercheurs (Marutani *et al.*, 2014; ÇulhaErdal et Çakirlar, 2014), ont considéré la réflectance comme un critère de sélection précis et important pour la résistance des cultures aux stress hydrique et thermique. Les résultats de plusieurs études ont prouvé qu'un rendement élevé en grains est corrélé avec de faibles valeurs de réflectance (Ferrio *et al.*, 2005). Cette corrélation montre la possibilité d'utiliser la réflectance dans la sélection de variétés tolérantes à la sécheresse dans les régions semi-arides. Le classement des génotypes basé sur l'indice de la réflectance a montré que le génotype préféré est G27 (Rahma), ce dernier à la plus faible valeur de la réflectance en rouge, vert et bleu (Tableau 17).

Tableau 18 : Valeurs moyennes des paramètres de la sénescence et de la réflectance calculés des géotypes étudiés au cours des deux campagnes.

Géotypes	Senescence			Reflectance %		
	S %	Sv	Σ50s	Rouge	Vert	Bleu
G1	44.52	0.28	504.61	34.61	47.44	30.75
G2	57.11	0.49	455.71	30.61	44.12	28.24
G3	61.06	0.43	444.27	28.20	42.03	27.52
G4	63.87	0.53	427.75	29.53	43.44	28.48
G5	60.13	0.52	447.14	25.05	38.88	26.97
G6	62.20	0.50	439.44	27.06	41.50	27.71
G7	61.91	0.49	432.53	28.49	41.48	27.19
G8	59.87	0.53	440.07	29.09	42.44	28.14
G9	55.22	0.37	469.44	26.44	39.48	26.36
G10	58.58	0.47	442.29	28.01	40.81	27.07
G11	53.69	0.42	472.65	25.76	39.24	26.07
G12	41.01	0.28	508.66	27.92	42.83	27.17
G13	65.88	0.50	425.69	29.36	42.25	27.75
G14	57.74	0.42	456.2	28.23	41.07	26.80
G15	60.49	0.43	444.48	25.29	38.28	25.14
G16	65.79	0.49	428.99	27.13	40.30	26.08
G17	62.75	0.36	431.37	26	39.11	26.45
G18	61.29	0.52	430.51	26.26	40.22	27.40
G19	65.54	0.61	413.3	24.68	40.59	26.50
G20	59.14	0.44	449.7	26.86	40.36	25.92
G21	53.29	0.39	472.51	28.65	41.97	26.46
G22	55.64	0.35	462.98	24.87	39.44	25.90
G23	54.91	0.44	462.74	31.88	44.29	28.89
G24	55.84	0.40	451.54	30.06	43.65	25.02
G25	55.11	0.38	467.27	28.81	42.70	26.78
G26	68.39	0.65	414.72	27.21	42.51	27.54
G27	59.97	0.44	326.59	17.41	32.73	21.54
G28	71.51	0.54	275.04	19.90	35	23.24
G29	73.66	0.77	270.69	20.75	35.74	25.34
G30	74.11	0.68	263.12	23.03	40.17	25.84
G31	64.96	0.54	306.67	22.02	38.40	22.60
G32	72.02	0.67	267.99	22.44	38.02	25.81
G33	72.49	0.65	280.04	23.45	39.89	25.28
Min	41.01	0.28	263.12	17.41	32.73	21.54
Max	74.11	0.77	508.66	34.61	47.44	30.75
Moy	59.84	0.47	430.23	27.14	41.03	26.75
Ppds5 %	0.77	0.022	12.24	1.21	1.07	0.91

Légende: S %: sénescence moyenne, Sv: vitesse de sénescence, Σ50s: somme de la température correspondant à la date de la mi-sénescence, Rouge %: réflectance en rouge, Vert %: réflectance en vert, Bleu %: réflectance en bleu.

3. CORRELATIONS ENTRE CARACTERES

Une matrice de corrélation totale pour les génotypes testés a été effectuée sur la base de type de l'épi (deux rangs et six rangs) pour faire ressortir les relations qui existent entre les caractères physiologiques, morphologiques et le rendement et ses composantes.

Liller *et al.*, (2015), ont évalué la corrélation entre les changements dans l'architecture des épis et d'autres composantes du rendement telles que le poids des graines et le nombre de talles. Les résultats ont révélé une variation considérable entre les types de rangs pour le rendement, les composantes du rendement et les caractères agronomiques associés.

Chez les orges à deux rangs, la hauteur de la plante, la durée de la phase végétatives et le nombre de grains par épi, présentent de faibles liaisons avec les autres variables mesurés. Par contre, le rendement est positivement corrélé avec le nombre d'épis/ m², le poids de mille grains, et l'indice de récolte (0,614*, 0,521*, 0,467*) respectivement (Tableau 19). Ces résultats sont conformes aux résultats obtenus par d'autres auteurs, qui ont rapporté que les orges à deux rangs produisaient généralement des graines plus grosses avec un poids plus élevé (Frégeau-Reid *et al.*, 2001 ; Djekic *et al.*, 2017).

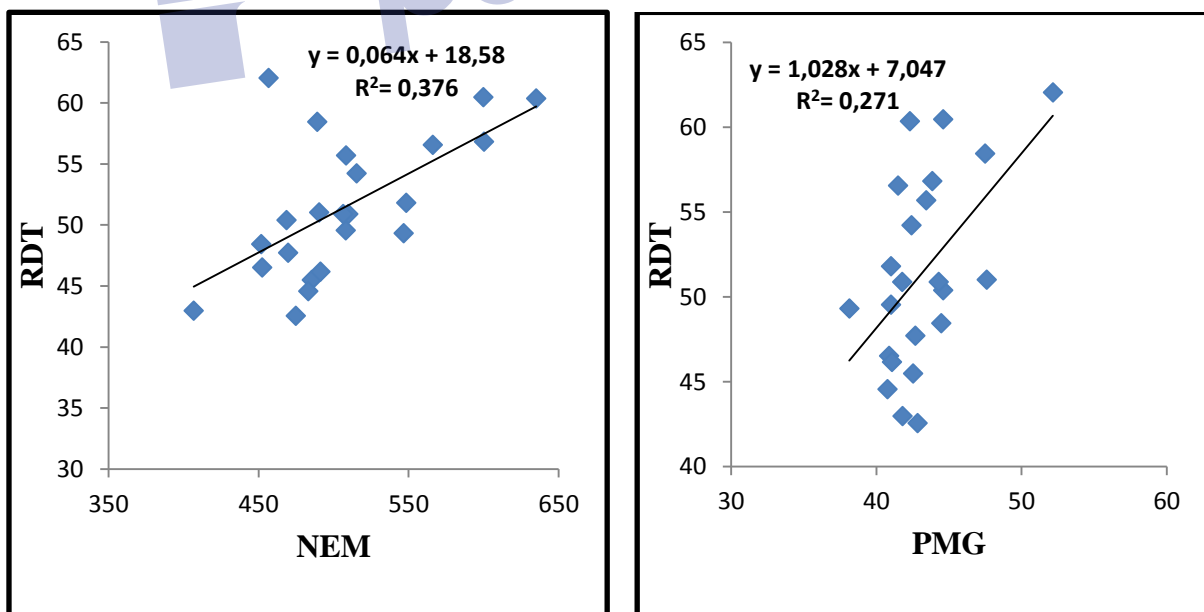


Figure 8: Liaison entre le rendement en grain, le nombre d'épis/m² et le poids de mille grains chez les orges à deux rangs.

Chez les orges à 6 rangs, la hauteur de la plante est liée négativement avec le nombre d'épis/m², le nombre de grains par épi, l'indice de récolte (-0,851**, -0,861**, -0,824** respectivement), et positivement corrélée avec le poids de mille grains (0,789**), tableau 19.

Le nombre de grains par épi et le nombre d'épis/m² sont positivement corrélés entre eux (0,732*) et négativement liés avec le poids de mille grains (-0,767** et -0,700*); ce qui a été confirmé par Ortiz *et al.*, (2001); Žáková et Benková (2004) par contre, ils sont positivement corrélés avec le rendement grain (0,586, 0,699*) et l'indice de récolte (0,781**, 0,653*) respectivement.

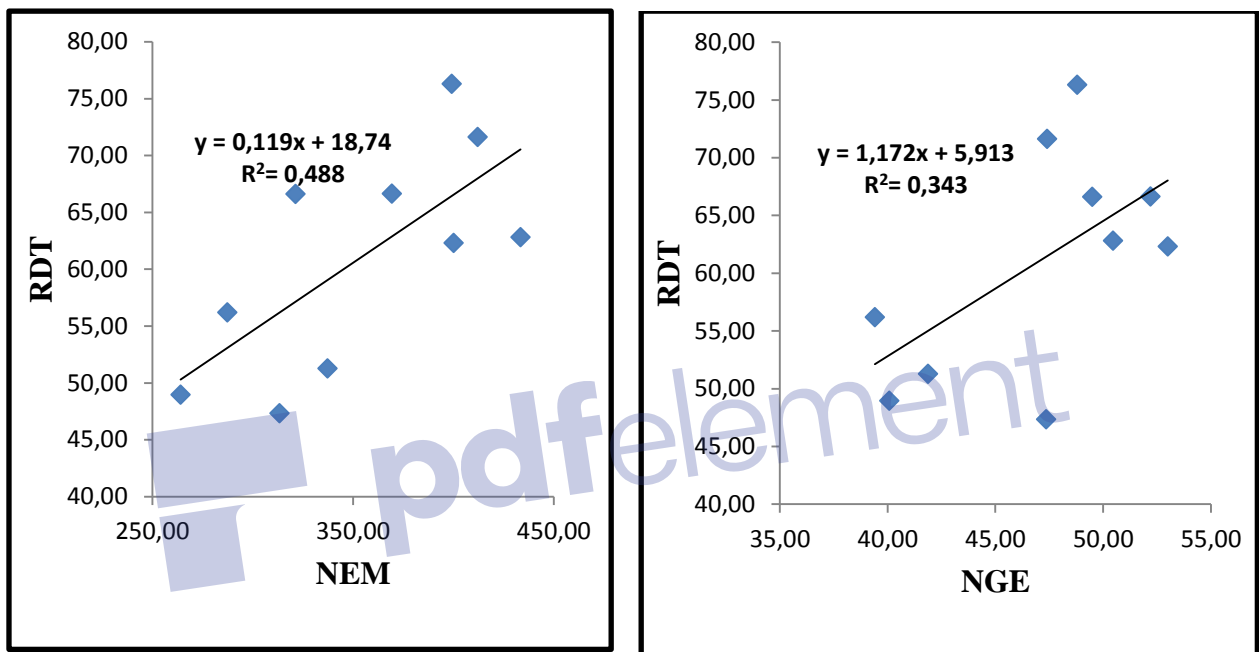


Figure 9: Liaison entre le rendement en grain, le nombre d'épis/m² et le nombre de grains par épi chez les orges à six rangs.

Chez les deux types d'orge, une corrélation significative et positive existe entre l'indice de récolte et le rendement en grains (0,4670*vs 0,732*), pour les deux et six rangs respectivement. Ce résultat est conforme aux résultats de (Paunovic *et al.*, 2005 ; Ramazani et Abdipour, 2018 ; Tohru *et al.*, 2018). Ils ont rapporté une corrélation positive entre l'indice de récolte et le rendement en grain. Ces résultats suggèrent que l'indice de récolte est un facteur important influençant le rendement en grain des génotypes d'orge en conditions pluviales dans la zone méditerranéenne.

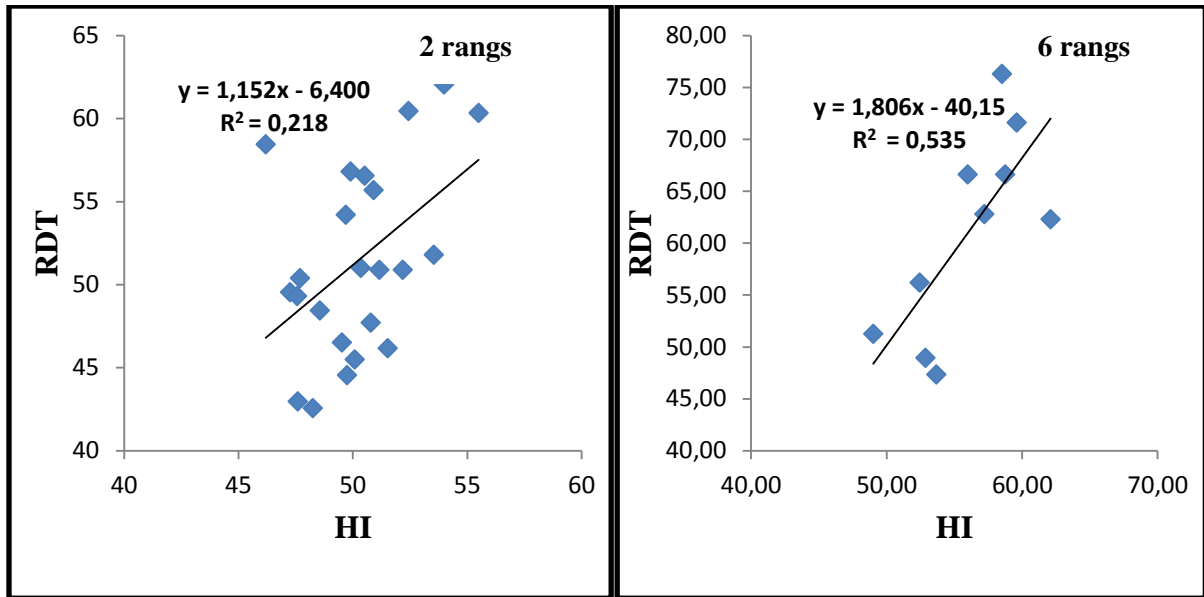


Figure 10: Liaison entre le rendement en grain, l'indice de récolte chez les deux types d'orge (2 rangs à gauche et 6 rangs à droite).

Les résultats ont révélé une variation considérable entre les types de rangs pour le rendement, les composantes du rendement et les caractères agronomiques associés, même si les moyennes globales par type de rang cachent la grande variabilité observée ; ce qui suggère que la sélection dans chaque groupe pourrait identifier de lignées potentiellement utiles.

En général, l'avantage de l'orge à six rangs par rapport à l'orge à deux rangs dans le rendement en grain devrait être la capacité de produire plus de grains par épi, par plante et par unité de surface. En effet, bien que l'orge à deux rangs dans cette étude ait des grains plus gros, l'orge à six rangs avait une production plus élevée par épi, produisant en moyenne 39 grains par épi contre 22 en orge à deux rangs.

Ainsi, avec la différence de nombre de grains par épi et le poids de mille grains est également fortement influencé par le type d'orge. En effet, le poids de mille grains était plus élevé dans les génotypes à deux rangs qu'à six rangs ; ce qui est conforme à d'autres rapports (Kolodinska-Brantestam *et al.*, 2008; Bensemene *et al.*, 2011).

Tableau 19: Corrélations phénotypiques entre les variables mesurées chez les orges à 2 et à 6 rangs (corrélations des 2 rangs au-dessus de la diagonale et celles des 6 rangs au-dessous de la diagonale).

Variables	PHT	DVG	NEM	NGE	PMG	RDT grains	HI	RDT paille
PHT	1	-0,0445	-0,3504	0,2294	0,2613	-0,0008	-0,4455	0,3049
DVG	0,5929	1	-0,1392	0,3493	0,4073	0,3156	-0,2359	0,5948
NEM	-0,8531	-0,4365	1	-0,4205	-0,1876	0,6148	0,4697	0,1681
NGE	-0,8611	-0,5210	0,7321	1	0,1138	0,1607	-0,0756	0,1975
PMG	0,7897	0,4286	-0,7002	-0,7671	1	0,5214	0,1838	0,1673
RDT grains	-0,5742	-0,3358	0,6991	0,5864	-0,1124	1	0,4670	0,4142
HI	-0,8245	-0,4409	0,6535	0,7817	-0,4165	0,7320	1	-0,5363
RDT paille	0,0650	0,0371	0,2540	0,0326	0,0725	0,4349	-0,1623	1

Légende : NEM : Nombre d'épis/m², NGE : Nombre de grains par épi, PMG : Poids de 1000 grains, RDT : Rendement en grains, RDT paille : Rendement en paille. PHT : Hauteur de la plante, DVG: Durée de la phase végétative, *, **: corrélation significative au seuil de 5% et 1% respectivement

La relation entre les paramètres de sénescence (Sa%, Sv, $\Sigma 50s$) est présentée dans le Tableau 20. Chez les deux types d'orge, une corrélation significative et positive existe entre la sénescence moyenne et la vitesse de sénescence (0,797*** vs 0,918**) comme s'est montré dans le tableau 20. Par contre, elles sont négativement liées avec la somme de la température correspondant à une valeur de 50 % de S ($\Sigma 50s$) (-0,697**, -0,555 et -0,917**, -0,782**) et avec le poids de mille grains (-0,618*, -0,375 et -0,750*, -0,764**) pour les deux types d'orge (deux rangs et six rangs) respectivement. Cette corrélation est en bon accord avec les résultats obtenus par Rawson *et al.*, (1983) ; Ellen (1987) ; Guendouze *et al.*,(2011) ; Bendada *et al.*, (2020), suggèrent que de faibles taux de sénescence pourraient conduire à une sénescence plus lente à la fin de la période de remplissage du grain et à une translocation plus régulière des assimilés vers le grain, entraînant un meilleur remplissage du grain et un poids de mille grains plus élevé, ce qui à son tour entraîne une augmentation du rendement grain (Alejar *et al.*, 1995). Contrairement à ces résultats, de nombreuses études ont démontré que la sénescence retardée retarde la remobilisation et conduit à une réduction du poids des grains (Yang *et al.*, 1997; Zhu *et al.*, 1997).

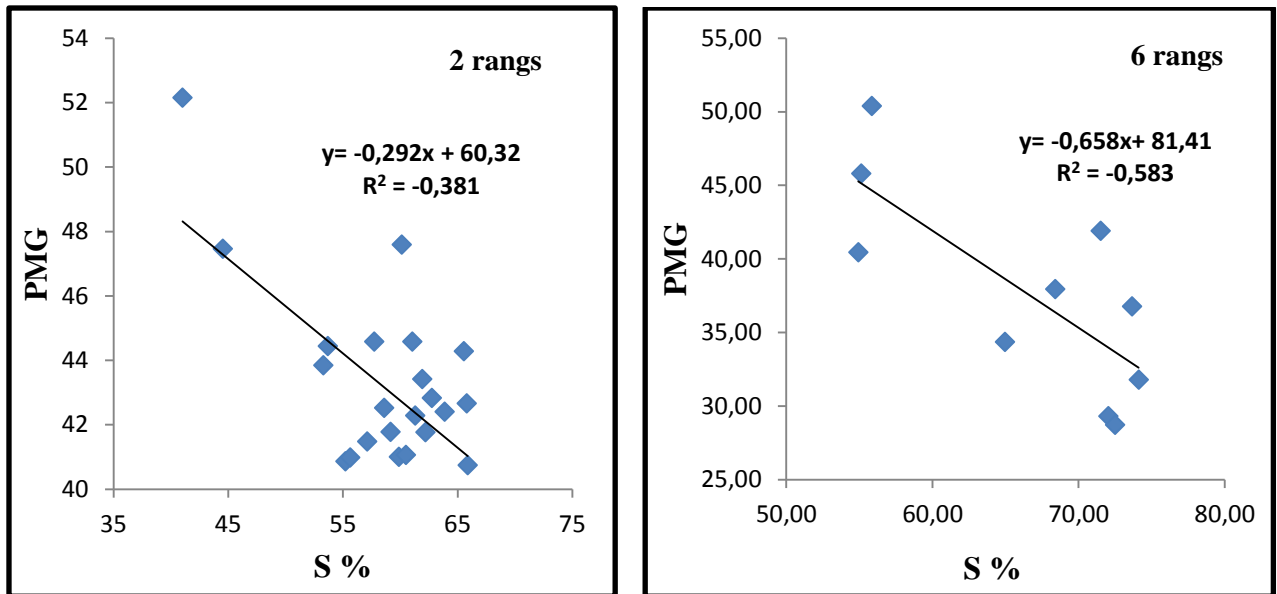


Figure 11: Liaison entre la sénescence moyenne (S%) et le poids de mille grains chez les deux types d'orge (deux rangs à droite et six rangs à gauche).

De plus, une corrélation significative positive est révélée entre la sénescence moyenne (Sa%) et la teneur en chlorophylle chez les orges à six rangs (0,811**). Ces résultats différents de ceux obtenus par Guendouz et Maamari (2011), suggèrent que l'augmentation des taux de sénescence diminue la teneur en chlorophylle (dégradation) qui affecte la photosynthèse, qui à son tour affecte négativement le rendement en grains.

La réflectance en rouge, vert et en bleu dans les deux types d'orges, a montré une corrélation significative et positive (Tableau 20). A souligner que Gitelson *et al.*, (1996); Guendouz *et al.*, (2012), ont obtenu la même corrélation.

L'étude de corrélation chez les deux types d'orge, montre qu'il existe une corrélation significative et négative entre la réflectance en rouge, vert, bleu et la teneur en chlorophylle (-0,396, -0,410, -0,345), mais elle est plus marquée chez les orges à six rangs (-0,877**, -0,761*, -0,675*) respectivement, cette corrélation est rapportée par Guendouz *et al.*, (2012), et qui suggèrent que la diminution de la capacité photosynthétique de la canopée augmente la réflectance des feuilles en rouge, vert et bleu en raison de la dégradation de la teneur en chlorophylle.

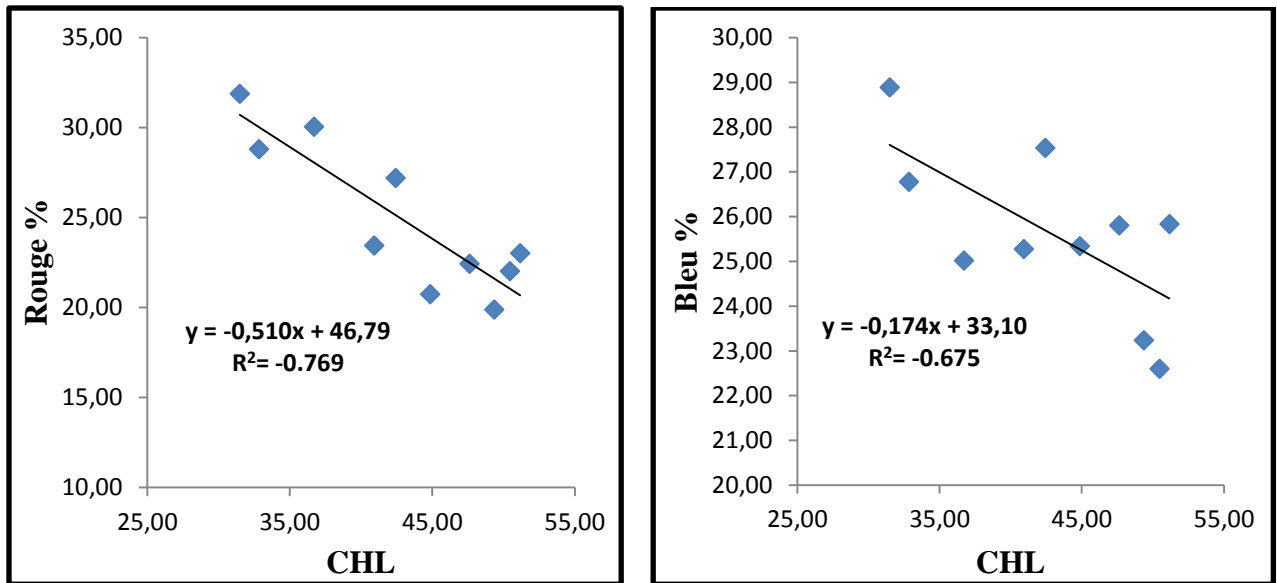


Figure 12: Liaison entre la teneur en chlorophylle et la réflectance en rouge et en bleu chez l'orge à 6 rangs.

En outre, il existe une corrélation significative chez les orges à six rangs entre la réflectance en rouge et en vert et la sénescence moyenne (Sa %) (-0,864**, -0,755* respectivement), ainsi qu'avec la vitesse de sénescence (Vs) (-0,700* et -0,603 respectivement). En outre, la somme de la température correspondant à la date de la mi-sénescence ($\Sigma 50s$) est positivement corrélée avec la réflectance en rouge, vert et en bleu chez les deux types d'orges (Tableau 20). Ces résultats différents de ceux obtenus par Guendouz et Maamari (2012), suggèrent que le développement de la sénescence foliaire et de la réflectance est synchrone. Cette relation prouve que les génotypes à sénescence lente ont de faibles valeurs de réflectance; tout cela affecte positivement la capacité photosynthétique et augmente le rendement final en grains.

Ces éminentes corrélations suggèrent que le génotype à sénescence lente a de faibles valeurs de réflectance, cette information peut être utilisée dans le criblage des génotypes dans les programmes de sélection de l'orge en conditions de sécheresse.

Tableau 20: Corrélations phénotypiques entre les caractères mesurés chez les orges à 2 et à 6 rangs (corrélations des 2 rangs au-dessus de la diagonale et celles des 6 rangs au-dessous de la diagonale).

Variables	TRE	IC	CHL	S %	Sv	Σ50s	Rouge %	Vert %	Bleu %	PMG	RDT
TRE	1	0,1144	0,1627	-0,0134	-0,0430	-0,2876	-0,2394	-0,2986	-0,3131	-0,1025	-0,1377
IC	-0,0771	1	-0,2977	-0,6349	-0,5881	0,4987	0,3508	0,3371	0,3170	0,4294	0,2894
CHL	0,6779	-0,0949	1	0,1205	0,2987	-0,3353	-0,3964	-0,4109	-0,3452	-0,2091	-0,0464
S %	0,8006	-0,0781	0,8112	1	0,7976	-0,6978	-0,2975	-0,3373	-0,2199	-0,6187	-0,4599
Sv	0,7233	0,1494	0,6516	0,9182	1	-0,5555	-0,1656	-0,1266	-0,0205	-0,3751	-0,1650
Σ50s	-0,7613	0,2452	-0,8630	-0,9174	-0,7824	1	0,6893	0,6750	0,6286	0,6500	0,3233
Rouge %	-0,8306	0,2104	-0,8772	-0,8649	-0,7000	0,9416	1	0,9654	0,9264	0,3720	0,3284
Vert %	-0,7364	0,1866	-0,7613	-0,7557	-0,6013	0,8585	0,9557	1	0,9430	0,4499	0,4606
Bleu %	-0,3874	0,5317	-0,6758	-0,3682	-0,1207	0,5866	0,7134	0,6878	1	0,4258	0,3952
PMG	-0,6879	0,0738	-0,5722	-0,7501	-0,7645	0,7463	0,5775	0,4133	0,0990	1	0,5214
RDT	0,0448	-0,3191	-0,0466	0,0030	0,0764	-0,1700	-0,1520	-0,3359	-0,1003	-0,1124	1

Légende:TRE: teneur relative en eau (%), IC: intégrité cellulaire (%), CHL: contenu en chlorophylle (unités SPAD), S %: sénescence moyenne, Sv: vitesse de sénescence, Σ50s: somme de la température correspondant à la date de la mi-sénescence (Rouge %: réflectance en rouge, Vert %: réflectance en vert, Bleu %: réflectance en bleu, PMG: poids de 1000 grains, RDT: rendement en grains, *, **: Corrélation significative au seuil de 5% et 1% respectivement.

Le poids maximum des grains est corrélé positivement avec le taux de remplissage des grains chez les deux types d'orge (0,960**), ils sont positivement corrélés avec le poids de mille grains (0,659**, 0,624**) pour les orges à 2 rangs et (0,985**, 0,930**) pour les orges à 6 rangs respectivement. Chez les orges à six rangs, le poids maximum des grains et le taux de remplissage des grains sont négativement corrélés avec la sénescence moyenne (-0,694*, -0,524) et la vitesse de sénescence (-0,700*, -0,587) respectivement par contre, sont positivement liés avec (Σ50s) la somme de la température correspondant à la date de la mi-sénescence (0,717*, 0,500 respectivement). L'intensité absolue de la vitesse de remplissage des grains est corrélée négativement avec le rendement en grains (-0,695), tableau 21.

La durée de remplissage des grains est corrélée négativement avec la sénescence moyenne (Sa%) et la vitesse de sénescence (-0,840**, -0,686* respectivement) et positivement liée avec la somme de la température correspondant à la date de la mi-sénescence (Σ50s) et le poids de mille grains (0,716*, 0,470 respectivement). Ces corrélations importantes ont révélé que la longue période de capacité de photosynthèse pendant la période de remplissage des grains en raison de la sénescence lente est associée à la production de grains plus gros, apparemment en raison de l'augmentation de la teneur en glucides et, finalement, du rendement plus élevé. L'extension de l'efficacité de la plante à la photosynthèse et à la production d'assimilats lors de la phase de remplissage des grains en retardant la sénescence peut donc augmenter le rendement

potentiel en grains des plantes. Ceci est en accord avec les résultats de (Kuroyanagi et Paulsen , 1985 ; Vahid *et al.*, 2011).

Tableau 21: Corrélations inter-caractères mesurés chez les populations d'orge à 2 et à 6 rangs (corrélations des 2 rangs au-dessus de la diagonale et celles des 6 rangs au-dessous de la diagonale).

Variables	MGW	GFR	MFR	AFI	GFD	CHL	S %	Sv	Σ50s	PMG	RDT
MGW	1		0,1842	-0,3125	-0,1103	-0,089	-0,0223	0,1604	0,3418	0,6599	0,2346
GFR	0,9604	1	0,2363	-0,3426	0,0963	0,0224	-0,0206	0,1736	0,1545	0,6241	0,2552
MFR	-0,1511	0,0063	1	-0,0783	0,0669	0,045	0,1805	0,2603	-0,1758	0,2336	0,2217
AFI	0,5122	0,4036	0,1447	1	-0,0825	0,1931	0,0121	0,1273	0,0024	-0,2424	-0,2691
GFD	0,3889	0,2149	-0,4247	0,3463	1	0,2441	-0,491	-0,3639	-0,1331	0,2009	0,0934
CHL	-0,5312	-0,3267	0,7413	-0,278	-0,7331	1	0,1205	0,2987	-0,3353	-0,2091	-0,0464
S %	-0,6949	-0,5244	0,4219	-0,3946	-0,8405	0,8112	1	0,7976	-0,6978	-0,6187	-0,4599
Sv	-0,7005	-0,5879	0,21	-0,4267	-0,686	0,6516	0,9182	1	-0,5555	-0,3751	-0,165
Σ50s	0,7171	0,5004	-0,4866	0,5354	0,7164	-0,863	-0,9174	-0,7824	1	0,65	0,3233
PMG	0,9856	0,9303	-0,1626	0,5263	0,4707	-0,5722	-0,7501	-0,7645	0,7463	1	0,5214
RDT	-0,1233	-0,0537	-0,3831	-0,6958	-0,1033	-0,0466	0,003	0,0764	-0,17	-0,1124	1

Légende: MGW: poids maximum des grains, GFR: taux de remplissage des grains, MFR: vitesse maximale de remplissage des grains, AFI: intensité absolue de la vitesse de remplissage des grains, GFD: durée de remplissage des grains, CHL: contenu en chlorophylle (unités SPAD), S %: sénescence moyenne, Sv: vitesse de sénescence, Σ50s: somme de la température correspondant à la date de la mi-sénescence, PMG: poids de 1000 grains, RDT: rendement en grains, *, **: corrélation significative au seuil de 5% et 1% respectivement.

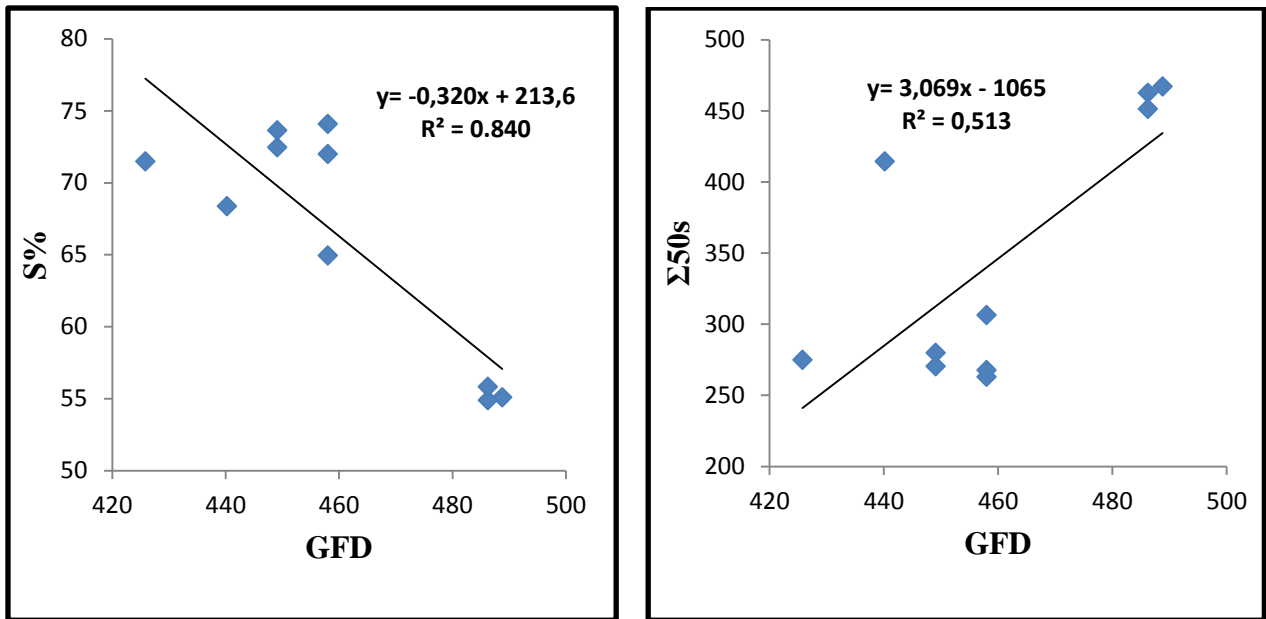


Figure 13: Liaison entre la durée de remplissage des grains (GFD) et la sénescence moyenne (S %), d'une part et la somme de la température correspondant à la date de la mi-sénescence ($\Sigma 50s$), d'autre part chez l'orge à 6 rangs.

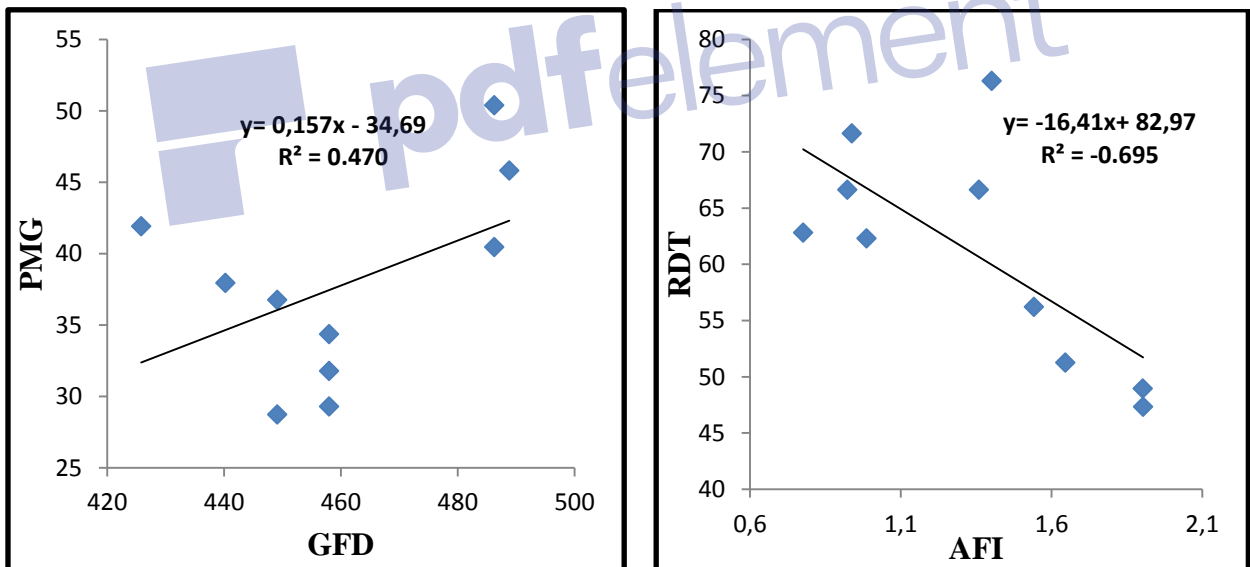


Figure 14: Liaison entre la durée de remplissage des grains et le poids de mille grains (PMG) d'une part et entre l'intensité absolue de la vitesse de remplissage des grains (AFI) et le rendement en grain (RDT) d'autre part chez l'orge à 6 rangs.

4. Régression multiple

Les analyses de régressions multiples sont traditionnellement employées dans l'objectif de prédire ou d'expliquer une variable-critère par un ensemble de variables prédictives. Le modèle complet de la régression multiple indique que le nombre des épis par mètre carré, le nombre de grains par épi, le poids de mille grains, l'indice de récolte et le rendement en paille affectent significativement le rendement grain (Tableau 22).

Les coefficients de régression, les effets directs et la probabilité des variables estimées dans la prévision du rendement de l'orge sont présentés dans le tableau 22. Les résultats obtenus ont montré que l'équation du modèle de prévision pour le rendement en grains (RDT) est formulée en utilisant les variables de la culture d'orge comme suit:

$$\text{RDT grains} = -126,129 - (0,033 * \text{CHL}) + (0,071 * \text{NEM}) + (1,045 * \text{NGE}) + (0,897 * \text{PMG}) + (0,891 * \text{HI}) + (0,476 * \text{RDT paille}) + (0,0881 * \text{S}\%) + (0,015 * \text{50s}) + (0,391 * \text{R}\%) - (0,567 * \text{V}\%) + (0,368 * \text{B}\%).$$

Où, RDT grains, HI, RDT paille, R%, NGE et NEM sont respectivement le rendement en grains, l'indice de récolte, le rendement en paille, la réflectance en rouge, le nombre de grains par épi et le nombre des épis par mètre carré. Ce modèle pourrait justifier nettement plus de 98 % de changements de performance du rendement en grain, tandis que les 2 % restants étaient peut-être dus à des effets résiduels.

L'analyse des effets directs (β) et le test t pour les variables ont indiqué que les effets directs affectant le rendement en grain, les plus importants en valeur, reviennent au nombre de grains par épi (1,411), au nombre d'épis/ m² (0,761), au poids de 1000 grains (0,550), à l'indice de récolte (0,4420) et au rendement en paille (0.339). Tandis que les autres variables (la teneur en chlorophylle, la sénescence moyenne (S%), la somme de la température correspondant à la date de la mi-sénescence (Σ 50s), la réflectance en rouge, vert et bleu, ne contribuent pas significativement à l'explication de la variation du rendement en grain comme le montre le tableau 22. Des résultats relativement similaires à notre étude ont été rapportés par Bensemmane *et al.*, (2011) qui ont révélé que dans les deux types d'orge, le nombre de grains par unité de surface a exercé un effet direct significatif positif et avec un poids de 1000 grains, expliquait presque 99,0% de la variation totale du rendement. En outre, les résultats de Fellahi *et al.*, (2013) ont montré que le nombre d'épis par plante, le nombre de grains par épi et le poids de

mille grains étaient les variables les plus importantes contribuant à la variation du rendement des grains de blé.

Tableau 22: Modèle complet de la régression linéaire multiple du rendement en grains sur les variables pertinentes.

	β (effet direct)	Coeff	SE	T	Prob
Constante		-126,129	20,29148	-6,21586	0,000004***
CHL	-0,022260	-0,033	0,06602	-0,49923	0,622810
NEM	0,761992	0,071	0,01333	5,30347	0,000029***
NGE	1,411130	1,045	0,17525	5,96530	0,000006***
PMG	0,550944	0,897	0,15389	5,82790	0,000009***
HI	0,420280	0,891	0,32036	2,78050	0,011209*
RDT paille	0,339519	0,476	0,12242	3,89200	0,000841***
S %	0,079877	0,088	0,09456	0,93161	0,362125
$\Sigma 50s$	0,127588	0,015	0,01608	0,91180	0,372222
Rouge %	0,166039	0,391	0,34986	1,11767	0,276332
Vert %	-0,193729	-0,567	0,37658	-1,50678	0,146762
Bleu %	0,078124	0,368	0,36535	1,00730	0,325256

Légende: β : effet direct, **Coeff**: coefficient de régression, **SE**: erreur standard, **T**: valeur t, **Prob**: probabilité, **CHL**: teneur en chlorophylle, **NEM**: nombre des épis par m², **NGE**: nombre de grains par épi, **PMG**: poids de 1000 grains, **HI**: indice de récolte, **RDT paille**: rendement en paille, **S%**: sénescence moyenne, **$\Sigma 50s$** : somme de la température correspondant à la date de la mi-sénescence, **Rouge**, **Vert**, **Bleu%** réflectance en rouge, vert et bleu respectivement.

5. Régression progressive (Stepwise Analysis)

La régression progressive est un processus semi-automatisé de construction d'un modèle par l'ajout ou la suppression successifs de variables basées uniquement sur les statistiques et de leurs coefficients estimés. Pour cela, et afin d'éliminer l'effet des caractéristiques non efficaces dans le modèle de régression sur le rendement en grains, une régression progressive a été utilisée. Dans l'analyse de régression progressive, le rendement en grain (RDT) en tant que variable dépendante et d'autres caractéristiques en tant que variables indépendantes ont été prises en compte. Les résultats ont montré que l'indice de récolte, le rendement en paille, la réflectance

en rouge, le nombre de grains par épi et le nombre des épis par mètre carré avec $R^2 = 97,4 \%$, avaient justifié le maximum de changements de rendement (Tableau 23).

Tableau 23 : Analyse de régression progressive du rendement en grains et des caractères agronomiques.

Variables	Step	Partielle R ²	Modèle R ²	Prob	Variables incluses
HI	1	0,552626	0,552626	0,000001***	1
RDT paille	2	0,326637	0,879263	0,000000***	2
Rouge %	3	0,053444	0,932707	0,000044***	3
PMG	4	0,004239	0,936946	0,180944	4
NGE	5	0,008673	0,945620	0,047624*	5
NEM	6	0,028749	0,974369	0,000012***	6
Vert %	7	0,002476	0,976845	0,114570	7
Bleu %	8	0,001731	0,978576	0,176572	8

La première variable introduite est l'indice de récolte qui explique 55,2% de la variation du rendement. Les cinq variables ensemble expliquent 97,4 % de la variation du rendement grain. En raison de leurs faibles contributions relatives, les autres variables n'ont pas été incluses dans le modèle (Tableau 23). Par conséquent, sur la base de l'étape finale des analyses de régression progressive, l'équation de prédiction du rendement en grains (RDT) peut être obtenue:

$$\text{RDT grains} = -135,269 + (2,361 * \text{HI}) + (0,913 * \text{RDT paille}) + (0,612 * \text{R}\%) + (0,0718 * \text{NGE}) + (0,00103 * \text{NEM}).$$

Où, RDT grains, HI, RDT paille, R%, NGE et NEM sont respectivement le rendement en grains, l'indice de récolte, le rendement en paille, la réflectance en rouge, le nombre de grains par épi et le nombre des épis par mètre carré.

Les résultats de cette étude sont relativement similaires à ceux des autres études telles que Ramazani et Abdipour (2018), qui ont constaté que le rendement biologique et l'indice de récolte entrés dans le modèle de régression progressive, représentant 98,99 % de la variance du rendement en grains.

Niazi-Fard *et al.*, (2012), ont utilisé une analyse de régression progressive pour trouver les composants de rendement les plus appropriés pour l'analyse en chemin dans les lignées d'orge avancées et ils ont indiqué le nombre de graines par épi et la date de maturité comme composant principal qui est entré dans leur modèle.

Le résultat de la régression progressive montre que trois variables nommés : nombre d'épis par m², poids de grain par épi et la date d'épiaison ont un effet significatif sur la prévision du rendement en grain. A noter que 71,9% de la variation totale s'expliquait par le nombre d'épis par m² est respectivement, 15,4% par le poids de grains par épi et 0,2% par la date d'épiaison. Ainsi, 87,5% de la variation totale a été révélée par toutes les variables des modèles de régression (Yağmur *et al.*, 2018).

Mehrdelan *et al.*, (2013), ont utilisé l'analyse en chemin pour étudier la relation entre le rendement en grain et ses composants dans les génotypes prometteurs d'orge et ont rapporté que le nombre d'épis par mètre carré, le nombre de grains par épi et le poids du grain avaient respectivement l'effet le plus direct sur le rendement en grain. Ces caractères pourraient être utilisés comme critères de sélection dans les programmes de sélection d'orge. Dans une autre étude utilisant des corrélations et l'analyse des coefficients de cheminement pour le rendement et les composants du rendement de l'orge d'hiver, il est indiqué que l'effet direct positif maximal sur le rendement en grains était lié à l'indice de récolte (Paunovic *et al.*, 2005).

Il a été signalé que le nombre de grains par épi, le poids de mille grains et le nombre de épis par m² étaient les éléments les plus importants du rendement en grain d'orge dans l'application de l'analyse de régression progressive (Ataei, 2006). Dans notre étude, le poids de mille grains n'était pas important, même si le nombre d'épis par m² et le nombre de grains par épi étaient des prédicateurs importants, en plus de l'indice de récolte, le rendement en paille et la réflectance en rouge.

Dans les zones de production d'orge de notre pays, des précipitations irrégulières et insuffisantes dues aux changements climatiques peuvent provoquer un stress de sécheresse pendant les périodes de remplissage des céréales. Il est nécessaire de mettre en place de nouvelles approches contre la sécheresse et en particulier de prendre les éléments de rendement qui sont efficaces sur le rendement en grains dans les programmes de sélection d'orge. Dans ce contexte et en matière de sélection, dans une population constituée d'orge à 2 et 6 rangs, les critères les plus intéressants, selon cette analyse, sont : l'indice de récolte, le rendement en paille, la réflectance en rouge, le nombre de grains par épi et le nombre des épis par mètre carré à prendre en compte dans les zones arides où de grandes quantités d'orge sont cultivées.

6. Analyse en composantes principales

Pour mieux visualiser les relations existantes entre les réponses génotypiques pour les différentes variables mesurées, nous avons eu recours à l'analyse en composantes principales (ACP).

L'analyse en composantes principales est l'un des aspects importants de la sélection variétale ; c'est-à-dire l'évaluation des génotypes basée sur des traits multiples. L'ACP a l'avantage de comparer les génotypes basés sur des traits multiples, afin d'isoler ceux qui sont particulièrement bons avec certaines propriétés importantes pour le processus de sélection (Yan et Rajcan, 2002).

Les corrélations des variables mesurées avec les axes principaux (axe 1 et 2) de l'analyse en composantes principales sont représentées en tableau 24 et figures 15 et 16. La variance totale des données soumises à l'analyse de l'ACP s'élève à 53,32 % ; le premier axe explique 39,34 et le deuxième axe explique 13,98 %.

L'analyse des corrélations avec les deux axes montre que l'axe 1 représente les caractères d'adaptation qui sont positivement corrélés avec la température correspondant à la date de la mi-sénescence ($\Sigma 50s$), le poids de mille grains, le poids maximum des grains, le taux de remplissage des grains, la longueur d'épi. Tandis que le nombre des grains par épi, la sénescence moyenne, la vitesse de sénescence, le poids spécifique et l'indice de récolte sont négativement corrélés (Tableau 24).

Alors, l'axe 2 est un indicateur de la productivité, présente une corrélation positive avec la surface foliaire, la durée de remplissage des grains, la durée de la phase végétative, la longueur des barbes et le rendement en grain par contre, le nombre des épis/m² est négativement corrélé (Tableau 24).

Tableau 24: Corrélations des variables mesurées avec les 2 premiers axes principaux de l'ACP.

Variabes	Axe 1 (39.34%)	Axe 2 (13.98%)
TRE	-0,4915	-0,2791
IC	0,6891	-0,0193
CHL	-0,5931	-0,2818
TCV	-0,2699	-0,2992
PHT	0,7210	-0,0559
LE	0,7973	-0,4012
LB	-0,4900	0,5412
LP	-0,1770	-0,4392
DVG	0,6069	0,5586
SF	-0,3547	0,7586
PSF	-0,7777	-0,0778
NEM	0,4642	-0,5399
NGE	-0,8497	0,4851
PMG	0,8169	0,1269
RDT grains	-0,4497	0,4359
HI	-0,7634	0,2458
RDT paille	0,4464	0,0832
MGW	0,8111	-0,1789
GFR	0,7004	-0,2116
MFR	0,0276	-0,3937
AFI	0,5834	-0,1320
GFD	0,0714	0,6567
S %	-0,8148	-0,4079
Sv	-0,7827	-0,2728
Σ50s	0,9359	0,1336
Rouge %	0,6960	0,3734
Vert %	0,5582	0,4478
Bleu %	0,5629	0,1860

Légende: **TRE:** teneur relative en eau (%), **IC:** intégrité cellulaire (%), **CHL:** contenu en chlorophylle (unités SPAD), **TCV:** température du couvert végétal (°C), **PHT:** hauteur de la plante, **LE:** longueur de l'épi, **LP:** longueur du pédoncule, **LB:** longueur de barbes, **DVG:** durée de la phase végétative **SF:** surface foliaire de la feuille étandard, **PSF:** poids spécifique foliaire, **NEM:** nombre d'épis/m², **NGE:** nombre de grains par épi, **PMG:** poids de 1000 grains, **RDT:** rendement en grains, **HI:** indice de récolte, **RDT paille:** rendement en paille, **MGW:** poids maximum des grains, **GFR:** taux de remplissage des grains, **MFR:** vitesse maximale de remplissage des grains, **AFI:** intensité absolue de la vitesse de remplissage des grains, **GFD:** durée de remplissage des grains, **S %:** sénescence moyenne, **Sv:** vitesse de sénescence, **Σ50s:** somme de la température correspondant à la date de la mi-sénescence, **Rouge %:** réflectance en rouge, **Vert %:** réflectance en bleu, **Bleu %:** réflectance en vert.

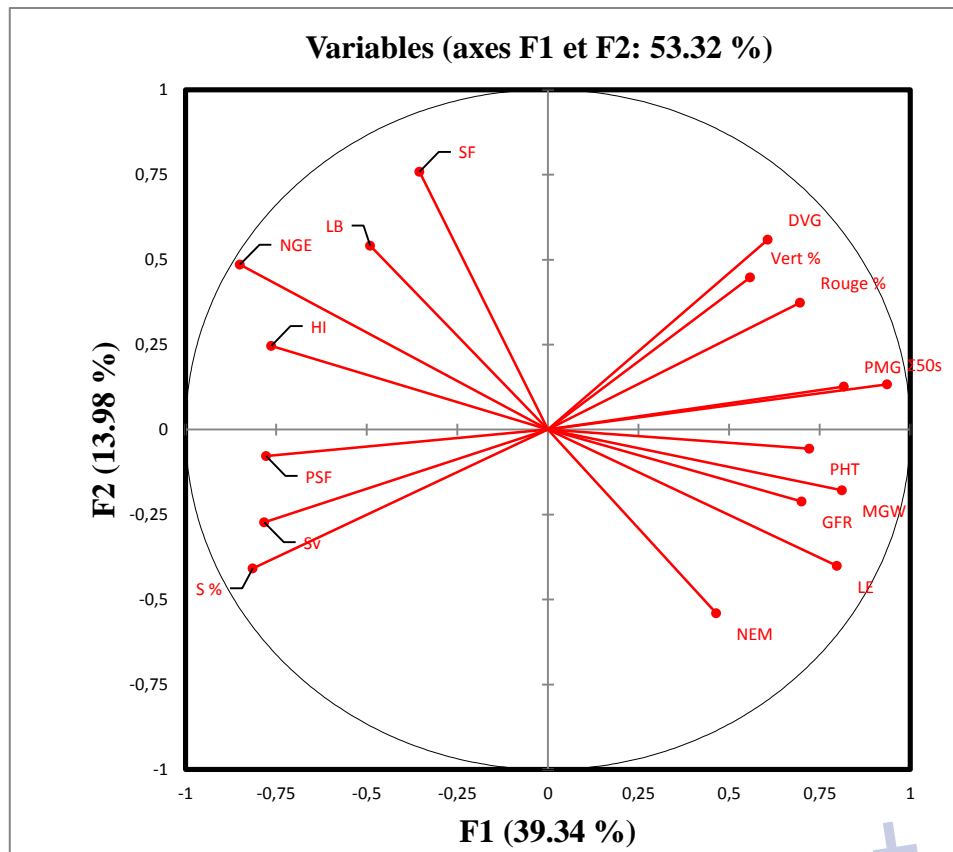


Figure 15: Représentation des caractères mesurés sur les axes principaux 1 et 2.

Cette répartition des variables selon les deux axes permet de caractériser les génotypes étudiés et de faire des groupages d'individus qui se ressemblent plus au moins sur la base d'une ou de plusieurs des variables mesurées. Sur la base du type de l'épi, les génotypes à deux rangs pourraient être divisés en deux sous groupes (figure 16).

Le premier sous groupe se compose de 14 génotypes à deux rangs, qui se caractérise par des valeurs élevées pour le poids maximum des grains, des épis longs, une paille haute, un taux de remplissage des grains élevé et un nombre d'épis élevé.

Le second sous groupe est constitué de 02 génotypes: G1 (Tarem 92) et G12 (Larende) qui se caractérisent par un poids de mille grains important, une sénescence lente avec une somme de température élevée correspondant à une valeur S de 50%, longue phase végétative et une réflectance élevée en rouge.

(Axes F1 et F2: 53.32 %)

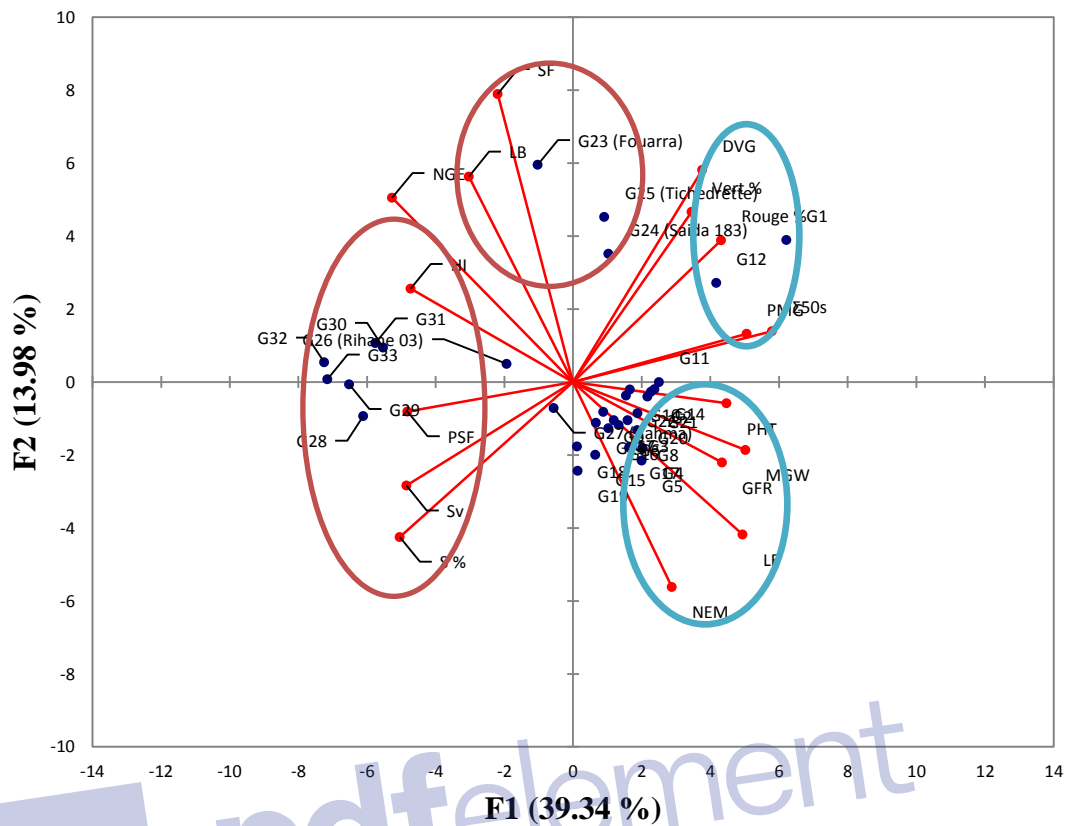


Figure 16: Corrélation des caractères mesurés et des génotypes avec les axes principaux 1 et 2.

L'orge à six rangs pourrait également être divisée en deux sous groupes ; le premier sous groupe est constitué de 07 génotypes (Rihane 03, G28, G29, G30, G31, G32 et G33), qui ont des valeurs élevées pour le poids spécifique, une sénescence rapide avec une vitesse importante, un meilleur indice de récolte. Par contre, le deuxième sous groupe consiste des trois (03) variétés locales (Fouarra, Tichedrette et Saida 183), qui se caractérise par une grande surface foliaire, des barbes longues, une bonne fertilité épi (le nombre de grains par épi) et un rendement en grain élevé.

Les résultats de la présente étude ont indiqué une variation phénotypique élevée pour la plupart des caractères mesurés entre les types de rangs, qui suggèrent que le comportement des orges (à deux et six rangs) est complètement différent. L'analyse des composantes principales a indiqué que le poids maximum des grains, le poids de mille grains, la hauteur de la plante, le

nombre d'épis/ m², nombre de grains par épi, l'indice de récolte, surface foliaire sont fortement influencées par le type de rang.

Les orges à deux rangs présentent un poids maximum des grains et un taux de remplissage des grains élevés, des épis longs, une paille haute, et un nombre d'épis élevé, un poids de mille grains important et une sénescence lente. Par contre, les orges à six rangs se distinguent par un rendement, un nombre des grains par épi, un indice de récolte élevé, des barbes longues, une surface foliaire large et un poids spécifique important.

En sélection, le génotype performant est désirable, il l'est encore mieux s'il tolère les stress abiotiques. En revanche, la présente étude montre que les orges à six rangs sont plus productives. Ces résultats ont confirmé ceux de Le Gouis *et al.*, (1999), qui ont indiqué qu'en moyenne, les lignées à six rangs donnaient un rendement de plus de 4 % comparé à celles de deux rangs, dans des conditions de croissance favorables et de 11 % dans des conditions de faible rendement. Cela suggère que les six rangs sont plus adaptés à un environnement à faible rendement.

Cet avantage pourrait s'expliquer par la capacité du type à six rangs d'obtenir un nombre élevé de graines par unité de surface ainsi qu'un nombre élevé de graines par épi. Une meilleure stabilité du rendement de l'orge à six rangs que de l'orge à deux rangs dans des conditions méditerranéennes a également été suggérée par García del Moral *et al.*, (2003). Cela s'explique par sa capacité à avoir un taux de tallage réduit, y compris dans des conditions favorables ; ce qui semble utile pour économiser des ressources qui peuvent être utilisées plus efficacement pendant les phases critiques de la détermination du rendement.

García del Moral *et al.*, (2003) ; Samarah *et al.*, (2009), ont noté que les lignées d'orge à deux rangs étaient plus sensibles aux changements environnementaux et moins adaptés à la sécheresse tardive que leurs homologues à six rangs, qui étaient plus stables.

Ces résultats suggèrent comme mentionné par Marquez-cedillo *et al.*, (2001), que les lignées d'orge à deux rangs sont une source de germoplasmes potentiellement précieux pour l'orge à six rangs. Les croisements des orges deux rangées x six rangées sont généralement réalisés dans le but de transférer des gènes désirables d'un type à l'autre, mais dans des conditions semi-arides, comme celles dans lesquelles la présente expérience a été menée, la sélection de génotypes à six rangées sera préférée.

7. Analyse de stabilité du rendement en grain

On rappelle que le matériel végétal utilisé dans cette analyse se compose de seize génotypes (Tableau 7, cité ci-dessus en chapitre II), pour sélectionner des génotypes d'orge adaptés et stables sur la base de certains indices paramétriques et non paramétriques. Les génotypes ont été évalués durant trois campagnes agricoles consécutives (2017-18, 2018-19 et 2019-20).

Sur les hautes plaines orientales, l'orge est cultivé sous diverses conditions qui sont le plus souvent contraignantes, notamment au niveau des zones centre et sud, et qui conditionnent la détermination du rendement final de cette culture, en termes de performances et d'adaptation.

Le développement de variétés pour ces régions doit cibler deux objectifs qui ne sont pas, le plus souvent, positivement associés et qui sont le potentiel et la régularité ou stabilité des rendements en grains (Kadi *et al.*, 2010).

Ainsi pour avoir plus de chance d'être adopté comme cultivar, tout nouveau génotype doit se caractériser par un haut potentiel de rendement et l'adaptation à une large gamme d'environnements (Sinebo *et al.*, 2004 ; Akcura *et al.*, 2006).

De ce fait l'évaluation de la stabilité et de l'adaptation sont de plus en plus ciblées dans les programmes de sélection végétale.

Dans ce contexte un certain nombre d'indices paramétriques et non paramétriques ont été développés pour étudier la stabilité des rendements afin de sélectionner des génotypes stables. (Kiliç *et al.*, 2010 ; Mohammadi et Amri, 2011).

7.1 Indices paramétriques

Les résultats du tableau 25 ont montré que les valeurs du coefficient de régression (bi) variaient de 0,172 pour la variété locale Saida 183 (orge à 6 rangs) à 1,685 pour le génotype G5 (orge à 2 rangs). Cette variation des coefficients de régression indique que les génotypes ont eu des réponses différentes aux changements environnementaux.

Tableau 25: Indice de stabilité paramétrique, non paramétrique et rendement moyen en grains pour les génotypes d'orge testés.

Génotype	Indice paramétrique				Indice non paramétrique				RDT
	b_i	S^2d_i	W_i^2	CV_i	$S^{(1)}$	$S^{(6)}$	$NP^{(2)}$	$NP^{(4)}$	Grain
G1	1,551	2,756	53,049	28,296	10,667	1,182	0,379	0,727	42,320
G2	0,931	4,292	30,577	17,484	3,333	0,286	0,125	0,159	45,473
G3	1,276	0,160	9,586	23,627	6,667	0,842	0,463	0,526	40,393
G4	0,663	0,000	12,666	12,411	8,667	1,176	0,481	0,765	39,807
G5	1,685	0,228	53,750	29,418	8,000	0,936	0,362	0,511	42,813
G6	1,273	0,243	9,967	19,096	0,667	0,054	0,227	0,027	49,927
G7	0,829	0,467	6,533	15,975	6,667	0,865	0,392	0,541	39,500
G8	1,298	0,029	10,110	24,271	7,333	1,097	0,604	0,710	39,913
G9	0,932	0,062	0,939	16,952	2,000	0,217	0,157	0,130	41,110
G10	1,124	1,232	10,343	19,476	2,667	0,230	0,152	0,131	44,350
G11	0,865	0,072	2,541	16,294	2,000	0,270	0,262	0,162	39,690
G12	0,555	1,731	34,107	11,055	7,333	0,714	0,174	0,393	43,577
G13	1,159	0,517	6,417	20,511	2,667	0,255	0,083	0,145	42,630
G14 (Fouarra)	0,746	2,487	24,597	12,658	2,000	0,141	0,053	0,085	49,737
G15 (Saida 183)	0,172	0,047	76,498	3,850	9,333	2,737	1,178	1,474	35,023
G16 (Tichedrette)	0,334	3,208	71,793	10,454	12,667	2,313	0,623	1,188	39,930
Moy	0,962	1,096	25,842	17,614	5,792	0,832	0,357	0,480	42,262
Max	1,685	4,292	76,498	29,418	12,667	2,737	1,178	1,474	49,927
Min	0,172	0,000	0,939	3,850	0,667	0,054	0,053	0,027	35,023
Corrélation avec rendement grain	0,342ns	0,377ns	-0,25ns	0,227ns	-0,584*	-0,702**	-0,743***	-0,73**	/

Légende : b_i : Coefficient de régression, S^2d_i : Déviation de la régression, W_i^2 : L'indice d'écovalence de Wricke, CV_i : Coefficient de variance environnemental, $S^{(1)}$ et $S^{(6)}$: Statistiques non paramétriques de Nassar et Huhn, $NP^{(2)}$ et $NP^{(4)}$: Statistiques non paramétriques de Thenarasu.

Basé sur la définition décrite par Pour-Aboughadarehet *al.* (2019), les génotypes à faibles valeurs ($b_i < 1$) sont très adaptés aux milieux à faible rendement, mais au contraire pour les génotypes à valeurs élevées ($b_i > 1$). Les variétés locales Saida 183 et Tichedrette sont très adaptées à la culture sous conditions pluviales.

De plus, la distribution graphique (Figure 17), entre le coefficient de régression et le rendement moyen en grains des génotypes testés a prouvé que les génotypes adaptés et stables à haut rendement en grains dans ces conditions sont G2, Fouarra et G12.

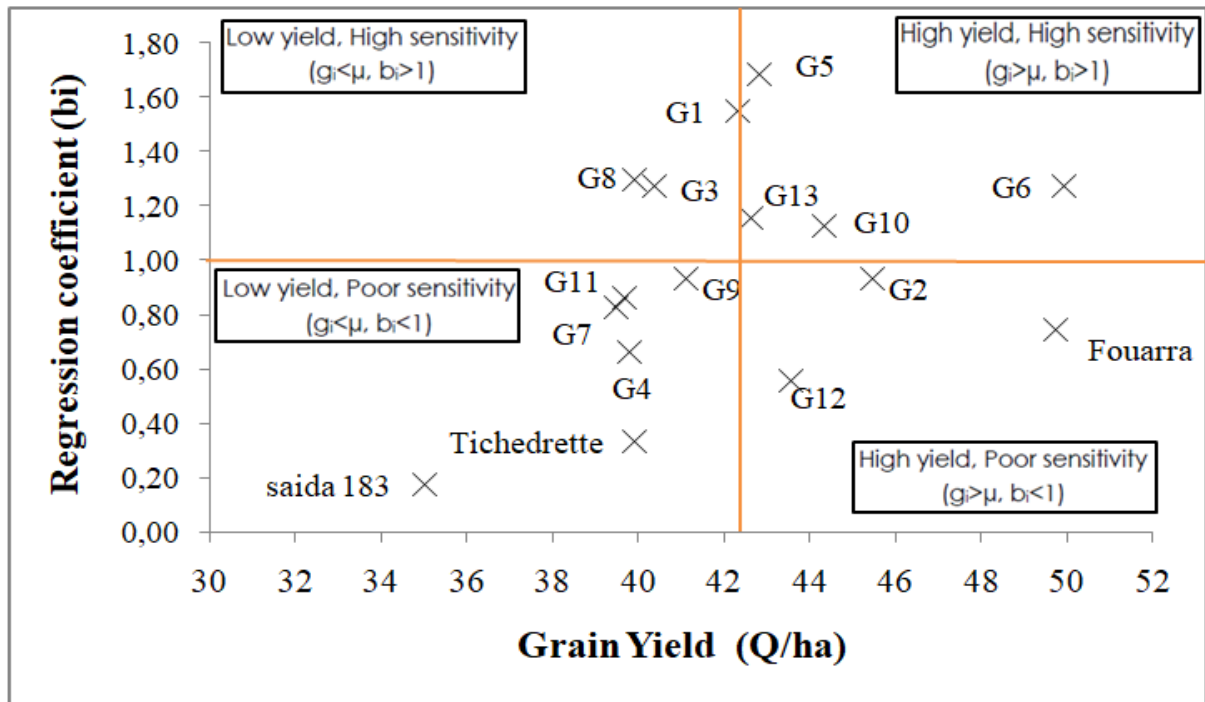


Figure 17: La relation entre les coefficients de régression et le rendement moyen en grains pour les génotypes d'orge testés.

Les lignes avancées G1, G3, G5, G6, G10 et G13 présentent une plus grande spécificité d'adaptabilité aux environnements à haut rendement (conditions irriguées). Selon Megahed *et al.*, (2018), les génotypes ayant un coefficient de régression supérieur à l'unité seraient adaptés à des environnements plus favorables.

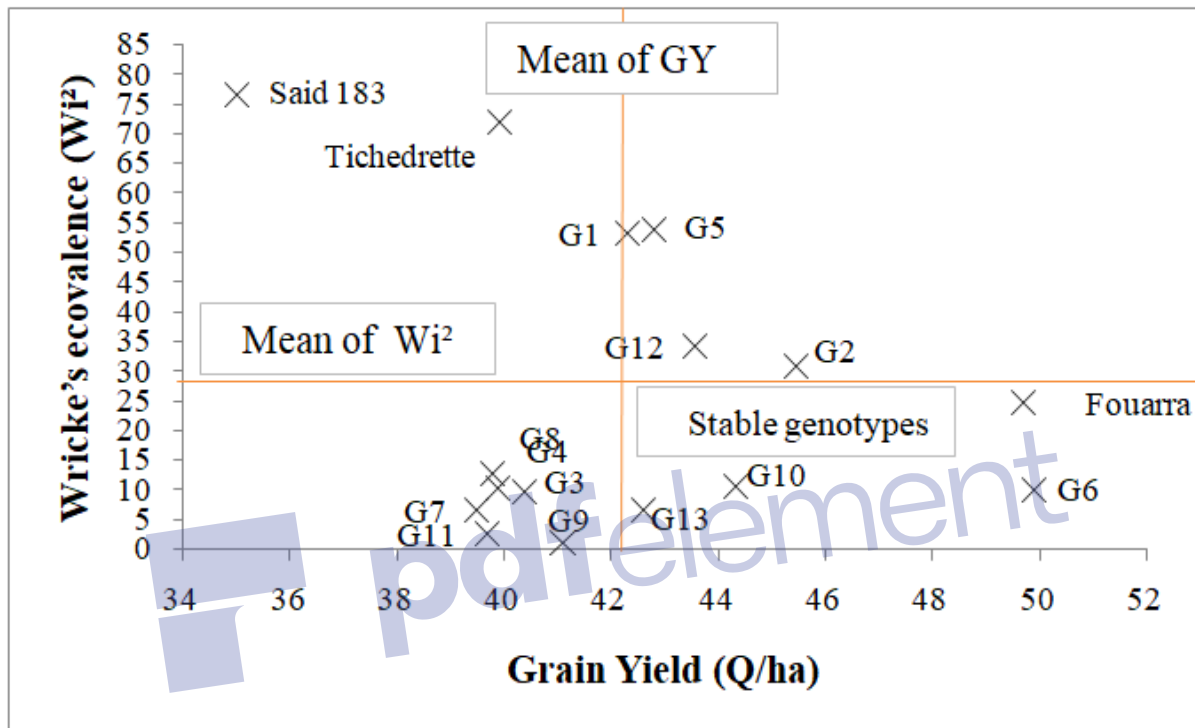
Les valeurs de la déviation de régression (S^2_{di}) ont classé le génotype G4 (type à 2 rangs) comme le génotype le plus souhaitable, mais avec un rendement moyen en grains de 39,8 q/ ha, inférieur au rendement moyen général de l'essai en grains (42,26 q/ ha).

Alors, la combinaison entre le S^2_{di} et le rendement moyen en grains des génotypes testés a prouvé que les génotypes G5, G6 et G13 ont les valeurs les plus faibles de S^2_{di} et le rendement moyen en grains le plus élevé ($>$ moyenne générale du rendement en grains). Les génotypes avec un rendement élevé, un coefficient de régression égal à l'unité ($b_i = 1$) et de faibles écarts de régression ($S^2_{di} = 0$) sont considérés comme stables (Eberhart et Russell, 1966).

La distribution graphique (Figure 18) entre l'indice de stabilité d'écovalence du Wricke (Wi^2) et le rendement moyen en grains des génotypes testés a prouvé que les génotypes adaptés et stables avec un rendement moyen en grains élevé dans ces conditions sont : G13, G6, G10 et

Fouarra. La variété Saida 183 présente une écovalence élevée et est classée comme génotype instable avec un rendement moyen en grains le plus faible (35,02 q/ ha). La valeur la plus basse de Wi^2 est enregistrée chez le génotype G9, celui-ci ayant bi égal à l'unité (0,932), les valeurs les plus basses de S^2_{di} (0,062) et le rendement moyen en grains égal à 41,11 (moyenne générale du rendement en grain = 42,26).

Figure 18: Relation entre l'indice de stabilité d'écovalence de Wricke (Wi^2) et le rendement



moyen en grains (q / ha) pour les génotypes d'orge testés.

Au contraire, sur la base du coefficient de variance environnemental (CVi), la variété Saida183 est très stable, mais avec le rendement moyen en grains le plus faible (35,02 q/ ha). Plusieurs études ont confirmé l'efficacité de l'utilisation de ces indices paramétriques pour sélectionner des génotypes d'orge adaptés et stables (Ramla *et al.*, 2016 ; Verma *et al.*, 2019) et des génotypes de blé dur stables (Guendouz et Hafsi, 2017).

7.2 Indices non paramétriques

En conséquence, $Si^{(1)}$ et $Si^{(6)}$ des génotypes testés (Tableau 25) ont montré que le génotype G6 avait les valeurs les plus faibles ; ce génotype a donc été considéré comme le génotype le plus stable selon $Si^{(1)}$ et $Si^{(6)}$ avec le rendement en grain le plus élevé 49,92 q/ha.

En outre, la distribution graphique (Figure 19) entre l'indice non paramétrique de Nassar et Huhn $Si^{(1)}$ et le rendement moyen en grains des génotypes testés a montré que les génotypes adaptés et stables avec un rendement moyen en grains élevé dans ces conditions sont G6, Fouarra, G10, G13 et G2. Par contre, le génotype G1 avait les valeurs les plus élevées de $Si^{(1)}$ et $Si^{(6)}$ et un rendement moyen en grains élevé (42,32 q/ ha) par rapport au rendement général (42,26 q/ha).

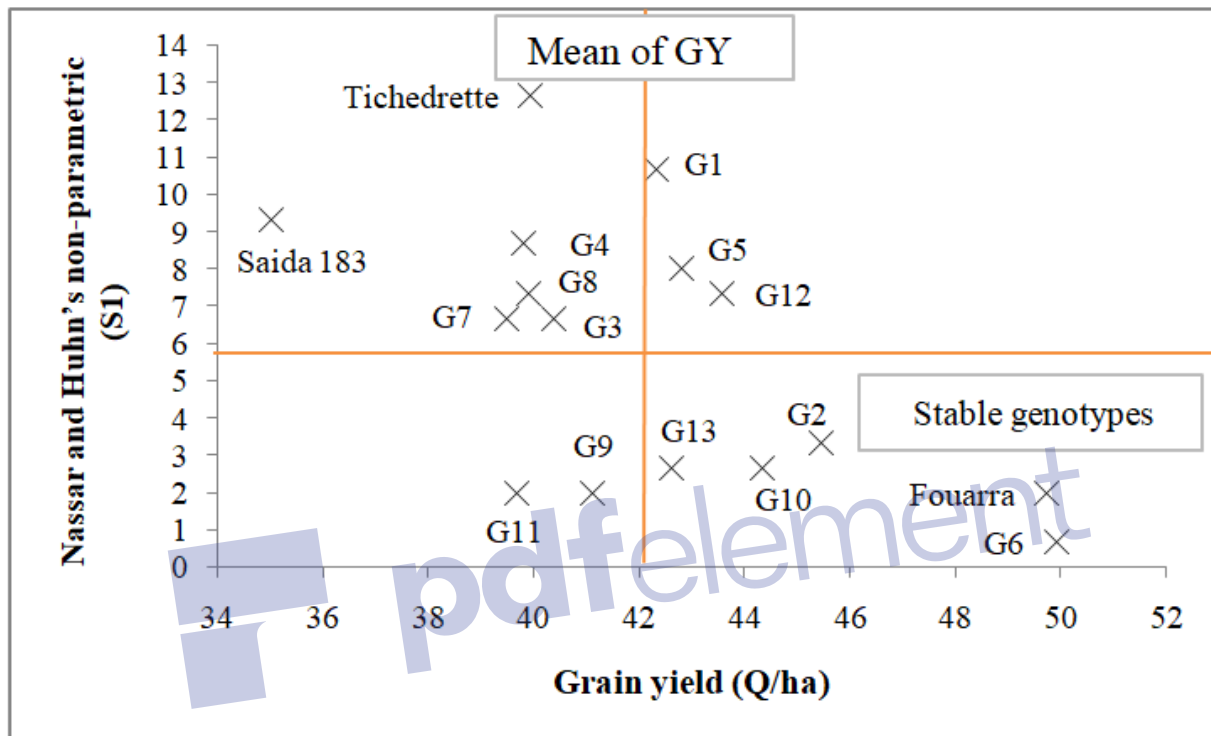


Figure 19: Relation entre l'indice non paramétrique de Nassar et de Huhn $Si^{(1)}$ et le rendement moyen en grains pour les génotypes d'orge testés.

Nos résultats sont en accord avec les recherches de Khalili et Pour-Aboughadareh (2016), qui ont prouvé que les indices de Nassar et de Huhn sont très appropriés pour sélectionner des génotypes d'orge stables et adaptés.

Sur la base de l'indice non paramétrique développé par Thennarasu (1995), le génotype G6 est le plus stable de tous les génotypes testés, avec les valeurs les plus faibles pour l'indice testé (NP^2 et NP^4) et le rendement moyen en grains le plus élevé (49,92 q/ha).

De plus, la classification graphique (Figure 20), basée sur la distribution entre l'indice non paramétrique de Thennarasu et le rendement moyen en grains des génotypes testés a montré que les génotypes adaptés et stables sont G6, Fouarra, G10, G13, G2 et G12.

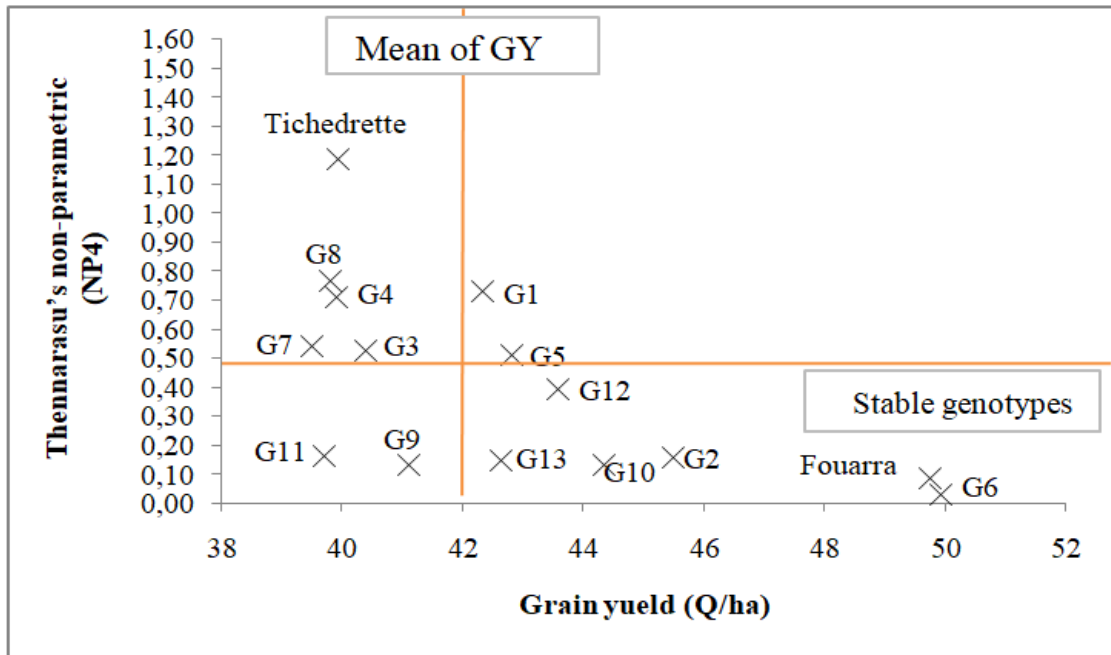


Figure 20: Relation entre l'indice non paramétrique de Thennarasu (NP⁴) et le rendement moyen en grains pour les génotypes d'orge testés.

De nombreux chercheurs ont suggéré que les mesures non paramétriques utilisées dans la sélection d'orge et de blé dur stables (Khalili et Pour-Aboughadareh, 2016; Guendouz et Hafsi, 2017 ; Hannachi *et al.*, 2019) sont très appropriées dans des conditions arides et semi-arides.

7.3 Association entre les indices de stabilité et le rendement en grains

Les résultats des corrélations du coefficient de classement de Spearman entre le rendement en grains et les différentes mesures de stabilité paramétriques et non paramétriques sont présentés dans le tableau 25. Le rendement moyen en grains présente une corrélation significative et négative avec tous les indices non paramétriques testés.

De nombreuses études ont enregistré comme cette corrélation significative pour la culture d'orge (Khalili et Pour-Aboughadareh, 2016). Ainsi, la sélection de génotypes stables basée sur ces paramètres de stabilité peut ne pas permettre aux sélectionneurs d'identifier des génotypes qui sont à la fois à haut rendement et stables.

Une étude des génotypes de blé dur utilisant les mêmes paramètres de stabilité (Kilic *et al.*, 2010) a également identifié les génotypes à rendement inférieur à la moyenne comme étant les plus stables et les génotypes à rendement élevé comme étant plus instables. En outre, aucune

corrélation significative n'est enregistrée entre le rendement moyen en grains et les indices paramétriques (Tableau 25).

Une corrélation significative a été enregistrée entre les différents indices paramétriques et non paramétriques. De nombreuses études ont révélé que $S^{(1)}$ et $S^{(6)}$ étaient positivement et significativement corrélés entre eux et avec $NP^{(2)}$ et $NP^{(4)}$ (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019).

Au cours de cette étude, une corrélation significative et positive a été enregistrée entre $S^{(1)}$ et $S^{(6)}$ ($r = 0,86***$) et entre $S^{(6)}$ et $NP^{(4)}$ ($r = 0,99***$). Kilic (2012), a indiqué que cette corrélation positive significative entre ces paramètres de stabilité suggère que ces paramètres joueraient des rôles similaires pour sélectionner des génotypes adaptés et stables.

L'indice de stabilité d'écovalence du Wricke (Wi^2) a enregistré une corrélation positive et significative avec tous les indices non paramétriques testés ; ces résultats indiquent que ces paramètres jouent des rôles similaires dans la sélection de génotypes d'orge stables.

7.4 Classification basée sur l'analyse en composantes principales

Une analyse en composante principale (ACP) basée sur la matrice de corrélation a été effectuée et présentée dans la Figure 21. Les résultats ont montré que les première et deuxième composantes principales de la corrélation représentaient respectivement 57,16 % et 18,76 % de la variation, soit un total de 75,92 % de la variance initiale, parmi les paramètres de stabilité. De nombreuses études ont été rapportées comme ces résultats pour le blé dur (Kilic *et al.*, 2010) et l'orge (Mut *et al.*, 2010).

Les concepts de stabilité de rendement statique et dynamique décrivent la réponse différentielle des génotypes à des environnements variables (Becker et Leon, 1988). Sur la base de l'analyse de l'APC, les indices paramétriques, bi et CVi sont associés à la stabilité dynamique, mais d'autres indices sont associés à la stabilité statique.

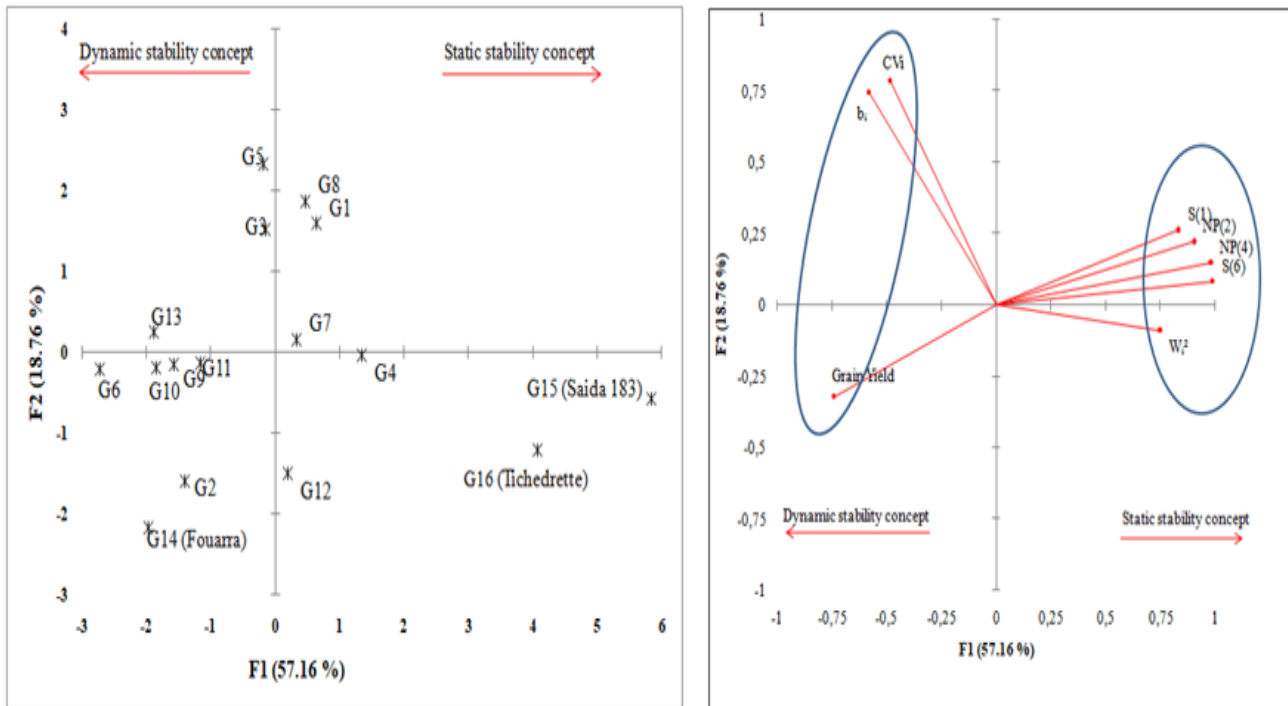


Figure 21: Biplot d'IPC1 (F1) et IPC2 (F2) de la matrice de corrélation de rang des paramètres de stabilité avec le rendement en grain et les génotypes d'orge testés.

En outre, l'analyse en composantes principales a classé les génotypes Fouarra et G2 dans le groupe de stabilité dynamique avec le rendement en grain le plus élevé.

La performance à haut rendement des génotypes testés est l'un des objectifs les plus importants des sélectionneurs; par conséquent, ils préfèrent un concept dynamique de stabilité car ce concept de stabilité signifie qu'un génotype montrerait une réponse élevée à différents niveaux d'intrants tels que l'engrais, la température et l'humidité.

La première classification basée sur le rendement en grains de chaque génotype testé en comparaison avec le rendement en grains général décrit que les génotypes G6, Fouarra et G2 avaient le rendement en grains le plus élevé.

La sélection de génotypes adaptés et stables sur la base de distributions graphiques entre le coefficient de régression (b_i), l'indice de stabilité d'écovalence de Wricke (W_i^2) (indices paramétriques) et le rendement moyen en grains des génotypes testés a prouvé que les génotypes adaptés et stables avec un rendement en grains élevé dans ces conditions sont G2, Fouarra, G12, G13, G6, G10. Les indices non paramétriques ont montré que les génotypes stables sont G6, Fouarra, G10, G13, G2 et G12.

La sélection mixte basée sur le rendement en grains le plus élevé et les indices paramétriques a prouvé que les génotypes G6, Fouarra et G2 sont les plus stables et les mieux adaptés. En conséquence, l'analyse en composante principale (APC) a classé le génotype Fouarra et G2 dans le groupe de stabilité dynamique avec le rendement en grains le plus élevé.

Globalement, les résultats de cette étude ont confirmé que les méthodes paramétriques et non paramétriques sont les outils appropriés pour identifier les génotypes d'orge les plus stables dans diverses conditions environnementales. En outre, les génotypes les mieux adaptés et les plus stables au cours de cette étude sont Fouarra et G6.





CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Sur les hauts plateaux, les cultures d'orge sont soumises aux effets des stress (hautes et basses températures, déficit hydrique, salinité et faible fertilité des sols) plus que les blés suite à leur localisation spatiale qui est à la limite inférieure de l'étage bioclimatique semi-aride. Elles se caractérisent par la variation des rendements et des surfaces récoltées. L'amélioration génétique de l'orge cible des génotypes performants et adaptés. La sélection utilise, de plus en plus, les caractéristiques morpho-physiologiques liés au rendement en grains pour améliorer simultanément le potentiel et l'adaptabilité à la diversité spatiotemporelle des milieux.

En rappel, l'objectif de la présente étude est d'évaluer le potentiel génétique de quelques génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L), analyser les relations qui existent entre les caractères, estimer leurs effets directs et indirects et déterminer les critères de sélection qui peuvent engendrer des améliorations du rendement de l'orge sous conditions semi-arides.

Les résultats obtenus suite aux analyses statistiques effectuées à travers l'analyse des moyennes ont montré une variabilité génotypique appréciable au sein de la population des orges à 2 rangs comme chez celles à 6 rangs pour la majorité des caractères mesurés.

Les orges à 6 rangs présentent des moyennes supérieures à celles des orges à 2 rangs, le rendement de grains, le nombre de grains par épi et l'indice de récolte, hormis le nombre d'épis/m² et le poids de 1000 grains pour lesquelles les orges à 2 rangs s'expriment mieux.

De fait, la comparaison des populations d'orges à 2 et à 6 rangs laisse apparaître que les orges à 2 rangs se distinguent surtout par un poids de 1000 grains et un nombre d'épis par unité de surface plus élevés, alors que les orges à 6 rangs présentent un rendement en grains, un indice de récolte et un nombre de grains par mètre carré plus élevés. Ces résultats suggèrent que les orges à 6 rangs sont, en général, plus productives sous conditions semi arides comparativement aux orges à 2 rangs. L'écart productif est environ plus de 16,28 % entre les deux types de rangs.

Quant aux résultats de l'analyse des corrélations a révélé une variation considérable entre les types de rangs pour le rendement, les composantes du rendement et les caractères agronomiques associés. Le rendement est fortement lié avec le nombre d'épis/ m², le poids de mille grains, et l'indice de récolte chez les orges à 2 rangs, alors qu'il est corrélé avec le nombre d'épis/ m², le nombre de grains par épi et l'indice de récolte chez les 6 rangs.

Cette étude a également prouvé l'efficacité de l'utilisation de la technologie d'analyse d'images numériques (NIA) pour estimer les changements de la sénescence. Elle a également donné une idée très claire sur la possibilité d'utiliser cette technique pour estimer les changements de réflectance à des longueurs d'onde spécifiques. Cette dernière a montré une corrélation significative et négative entre les paramètres de sénescence ($S_a\%$, S_v) et le poids de mille grains chez les deux types d'orge. Cette corrélation indique que de faibles taux de sénescence pourraient conduire à une sénescence plus lente à la fin de la période de remplissage du grain et à une translocation plus régulière des assimilés vers le grain, entraînant un meilleur remplissage du grain et un poids de mille grains plus élevé, ce qui à son tour entraîne une augmentation du rendement grain.

Corrélation significative et négative enregistrée entre la réflectance en rouge, vert, bleu et la teneur en chlorophylle indique que la diminution de la capacité photosynthétique augmente la réflectance des feuilles en rouge, vert et bleu en raison de la dégradation de la teneur en chlorophylle.

Les résultats de la régression progressive montrent que l'indice de récolte, le rendement en paille, la réflectance en rouge, le nombre de grains par épi et le nombre des épis par mètre carré ont des effets directs positifs sur le rendement en grains. Ces caractéristiques sont suggérées comme des critères de sélection indirects pour améliorer le rendement.

L'analyse en composantes principales (ACP) a montré une variation phénotypique élevée pour la plupart des caractères mesurés entre les types de rangs, qui suggère que le comportement des orges (à deux et six rangs) est complètement différent. Les orges à deux rangs présentent un poids maximum des grains et un taux de remplissage des grains élevés, des épis longs, une paille haute, et un nombre d'épis élevé, un poids de mille grains important et une sénescence lente. Par contre, les orges à six rangs se distinguent par un rendement, un nombre des grains par épi, un indice de récolte élevé, des barbes longues, une surface foliaire large et un poids spécifique important.

L'analyse de la stabilité du rendement donne la possibilité de distinguer un groupe de variétés à rendement élevé et d'une bonne stabilité dans différentes conditions. Les indices non paramétriques testés ($S_i^{(1)}$ et $S_i^{(6)}$, $NP^{(2)}$ et $NP^{(4)}$), sont liés significativement avec le rendement en grain. Les résultats de cette étude ont confirmé que les méthodes paramétriques et non paramétriques sont les outils appropriés pour identifier les génotypes d'orge les plus stables

dans diverses conditions environnementales. En outre, les géotypes les mieux adaptés et les plus stables au cours de cette étude sont Fouarra et G6.

Comme perspectives, nous pouvons suggérer d'approfondir l'étude et continuer à suivre les lignées qui ont montré des performances et des potentialités. Elargir l'investigation à d'autres caractères d'importance économique notamment les caractères de qualité et de tolérance et /ou de résistance aux maladies.



REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Abbas, K., A. Abdelguerfi. 2008.** Evaluation of a regenerated natural meadow in a semi -arid area of Algeria. Option Méditerranéenne série A., **79**: 179- 185.
- Abbassenne F., Bouzerzour, H., Hachemi, L. 1997.** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf) en zones semi-aride. Annales Agronomie INA., **18** :24 -36 .
- Abbassene, F., Bouzerzour, H., Hachemi, L. 1998.** Taux de remplissage et durée de la phase de remplissage chez 14 génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi aride. Ann. Agrono., **43**: 75-81.
- Acevedo, E., Conesa, A.P., Monneveux, P., and Srivastava, J.P. 1989.** Physiology breeding of winter cereals for stressed mediterranean environments, INRA Stat. Bioclimatologie., 50-66.
- Acevedo, E., Craufurd, P.G., Austin, R.D., Perez Marco, P. 1991.** Traits associated with high grain yield of barley in low yielding environments. J. Agr. Sci. Camb., **116**: 23- 36.
- Adjabi, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. 2016.** Study of the Effects of Physiological Trait Selection on the Yield potential in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) under Semiarid Conditions. Advances in Environmental Biology., **10(5)**: 153-163.
- Adamsen, F.J., Pinter, P.J., Barnes, E.M., Lamorte, R.L., Wall, G., Leavitt, W., and Kimball, B.A. 1999.** Measuring wheat senescence with a digital camera. Crop Sci., **39**: 719-724.
- Adjabi, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. 2014.** Stability analysis of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) grain yield. Journal of Agronomy., **13**: 131-139.
- Akçura, M., Kaya, Y., Taner, S. 2006.** Evaluation of durum wheat genotypes using parametric and non-parametric stability statistics. Turkish J. of Field Crops., **14**: 111-122.
- Al-Ajlouni, Z.I., Al-Abdallat, A.M., Al-Ghzawi, A.L.A., Ayad, J.Y., Abu Elenein, J.M., Al-Quraan, N.A., and Baenziger, P.S. 2016.** Impact of pre-anthesis water deficit on yield and yield components in barley (*Hordeum vulgare* L.) plants grown under controlled conditions. Agron., **6**: 33-47.
- Alberts, M. J.A. 2004.** Comparison of statistical methods to describe genotype environment interaction and yield stability in multi-location maize trials. M.Sc. Thesis, University of the Free State.
- Alejar, A. A., Park, T. S., Vergara, B. S. and Visperas, R. M. 1995.** The effect of source-sink imbalance on rice leaf senescence and yield. In: P. Mathis (eds), Photosynthesis: from Light to Biosphere, Vol. V, pp. 723-726, Kluwer Academic Press, Dordrecht, the Netherland
- Alem, C., Labhilili, M., Brahmi, K., Jlibene, M., Nasrallah, N., et Filali-Maltouf, A. 2002.** Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin, C. R. Biologies **325** : 1097–1109.
- Ali Dib, T. 1992.** Contribution à l'étude de la tolérance à la sécheresse de blé dur. Etude de la diversité de caractères physiologiques d'adaptation. Thèse de doctorat, Montpellier, 196p.
- Ali Dib, T., Monneveux, P., et Araus, J.L. 1992.** Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II : caractères physiologiques d'adaptation. Agronomie., **12** :381-393.

- Allard, R.W. and Bradshaw, A.D. 1964.** Implications of genotype environment interactions. *Crop Sci.*, **4**: 503-508.
- Alqudah, A. M., Schnurbusch, T. 2014.** Awn primordium to tipping is the most decisive developmental phase for spikelet survival in barley. *Functional Plant Biology.*, **41**: 424–436.
- Alqudah, A.M., Koppolu, R., Wolde, G.M., Graner, A., Schnurbusch, T. 2016.** The genetic architecture of barley plant stature. *Frontiers in Genetics.*, **7** : 117.
- Annerose, D. J. M. 1990.** Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogea* L.) cultivée au Sénégal. Thèse de doctorat es Sciences Naturelles, Université Paris VII, 282p.
- Annicchiarico, P., Abdellaoui, Z., Kelkouli, M., Zerargui, H. 2005.** Grain yield, straw yield and economic value of tall and semi dwarf durum wheat cultivars in Algeria. *J. of Agric. Sci.*, **143**: 57-67.
- Annicchiarico, P., Bellah, F., Chiari, T. 2005.** Defining sub regions and estimating benefits for a specific adaptation strategy by breeding programs: a case study. *Crop Sci.*, **45**: 1741-1749.
- Araus, J.L., Ali Dib, T., Nachit, M. 1998.** Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean condition. *Field crops Res.*, **55**: 209-224.
- Araus, J. L., Ali Dib, T., et Nachit, M. 1998.** Some insights into morphological traits associated with cereal yield increases in Mediterranean environments. In: *Proceeding of SEWANA, ICARDA*: 139-157.
- Araus, J. L., Villegas, D., Aparicio, N., Garcia del Moral, L. F., El Hani, S., Rharrabti, Y., Ferrio, J. P., Royo, C. 2003.** Breeding cereals for Mediterranean conditions: ecophysiological clues for biotechnology applications. *Ann. Appl. Biol.*, **142**: 129-141.
- Arjenaki, F. G., Jabbari, R., Morshedi, A. 2012.** Evaluation of drought stress on relative water content, chlorophyll content and mineral elements of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, **4(11)**: 726-729.
- Ataei, M. 2006.** Path analysis of barley (*Hordeum vulgare* L.) yield, *Tarım Bilimleri Dergisi, Ankara Univ. Ziraat Fak. Dergisi.*, **12**: 227-232.
- Badr, A., Müller, K., Schäfer-Pregl, R., El Rabey, H., Effgen, S., Ibrahim, H. H., ... Salamini, F. 2000.** On the origin and domestication history of Barley (*Hordeum vulgare*). *Molecular Biology and Evolution.*, **17(4)**: 499–510.
- Bagga, A. K., Ruwal, K. N., and Asana, R. D. 1970.** Comparison of some Indian and semi-dwarf Mexican wheat to unirrigated cultivation. *Indian J. agric.Sci.*, **40**: 421- 427.
- Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Hassous, K.L. 2005.** Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi-arid conditions. *Pak. J. Agron.*, **4**: 360-365.
- Bajji, M., Lutts, S., et Kinet, J. M. 2000.** La résistance au stress hydrique chez le blé dur : Comparaison des comportements au niveau cellulaire et au niveau de la plante entière. *Zaragoza: ciheam. Options Méditerranéennes : série A. séminaires méditerranéens.*, **40** : 227- 231.

- Bajji, M., Lutts, S., and Kinet, J. M. 2001.** Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf aging in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Sci.*, **160**: 669- 681.
- Bammoun, A. 1997.** Contribution à l'étude de quelques caractères morpho- physiologiques, biochimiques et moléculaires chez des variétés de blé dur (*Triticum turgidum* ssp durum.) pour l'étude de la tolérance à la sécheresse dans la région des hauts plateaux de l'Ouest Algérien. Thèse de Magister, pp 1-33.
- Barrs, H. D., Weatherley, P. E. 1962.** Are-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences.*, **24** : 519-570.
- Becker, H.C., and Leon, J. 1988.** Stability analysis in plant breeding. *Plant Breed*, **101**:1–23.
- Belhassen, E., This, D., et Monneveux, P. 1995.** L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. *Cahier d'Agriculture.*, **1** : 251-261.
- Belkharchouche, H., Fellah, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., et chellal, N. 2009.** Vigueur de croissance, translocation et rendement En grains du blé dur (*Triticum durum* desf.) Sous conditions semi arides. *Courrier du Savoir.*, **09**:17-24.
- Belkharchouche, H., Benbelkacem, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. 2015.** Flag Leaf and Awns Ablation and Spike Shading Effects on Spike Yield and Kernel Weight of Durum Wheat (*Triticum Turgidum* L. Var. Durum) Under Rainfed Conditions. *Adv. Environ. Biology.*, **9(8)**: 184-191.
- Benbelkacem, A. 2013.** Rapport national des activités du projet INRAA-ICARDA 2012- 2013. 45p.
- Bendada, H., Guendouz, A., Benniou, R., Louahdi, N. 2020.** Indirect Selection of Tolerant Barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes under Semi Arid Conditions Based on the Numerical Images Analysis Indices. *Indian Journal of Agricultural Research.* Volume 54.
- Benkherbache, N. 2002.** Contribution de la sélection à l'amélioration et à la stabilité du rendement de l'orge (*H.vulgare* L.) en zone semi aride d'altitude. *Mem. Mag. INA-Alger*, pp: 54.
- Benkherbache, N. 2013.** Caractérisation physiologique, biochimique agronomique et biomoléculaire de quelques génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) sélectionnés en zone semi aride d'altitude. *Mem. doct. INA-Alger*, pp: 136.
- Benlarabi, M., et Monneveux, P. 1988.** Etude comparée du comportement en situation de déficit hydrique de deux variétés algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) adaptées à la sécheresse. *C.R Acad. Agric. France.*, **74 (5)**: 73-83.
- Benmahammed, A. 1996.** Association et héritabilités de quelques caractères à variation continue chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). Thèse de magister, INA, El Harrach. 80 p.
- Benmahammed, A., Hassous, K.L., et Bouzerzour, H. 2001.** Synthèse des acquis du programme d'amélioration de l'orge de la Ferme Expérimentale Agricole de Sétif, au cours de la période 1982/1983 à 1996/1997. *Céréaliculture.*, **36**: 13-20.

- Benmahammed, A., Kermiche, A., Hassous, K. L., Djekoun, A., et Bouzerzour, H. 2003.** Sélection multi-caractères pour améliorer le niveau de stabilité du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* –L.) en zone semi-aride, revue sciences et technologies., **19**: 98-103.
- Benmahammed, A. 2005.** Hétérosis, transgressions et efficacité de la sélection précoce et retardée de la biomasse, du nombre d'épis et utilisation des indices chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). Thèse de Doctorat d'Etat en Biologie végétale, option, Génétique et Amélioration des plantes. Université de Constantine. 125p.
- Benmahammed, A., Djekoun, A., Bouzerzour, H., Hassous, K. L. 2005.** Sélection multi-caractères pour améliorer le niveau et la stabilité du rendement de l'orge en zone semi- aride. Science & Technologie., **32** : 27-33.
- Benmahammed, A., Bouzerzour, H., Mekhlouf, A., et 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. 2010a.** 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**: 383–394.
- Benmahammed, A., Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, A., Bouzerzour. H. 2010b.** Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. Biotechnol. Agron. Soc. Environ., **14(1)**: 177-186.
- Benniou, R., 2008.** Les systèmes de production dans les milieux semi-arides en Algérie: analyse agronomique de leur diversité et des systèmes de culture céréalières dans les Hautes Plaines Sétifiennes Ed. Thèse Doctorat, ENSA Alger: 293p.
- Benniou, R., and Aubry, C. 2012.** Farm diversity and crop growing practices in semi-arid regions: A case study of the Setif high plains in Algeria. African Journal of agricultural Research Vol., **7(48)**: 6363-6375.
- Ben Naceur, M., Nailly, M., et 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 Rejeb, K., Abdelly, C., et Savouré, A. 2012.** La proline, un acide aminé multifonctionnel impliqué dans l'adaptation des plantes aux contraintes environnementales. Biologie Aujourd'hui., **206(4)**: 291-299.
- Ben Salem, M., Boussen, H., et 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.
- Bensari, M., Camés, J., et Viala, G. 1990.** Répartition du carbone fixé par photosynthèse entre l'amidon et le saccharose dans la feuille de soja. Influence d'un déficit hydrique. Plant Physiol. Biochem., **28**: 17-26.

- Bensemmane, L., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Mimouni, H. 2011.** Assessment of the phenotypic variation within two- and six-rowed barley (*Hordeum vulgare* L.) breeding lines grown under semi-arid conditions. *Adv. Environ. Biology.*, **5**: 1454-1460.
- Berka, S., et Aïd, F. 2009.** Réponses physiologiques des plants d'*Argania spinosa* (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. *Sécheresse.*, **20** (3) : 296-302.
- Berliner, P., Oosterhuis, D. M., and Green, G. C. 1984.** Evaluation of the infrared thermometer as a crop stress detector. *Agricultural and Forest Meteorology*, **31(3-4)**: 219-230.
- Bidinger, F., Musgrave, R., Fischer, R. 1977.** Contribution of stored pre-anthesis assimilate to grain yield in wheat and barley. *Nature.*, **270**: 431-433.
- Biscoe, P. V., Gallagher, J., Littleton, E. J., Monteith, J. L., and Scott, R. K. 1975.** Barley and its environment. Sources of assimilates. *J Appi Ecol.*, **12**: 295-302.
- Blattner, F.R., Weising, K., Bänfer, G., Maschwitz, U, Fiala, B. 2001.** Molecular analysis of phylogenetic relationships among myrmecophytic *Macaranga* species (Euphorbiaceae). *Mol. Phylogenet. Evol.*, **19(3)**: 331-344.
- Blum, A., Ebercom, A. 1981.** Cell membrane stability as a mesure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Sci.*, **21** : 43-7.
- Blum, A., and Pnuel, Y. 1990.** Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a mediterranean environment. *Aust. J. Agric. Res.*, **41**: 799-810.
- Bonjean, A., et Picard, E. 1990.** Les céréales à paille origine, historique, économie et sélection. Eds Nathan, 235 pages.
- Borrell, A. K., van Oosterom, E. J., Mullet, J. E., George-Jaeggli, B., Jordan, D. R., Klein, P. E., and Hammer, G. L. 2014.** Stay-green alleles individually enhance grain yield in sorghum under drought by modifying canopy development and water uptake patterns. *The New Phytologist.*, **203(3)**: 817-30.
- Bort, J., Febrero, A., Amaro, T., Araus, J. 1994.** Role of awns in ear water-use efficiency and grain weight in barley. *Agronomie.*, **2**: 133-139.
- Bothmer, V. R., Sato, K., Knuepffer, H., Hintum, T.V. 2003.** Barley diversity - an introduction. In: R. von Bothmer, van Hintum, R., Knuepffer, H., Sato, K., (editors). *Diversity in barley (Hordeum vulgare L.)*. Elsevier Science, Amsterdam, the Netherlands., **9**: 3-8.
- Botstein, D., White, R. L., Skolnick, M., and Dvies, R. W. 1980.** Construction of genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphism. *Am. J. Hum. Genet.*, **32** : 314-331.
- Boufenar, F., et Zaghouane, O. 2004.** La production de semences de pré-base de céréales durant la période 1994-2003: Amélioration des performances et consolidation du programme de multiplication. *Céréaliculture.*, **41**: 5-12.
- Bousba, R., Ykhlef, N., and Djekoun, A. 2009.** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *World Journal of Agricultural Sciences.*, **5**: 609 -616.

- Bousba, R. 2012.** Caractérisation de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : Analyse de la physiologie et de la capacité en production. Thèse de doctorat Es Science en biologie végétale, option, Bases génétique de la production végétale. Université Constantine. 1226 p.
- Bousba, R., Djekoun, A., Duraa, S., et Ykhlef, N. 2013.** Caractérisation moléculaire et association marqueur SSR phénotype pour la tolérance au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.).European Scientific Journal., **09 (12)**: 1857–7881.
- Bouzerzour, H., and Benmahammed, A. 1994.** Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateau of eastern Algeria. Rachis., **7**: 11-14.
- Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Mekhlouf, A. et Harzallah, D. 1998a.** Evaluation de quelques techniques de sélection pour la tolérance aux stress chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride d'altitude. Céréaliculture., **33** : 27-33.
- Bouzerzour, H., Djekoune, A., Benmahammed, A., et Hassous, L. 1998b.** 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.
- Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Benkharbache, N., et Hassous, K. L. 2002.** Contribution de la sélection à l'amélioration et à la stabilité des rendements de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans l'étage bioclimatique semi-aride, Revue Recherche Agronomique de l'INRA., **10** : 45-58.
- Bouzerzour, H., Benmahammed, A. 2009.** Variation in early growth, canopy temperature, translocation and yield of four durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes under semi-arid conditions. Dirassat Journal of Agricultural Sciences, Jordan Univ., **5**: 142-154.
- Bowman, J.G.P., Blake, T.K., Surber, L.M.M., et al. 2011.** Feed-quality variation in the barley core collection of the USDA national small grains collection. Crop Sci., **41**:863–870.
- Brdar, M., Kraljevic´-Balalic´, M., Kobiljski, B. 2004.** Observed duration and average and maximum grain filling rates in wheat genotypes of different earliness. Genetika., **36 (3)**: 229-235
- Brinis, L. 1995.** Effet du stress hydrique sur quelques mécanismes morpho physiologiques et biochimiques de traits d'adaptation et déterminisme génétique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Doctorat d'état en sciences. Physiologie végétale et amélioration génétiques des plantes. Université d'Annaba (Algérie).156 p.
- Canterro-Martinez, C., Villar, J. M., Romagosa, I., and Fereres, E. 1995.** Growth and yield responses of two contrasting barley cultivars in a Mediterranean environment. Eur. J. Agron., **4**:317- 323.
- Carter, G.A., and Knapp, A.K. 2001.** Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. Am. J Bot., **84**: 677-684.
- Ceccarelli, S., Grando, S., Impiglia, N. 1998.** Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. Euphytica., **103**: 307-318.
- Ceccarelli, S., Grando, S., Booth, R.H. 2006.** International breeding programmes and resource-poor farmers: crop improvement in difficult environments. The International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria, 189-199.

- Ceccarelli, S. 1987.** Yield potential and drought tolerance of segregation population of barley in contrasting environments. *Euphytica.*, **36**: 264-273.
- Ceccarelli, S., Grando, S., Impiglia, A. 1998.** Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. *Euphytica.*, **103**: 307-318.
- Chapman, S. C., Cooper, M., Hammer, G.L. 2002.** Using crop simulation to generate genotype by environment interaction effects for sorghum in water-limited environments. *Aust. J. Agric. Res.*, **53**, 379–389.
- Chen, J.B., Liang, Y., Hu, X., Wang, X.X., Tan, F.Q., Zhang, H.Q., Ren, Z. L., Luo, P.G. 2010.** Physiological characterization of stay green wheat cultivars during the grain filling stage under field growing conditions. *Acta Physiol Plant.*, **32**: 875–882.
- Chenafi, H., Aïdaoui, 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 J Plant Sci.*, **5**: 854-860.
- Cherfia, R. 2010.** Etude de la variabilité morpho-physiologique et moléculaire d'une collection de blé dur algérien (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Magister, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie et Ecologie. Université Mentouri, Constantine. 77p.
- Clarke, J. M., and McCaig, T. N. 1982.** Excised leaf water relation capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Can.J. Plant Sci.*, **62**: 571-577.
- Clarke, J. M. 1986.** Effect of leaf rolling in leaf water loss in *Triticum* spp. *Can J Plant Sci.*, **66**: 885 - 891.
- Clarke, J. M., Romagosa, I., and DePauw, R. M. 1991.** Screening durum wheat germplasm for dry growings conditions. Morphological and physiological criteria, *Crop Sci.*, **3(1)**: 770-775.
- Clarke, T.R. 1997.** An empirical approach for detecting crop water stress using multispectral airborne sensors. *Horttechnology.*, **7**: 9-16.
- Collinson, S., Clawson, E., Azam-Ali, S., and Black, C. 1997.** Effects of moisture deficits on the water relations of bambara groundnut (*Vigna subterranean* L. Verdc.). *J Exp Bo.*, **48** : 877-84.
- Cooper, P. J. M., Keating, J. D. H., and Hughes, G. 1983.** Crop evapotranspiration - technique for calculation of its components by field measurements. *Field Crops Res.*, **7**: 299-312.
- Cornaire, B., Phamthi, A. T., Zuily-Fodil, Y., Daniel, C., and Vieira Da Silva, J. B. 1995.** Contribution to study on oil palm drought tolerance: Protoplasmic resistance. INRA, Inter drought, VI
- Cornic, G. 2008.** Effet de la contrainte hydrique sur la photosynthèse foliaire: De l'utilisation expérimental des relations A/Ci et ACc, article, 36 p.
- Çulha Erdal, Ş., and Çakırlar, H. 2014.** Impact of salt stress on photosystem II efficiency and antioxidant enzyme activities of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Turkish Journal of Biology.*, **38**: 549-560.

- Dagnélie, P. 1986.** Analyse statistique à plusieurs variables Gembloux, Presses agronomiques. 362 p.
- Dakheel, A. J., Naji, I., Mahalazkshmi, V., and Peacock, J. M. 1993.** Morphological traits associated with adaptation of durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Aspects of Applied Biology.*, **34**: 297-307.
- Darbyshire, B. 1974.** The function of the carbohydrate units of tree fungal enzymes in their resistance to dehydration. *Plant Physiol.*, **54**: 717-721
- Davies, P.J., Gan, S. 2012.** Towards an integrated view of monocarpic plant senescence. *Russian Journal of Plant Physiology.*, **59**: 467–478.
- Dejan, D., Vesna, K., Miroslav, Z., Emilija, N. Đ., Ana, N., Beba, M., Dragan, P., and Gordana, Š.M. 2018.** Comparative kernel growth and yield components of two- and six-row barley (*Hordeum vulgare*) under terminal drought simulated by defoliation. *Crop & Pasture Science.*, **69**: 1215–1224.
- Dekkaki, M., Amssa, M., et Qariani, L. 2000.** Identification des critères agro-physiologiques d'adaptation du blé dur aux basses températures et à la sécheresse. CIHEAM. Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens., **40** : 245-249.
- Dekkers, J. C. M., and Hospital, F. 2002.** The use of molecular genetics in the improvement of agricultural populations [Review]. *Natl. Rev. Genet.*, **3** (1): 22–32..
- Dhanda, S., and Sethi, G. 2002.** Tolerance to drought stress among selected Indian wheat cultivars. *J Agric Res (Camb).*, **139**: 319-26.
- Dib, C., Faure, S., Fizames, C., Samson, D., Drouot, N., Vignal, A., Millasseau, P., Marc, S., Hazan, J., Seboun, E., Lathrop, M., Gyapay, G., Morisette, J., and Weissenbach, J. 1996.** A comprehensive genetic map of the human genome based on 5,264 microsatellites. *Nature.*, **380**:152- 154.
- Dimitrijević, M., Knežević, D., Petrović, S., Zečević, V., Bošković, J., Belić, M., Pejić, B., Banjac, B. 2011.** Stability of yield components in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genetika.*, **43**(1): 29-39.
- Distelfeld, A., Avni, R., and Fischer, A. M. 2014.** Senescence, nutrient remobilisation, and yield in wheat and barley. *Journal of Experimental Botany.* doi:10.1093/jxb/ert477.
- Djekic, V., Popovic, V., Brankovic, S., Terzic, D., and Djuric, N. 2017.** Grain yield and yield components of winter barley. *Agriculture and Forestry.*, **63**(1): 179-185.
- Dodig, D., Savic, J., Kandic, V., Zoric, M., Vucelic Radovic, B., Popovic, A., et al. 2016.** Responses of wheat plants under postanthesis stress induced by defoliation: I. Contribution of agro-physiological traits to grain yield. *Experimental Agriculture.*, **52**(2):203-223.
- Dodig, D., Rancic, D., Vucelic Radovic, B., Zoric, M., Savic, J., Kandic, V., et al. 2017.** Response of wheat plants under postanthesis stress induced by defoliation: II. Contribution of peduncle morpho-anatomical traits and carbon reserves to grain yield. *The Journal of Agricultural Science.*, **155**(3):475-493.

- Douici-Khalifi, A., Bachir, A., Mehenni, O., Zelti, A., Bouchata, K., Benarbia, N., Boukhenaf, S., Douha, A., Assous, K.L., Madani, M., Benlakehal, Z. 2019.** Guide des variétés des céréales nouvellement inscrits en Algérie. ISBN : 978-9961-881-31-6.
- Draper, N.R., Smith, H. 1981.** Applied regression analysis. 2nd edition. Wiley series in probability and mathematical statistics. John Wiley & Sons. N.Y., pp. 709.
- Dubey, R. S. 1994.** Protein synthesis by plants under stressful conditions, in: M. Pessaraki (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress, Marcel Dekker, New York, pp. 277/299.
- Dubos, C. 2001.** Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat en biologie Forestière, Université Henri Poincaré, Nancy I: 225p.
- Durand, J. L. 2007.** Les effets du déficit hydrique sur la plante : aspects physiologiques. Fourrages., **190**:181-195.
- Dymond, J.R., and Trotter, C.M. 1997.** Directional reflectance of vegetation measured by a calibrated digital camera. Optics., **18**: 4314-4319.
- Eagles, H. A., Bariana, H. S., Ogonnaya, F. C., Rebetzke, G. J., Hollamby, G. J., Henry, R. J., Henschke, P. H., and Carter, M. 2001.** Implementation of markers in Australian wheat breeding. Aust. J. Agric. Res., **52 (11-12)**: 1349-1356.
- Eberhart, S.A.T., and Russell, W.A. 1966.** Stability parameters for comparing varieties. Crop Science., **6**: 36-40.
- Ehdaie, B., Alloush, G.A., Madore, M.A., Waines, J. G. 2006.** Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: II. Postanthesis changes in internode water-soluble carbohydrates. Crop Science., **46**: 2093-2103
- El fakhri, M., Mahboub, S., Benchekroun, M., et Nsarellah, N. 2011.** Effet du stress hydrique sur la répartition ionique dans les feuilles et les racines du blé dur (*Triticum Durum*). Nature & Technologie., **05**: 66-71.
- El Jaafari, S., et Paul, R. 1993.** Accumulation foliaire de proline et résistance à la sécheresse chez le blé (*Triticum aestivum* L). Arch Int Physiol Biochem Biophys., **101**: B8.
- Ellen, J. 1987.** Effects of plant density and nitrogen fertilization in winter wheat (*Triticum aestivum* L.): I. Production pattern and grain yield. *Neth. J. Agric. Sci.*, **35**: 137-153.
- El Midaoui, M., Benbella, M., Aït Houssa, A., Ibriz, M., et Talouizte, A. 2007.** Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.), Revue HTE., **136** : 29-34.
- Fahmi, F., Tahrouch, S., Bouzoubâa, Z., et 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, pp. 299-308.
- FAOSTAT. 2018.** Food and agriculture organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>.

Farineau, J., Morot-Gaudry, J.F. 2006. La Photosynthèse. Processus Physiques, Moléculaires et Physiologiques. (Photosynthesis. Physical, Molecular and Physiological Processes.). Institut National de la Recherche Agronomique, Paris 2006. Pp. 403.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S. M. A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron Sustain Dev.*, **29**:185–212

Farquhar, G.D., Ehleringer, J.R., Hubuk, K.T. 1994. Isotopic composition of plant carbon correlated with water use efficiency of wheat genotypes. *Aust. J. Plant. Physiol.*, **11**: 539-542.

Febrero, A., Brot, J., Brown, R.H., Araus, J.L. 1991. The role of durum wheat ear as photosynthetic organ during grain filling. In: advanced trends in photosynthetic, Mallorca, Spain (unpublished).

Fellah, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Djekoun ,A. 2002. Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Actes IAV Hassen II (Maroc)., **22**: 161-168.

Fellahi, Z., Hannachi, A., Bouzerzour, H., Boutekrabt, A. 2013. Correlation between traits and path analysis coefficient for grain yield and other quantitative traits in bead wheat under semi arid conditions. *J. Agric. Sustain.*, **3**(1): 16–26.

Fellahi, Z., Hannachi, A., Bouzerzour, H., Boutekrabt, A. 2013. Study of interrelationships among yield and yield related attributes by using various statistical methods in bread wheat (*Triticuma estivum* L. em Thell.). *International journal of Agronomy and Plant Production.*, **4** (6): 1256-1266.

Ferrio, J.P., Villegas, D., Zarco, J., Aparicio, N., Araus, J. L. and Royo, C. 2005. Assessment of durum wheat yield using visible and near-infrared reflectance spectra of canopies. *Field Crops Res.*, **94**: 126-148.

Feuillet, C., Langridge, P., Waugh, R. 2008. Cereal breeding takes a walk on the wild side. *Trends in genetics* : **TIG 24**: 24–32.

Finlay, K.W., and Wilkinson, G.N. 1963. Adaptation in a plant breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research.*, **14**: 742–754.

Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. *Aust. J. Agric. Res.*, **18**: 786- 896.

Francis, T.R. and Kannenberg, L.W. 1978. Yield stability studies in short-season maize: I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science.*, **58**: 1029–1034.

Frégeau-Reid, J., Choo, T.M., Ho, K.M., Martin, R., and Konishi, T. 2001. Comparisons of two-row and six-row barley for chemical composition using doubled-haploid lines. *Crop Science.*, **41**:1737-1743.

Gaff, D. F. 1980. Protoplasmic tolerance of extreme water stress. In : Turner, N. C., and Kramer, P. Jeds. *Adaptation of plants to water and high temperature stress.* Wiley, NY, 207-230.

- Gallais, A. 1994.** La sélection assistée par marqueurs. Quel avenir pour l'amélioration des plantes. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris. pp: 387-397.
- García del Moral, L. F., Garcia del Moral, M. B., Molina-Cano, L., Slafer, G. A. 2003.** Yield stability and development in two and six rowed winter barleys under Mediterranean conditions. *Field Crops Research.*, **81**: 109–119.
- Gate, P. H. 1995.** Ecophysiologie du blé; Technique et documentation: Lavoisier, Paris, 429 p.
- Gates, D.M. 1968.** Transpiration and leaf temperature. *Annual Review of Plant Physiology.*, **19**: 211- 238.
- Gaufichon, L., Prioul, J.L., and Bachelier, B. 2010.** Quelles sont les perspectives d'amélioration génétique de plantes cultivées tolérantes à la sécheresse? In. Etude de la foundation FARM.
- Gebhardt, D.J., Rasmusson, D.C., Fulcher, R.G. 1993.** Kernel morphology and malting quality variation in lateral and central kernels of six-row barley. *Journal of the American Society of Brewing Chemists.*, **51**: 145–148.
- Geetha, A., Sivasankar, A., Saidaiahand, P., Prayaga, L. 2017.** Effect of moisture stress on key physiological parameters in Sunflower genotypes. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, **6(5)**: 147-159.
- Gerszberg, A., Hnatuszko-Konka, K. 2017.** Tomato tolerance to abiotic stress: a review of most often engineered target sequences. *Plant Growth Regul.* doi:10.1007/s10725-017- 0251-x.
- Ghosh, P. K., Ramesh, P., Bandyopadhyay, K. K., Tripathi, A. K., Hati, K. M., Misra, A. K. 2004.** Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping systems in vertisols of semi-arid tropics. II. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. *Bioresour. Technol.*, **95**: 85-93.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J .and Merzlyak, M. N. 1996.** Use of agreen channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sens. Environ.*, **58**: 289–298.
- Gonzalez, A., Bermejo, V., Gimeno, B.S. 2010.** Effect of different physiological traits on grain yield in barley grown under irrigated and terminal water deficit conditions. *J Agric Sci.*, **148**: 319–328.
- Grant, L. 1987.** Diffuse and Specular Characteristics of Leaf Reflectance. *Rem. Sens. Environ.*, **22**: 309-322.
- Grassini, P., Eskridge, K.M., Cassman, K.G. 2013.** Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends. *Nat Commun.*, **4**:2918.
- Gregersen, P. L., Holm, P. B., and Krupinska, K. 2008.** Leaf senescence and nutrient remobilization in barley and wheat. *Plant Biology (Stuttgart, Germany).*, **10 (1)**: 37–49.
- Grignac, P. 1981.** Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen français. Communication au conseil scientifique. Italie. 11^e édition, n° 1178: 185-195.

Guendouz, A., and Maamari, K. 2011. Evaluating durum wheat performance and efficiency of senescence parameter usage in screening under Mediterranean conditions, *Electronic Journal of Plant Breeding.*, **2(3)**: 400-404.

Guendouz, A., and Maamari, k. 2012. Grain-filling, chlorophyll content in relation with grain yield component of durum wheat in a Mediterranean environment. *African Crop Science Journal.*, **20 (1)**: 31 - 37

Guendouz, A., Guessoum, S., Maamri, K., Benidir, M., and Hafsi, M, 2012. Canopy Temperature Efficiency as Indicators for Drought Tolerance in Durum Wheat (*Triticum Durum* Desf.) in Semi Arid Conditions. *Journal of Agriculture and Sustainability*, **1(1)**: 23-38.

Guendouz, A., Guessoum, S., Maamari, K. and Hafsi, M. 2012. Predicting the efficiency of using the RGB (Red, Green and Blue) reflectance for estimating leaf chlorophyll content of Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes under semi arid conditions. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture.*, **6**: 102-106.

Guendouz, A., Hafsi, M., Khebbat, Z., Moumeni, L., and Achiri , A. 2014. Evaluation of Grain yield, 1000 kernels weight and Chlorophyll Content As Indicators for Drought Tolerance In Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.). *Advance in Agriculture and Biology.*, **2 (2)**: 89- 92.

Guendouz, A., and Hafsi, M. 2017. Comparison of Parametric and non-Parametric Methods for Selecting Stable and Adapted Durum Wheat Cultivars under Semi-arid Conditions. *Jordan Journal of Agricultural Sciences.*, **13(3)**: 655-662.

Haddad, L. 2010. Contribution à l'étude de la stabilité des rendements du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. Mémoire de Magister, Département Agronomie, FSNV, UFA, Sétif. 70 pages.

Haddadin, M.F. 2015. Assessment of drought tolerant barley varieties under water stress. *International Journal of Agriculture and Forestry.*, **5**: 131–137.

Hafsi, M., Mechmeche, W., Bouamama, L., Djekoune, A., Zaharieva, M., Monneveux, P. 2000. Flag leaf senescence, as evaluated by numerical image analysis, and its relationship with yield under drought in durum wheat. *J Agron Crop Sci.*, **185**: 275–280.

Hafsi, M., and Guendouz, A. 2012. Some Aspects of Leaf Senescence. In Tetsuji Nagata, *Senescence*, IntechOpen, pp. 107-116. DOI: 10.5772/32787.

Hafsi, M., Hadji, A., Guendouz, A., Maamri, K. 2013. Relationship Between Flag Leaf Senescence and Grain Yield in Durum Wheat Grown Under Drought conditions. *Journal of Agronomy.*, **12(2)**: 69-77.

Hakimi, M. 1989. Les systèmes traditionnels basés sur la culture de l'orge. Proc. Symp. On the agrometeorology of rainfed barley based farming systems. Eds. WMO/ ICARDA pp:179-183.

Hakimi, M. 1993. L'évolution de la culture d'orge: Le calendrier climatique traditionnel et les données Agro- météorologiques modernes. In: *The Agro meteorology of Rainfed Barley-based Farming Systems*. Proc. Symp. WMO ICARDA. Tunis March 1989, 157-166.

- Hamli, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Oulmi, A., Kadi, K., Addad, D. 2015.** Déterminisme génétique des caractères morpho-physiologiques liés au rendement chez le blé dur en zone semi-aride des hauts plateaux Sétifiens, Algérie. *Europ. Sci. J.*, **11**: 146-160.
- Hannachi, A., Fellahi, Z., Bouzerzour, H., Boutekrabt, A. 2013.** Diallel-cross analysis of grain yield and stress tolerance-related traits under semi-arid conditions in Durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Elect. J. Plant Breed.*, **4**: 1027-1033.
- Hannachi, A., Fellahi, Z.E.A., et Bouzerzour, H. 2019.** Analyse de l'adaptabilité et la stabilité de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux conditions sud méditerranéennes. *Revue Agriculture.*, **10(2)**: 56 – 67.
- Hanson, P.R., Jenkins, G., Westcott, B. 1985.** Early generation selection in a cross of spring barley. *Z. Pflanzenzuchtg.*, **83**: 64-80.
- Harlan, J.R. 1975.** Our vanishing genetic resources. *Science.*, **188**: 618–621.
- Hauchinal, R.R., Tandon, J.P., Salinath, P.M. 1993.** Variation and adaptation of wheat varieties to heat tolerance in Peninsular India . In Sanders, D. A., and Hettel, G. P. *Wheat in heat stressed environments, irrigated dry areas and rice- wheat farming systems, Mexico, DF, Cimmyt*, 175-183.
- Hayek, T., Ben Salem, M., et Zid, E. 2000.** Mécanisme ou stratégie de résistance à la sécheresse: Cas du blé, de l'orge et du triticale. *CIHEAM-IAMZ, Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens.*, **40**: 287-290.
- Henchi, B. 1987.** Effets des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysiologie de *Plantago albicans* L. Thèse de doctorat d'État, univ Tunis.
- Hireche, Y. 2006.** Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Mémoire de magister, Département d'Agronomie. Université EL-Hadj Lakhdar, Batna. 83p.
- Ho, K. M., Jui, P.Y. 1989.** Duration and rate of kernel filling in barley (*Horedum vulgare* L.). *Cereal Research Communication.*, **17**: 69-76.
- Hoffmann, A., Maurer, A., and Pillen, K. 2012.** Detection of nitrogen deficiency QTL in juvenile wild barley introgression lines growing in a hydroponic system. *BMC Genetics*, **13**, 88. doi:10.1186/1471-2156-13-88.
- Hollmann, J., Gregersen, P. L., and Krupinska, K. 2014.** Identification of predominant genes involved in regulation and execution of senescence-associated nitrogen remobilisation in flag leaves of field grown barley. *Journal of Experimental Botany.*, **1–11**. doi:10.1093/jxb/eru094.
- Hopkins, W. G. 2003.** *Physiologie végétale*. 2^{ème} édition. De Boeck, Bruscelles: 61-476.
- Hospital, F. 2001.** Size of donor chromosome segments around introgressed loci and reduction of linkage drag in marker-assisted backcross programs. *Genetics.*, **158 (3)**: 1363–1379.
- Huhn, M. 1990.** Non-parametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. *Euphytica.*, **47**: 189–194.

- Hussain, S. S. 2006.** Molecular breeding for abiotic stress tolerance: drought perspective. Proc Pak Acad Sci., **43**: 189–210.
- Ibrahim, A. M. H., Quick, J. S. 2001.** Genetic Control of High Temperature Tolerance in Wheat as Measured by Membrane Thermal Stability. Crop Sci., **41**: 1405–1407.
- INRA. 2000.** La résistance des plantes à la sécheresse. Centre de Montpellier.
- Isidro, J., Alvara, F., Royo, C., Villegas, D., Miralles, D.J., del Moral, L. F. G. 2011.** Changes in duration of developmental phases of durum wheat caused by breeding in Spain and Italy during the 20th century and its impact on yield. Ann Bot., **107**: 1355–1366.
- Jean-François., et Morot-Gaudry. 1997.** Assimilation de l'azote chez les plantes: aspects physiologique, biochimique et moléculaire. INRA, Paris, 119-235.
- Jia, J., Devos, K. M., Chao, S., Miller, T. E., Reader, S. M., and Gale, M. D. 1996.** “RFLP based maps of the homoeologous group 6 chromosomes of wheat and their application in the tagging of Pm12, a powdery mildew resistance gene transferred from *Aegilops speltoides* to wheat”, Theor. Appl. Genet., **92**: 559 – 565.
- Joshi, S. K., Sharma, S. N., Sighania, D. L., and Sain, R. S. 2004.** Combining ability in the F1 and F2 generations of diallel cross in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.), Hereditas., **141** (2): 115 - 121.
- Kadi, Z., Adjel, F., Bouzerzour, H. 2010.** Analysis of the genotype x environment interaction of barley grain yield (*Hordeum vulgare* L.) under semi- arid conditions. Adv. Environ. Biol., **4**: 34-40.
- Kameli, A., and Losel, D. M. 1995.** Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. J. Plant Physiol., **145**: 363-366.
- Kameli, A., Losel, D.M. 1996.** Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. New Phytol., **132**: 57-62.
- Khalily, M., and Pour-Aboughadareh, A. 2016.** Parametric and non-parametric measures for evaluation yield stability and adaptability in barley doubled haploid lines. Journal of Agricultural Science and Technology., **18**: 789-803.
- Khaliq, I., Irshad, A., Ahsan, M. 2008.** Awns and flag leaf contribution towards grain yield in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). Cereal Res. Commun., **36**: 65-76.
- Kilic, H., Mevlut, A., and Husnu, A. 2010.** Assessment of parametric and nonparametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in multi-environments, Not. Bot. Horti Agrobi., **38**: 271–279.
- Kilic, H. 2012.** Assessment of parametric and nonparametric methods for selecting stable and adapted spring bread wheat genotypes in multi-environment, J. Anim. Plant Sci. **22**: 390–398.
- Kling, J. 2004.** An introduction to barley – notes from css 330 world foods class. Accessed 18 Apr 2006. <http://oregonstate.edu/instruct/css/330/five/BarleyOverview.htm>
- Knezevic, D., Kondic, D., Markovic, S., Markovic, D., Atanasijevic, S. 2014.** Genetic and phenotypic variability of grain mass and length of spike in wheat (*Triticum aestivum* L.) effected by nitrogen nutrition. *Növénytermelés*, suppl., **63**:47-51.

Kolodinska-Brantestam, A., Von Bothmer, R., Rashal, I., Gullord, M., Martynov, S., Weibull, J. 2008. Variation of agronomic traits in Nordic and Baltic spring barley. In 'Proceedings 10th International Barley Genetics Symposium'. 5–10 April 2008, Alexandria. (Eds S Cecarely, S Grando) pp. 39–45. (ICARDA).

Komatsuda, T., Pourkheirandish, M., He, C., Azhaguvel, P., Kanamori, H., Perovic, D. et al. 2007. Six rowed barley originated from a mutation in a homeodomain-leucine zipper I-class homeobox gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences* ., **104**: 1424-1429.

Körnicke, F. 1885. *Handbuch des Getreidebaues I.* Berlin.

Kotchi, S. O. 2004. Détection du stress hydrique par thermographie infrarouge : Application à la culture de la pomme de terre. Mémoire présenté le cadre du programme de maîtrise en sciences géomatiques pour l'obtention du grade de Maître ès Sciences (M.Sc.), Faculté de Foresterie et Géomatique, Université Laval Québec. 115 p.

Krupinska, K., Humbeck, K. 2004. Photosynthesis and chloroplast breakdown (Review). In: Noo'den LD (ed) *Plant cell death processes*. Elsevier, San Diego, CA, pp 169–188

Kumlehn, J., Stein, N. 2014. *Biotechnological approaches to barley improvement*. Springer, Berlin.

Kuroyanagi, T., and Paulsen, G.M. 1985. Mode of high temperature injury to wheat II. Comparisons of wheat and rice with and without inflorescence. *Physiol. Plant.*, **65**: 203-208.

Kyratzis, A.C., Skarlatos, D.P., Menexes, G.C., Vamvakousis, V.F., Katsiotis, A. 2017. Assessment of vegetation indices derived by UAV imagery for durum wheat phenotyping under a water limited and heat stressed mediterranean environment. *Front. Plant Sci.* **8**: 11-14.

Laala Z., Oulmi, A., Saraoui, T., Haddad, L., Nouar, H., Benmahammed, A., Bouzerzour, H. 2010. Effet de la sélection de la biomasse et des épis sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf) sous conditions Semi-arides. *Annales de la Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur (Univ Ouargla)*., **4** : 56-69.

Laffray, D., et Louguet, P. 1991. L'appareil stomatique et la résistance à la sécheresse chez les végétaux ligneux. In **Riedacker, A., Dreyer, E., Pafadnam, C. Joly, H., et Bory, G. 1993.** *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi arides*. Groupe d'Etude de l'Arbre Observation Du Sahara et du sahel. John Libbey Eurotext. 21-46.

Lalić, A., GoretaBan, S., Perica, S., Novoselović, D., Abičić, I., Kovačević, J., Šimić, G., and Guberac, V. 2017. The effect of water stress on some traits of winter barley cultivars during early stages of plant growth. *Poljoprivreda* **23(1)**: 22-27.

Langridge, P., Lagudah, E. S., Holton, T. A., Appels, R., Sharp, P. J., and Chalmers, K. J. 2001. Trends in genetic and genome analyses in wheat: a review. *Aust. J. Agric. Res.*, **52**: 1043-1077.

Langridge, P., Paltridge, N., and Fincher, G. 2006. Functional genomics of abiotic stress tolerance in cereals. *Briefing in functional genomics and proteomics.*, **4**: 343- 354.

Latifa, B., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Mimouni, H. 2011. Assessment of the Phenotypic Variation Within Two- And Six-rowed Barley (*Hordeum Vulgare* L.) Breeding Lines Grown Under Semi-Arid Conditions. *Advances in Environmental Biology.*, **5(7)**: 1454-1460.

- Lefebvre, V., Poormohammad Kiani, S., and Durant-Tardif, M. 2009.** A focus on natural variation for abiotic constraints response in a model species *Arabidopsis thaliana*. *International Journal of molecular sciences.*, **10**: 3547-3582
- Lefi, E., Gulias, J., Cifre, J., Ben Yones, M., and Medrano, H. 2004.** Drought effects on the dynamics of leaf production and senescence in field-grown *Medicago arborea* and *Medicago citrina*. *Ann.Appl. Biol.*, **144**: 176 -196.
- Le Gouis, 1993.** Grain filling and shoot growth of two-row and six-row winter barley varieties. *Agronomie.*, **13**: 545-552.
- Le Gouis, J., Delebarre, O., Beghin, D., Heumez, E., Pluchard, P. 1999.** Nitrogen uptake and utilization efficiency of two-row and six-row winter barley cultivars grown at two N levels. *Eur. J. Agron.*, **10**: 73-79.
- Lepoivre, P. 2003.** *Phytopathologie: Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte.* De Boeck Supérieur, 27-28
- Liller, C.B., Neuhaus, R., von Korff, M., Koornneef, M., van Esse, W. 2015.** Mutations in barley row type genes have pleiotropic effects on shoot branching. *PLoS One* 10, e0140246. doi:10.1371/journal.pone.0140246
- Lopes, M. S., Reynolds, M. P. 2012.** Stay-green in spring wheat can be determined by spectral reflectance measurements (normalized difference vegetation index) independently from phenology. *J. Exp. Bot.*, **63**: 3789–3798.
- Maccaferri, M., Sanguineti, M. C., Natoli, E., Araus-Ortega, J. L., and Bensalem, M. 2006.** A panel of elite accessions of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) suitable for association mapping studies. *Plant Genet. Resour.*, **4**: 79–85.
- Madić, M., Đurović, D., Paunović, A., Knežević, D., Jelić, M. 2016.** Grain yield and yield components in spring malting barley. VII International Scientific Agriculture Symposium “Agrosym 2016”. (Jahorina, October 06 – 09 2016, Bosnia and Herzegovina), 467-471.
- MADR. 2014.** Ministère de l'agriculture et du développement rural. Serie B, Statistiques Agricoles. DSASI.
- Mansour, E., Abdul-Hamid, M.I., Yasin, M.T., Qabil, N., Attia, A. 2017.** Identifying drought-tolerant genotype of barley and their responses to various irrigation levels in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management.*, **194**: 58–67.
- Marquez-Cedillo, L.A., Hayes, P.M., Kleinhofs, A., Legge, W.G., Rossbagle, B.G., Ato, K., Vilrich, S.E., Wesenberg, D.M. 2001.** QTL analysis of agronomic traits in barley based on the doubled haploid progeny of two elite North American varieties representing different germplasm groups. *Theoretical and Applied Genetics.*, **103**: 625-637.
- Martines, D.E. and Guiamet, J.J. 2004.** Distortion of the SPAD 502 chlorophyll meter readings by changes in irradiance and leaf water status. *Agronomie.*, **24**: 41-46.

- Marutani, Y., Yamauchi, Y., Miyoshi, K., Inoue Ikeda, K., Mizutani, M., and Sugimoto, Y. 2014.** Regulation of photochemical energy transfer accompanied by structural changes in thylakoid membranes of heat-stressed wheat. *International Journal of Molecular Sciences*, **15**: 23042-23058.
- Masoud, H., Omid, R. Z., Roohollah, A. S., Fatemeh, E., and Heather, D. 2019.** Evaluating Winter Barley Cultivar Using Data Envelopment Analysis Models. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 11, No. 6.
- Megahed, F. M. A., El-Khawaga, A. A., Ali, M. M. A., and Hassan, A. I. A. 2018.** Stability analysis of barley genotypes under different water stress levels. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, **45(5)**: 1521-1545.
- Megherbi, A., Mehdadi, Z., Toumi, F., Moueddene, K., and 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
- Mehrdelan, M., Marjani, A., Reihani, M., Ragbar, T., Masoumi, K. 2013.** Reviewing changes of yield relationship with yield components of promising genotypes of rainfed barley by path analysis. *Int J Farm Allied Sci.*, **2(S)**:1226–1232.
- Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Hadj Sahraoui, A., Harkati, N. 2006.** Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semiaride. *Sécheresse*, **17** : 507-513.
- Menad, A. 2008.** Rythme de développement, utilisation de l'eau et rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) sous climat méditerranéen. Mémoire de magister, ENSA, El Harrach, 70pp.
- Menad, A., Meziani, N., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. 2011.** Analyse de l'interaction génotype x milieu du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.). Application des modèles AMMI et la régression conjointe. *Nature & Technologie (Université Chlef)*, **5**: 99- 106.
- Merah, O., Monneveux, P. 2014.** Contribution of Different Organs to Grain Filling in Durum Wheat under Mediterranean Conditions. Contribution of Post-Anthesis Photosynthesis and Remobilization. *Journal of Agronomy and Crop Science*.
- Meziani, N., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Menad, A., Benbelkacem, A. 2011.** Performance and adaptation of Barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) to diverse locations. *Advances in Environmental Biology*, **5**: 1465-1472.
- Mickelson, S. 2003.** Mapping of QTL associated with nitrogen storage and remobilization in barley (*Hordeum vulgare* L.) leaves. *Journal of Experimental Botany*, **54(383)**: 801–812.
- Miles, C., and Wayne, M. 2008.** Quantitative trait locus (QTL) analysis. *Nature Education*, 1 (1).
- Miskin, K. E., Rasmusson, O. C., and Moss, D. N. 1972.** Inheritance and physiological effects of stomatal frequency in barley crop. *Science*, **12**: 780- 783.

- Mohammadi, R., and Ahmed, A. 2008.** Comparison of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in variable environments. *Euphytica.*, **159**: 419-432.
- Mohammadi, R., Amri, A. 2011.** Analysis of genotype x environment interactions for grain yield in durum wheat. *Crop Sci.*, **49**: 1177-1186.
- Mohammadi, R., Farshadfar, E., and Amri, A. 2016.** Comparison of rank-based stability statistics for grain yield in rainfed durum wheat. *New Zealand J. Crop & Hort. Sci.*, **44(1)**: 25-40.
- Molina-Cano, J.L., Moralejo, M., Igartua, E., Romagosa, I. 1999.** Further evidence supporting Morocco as a center of origin of barley. *Theor. Appl. Genet.*, **98**: 913–918.
- Monneveux, P. 1991.** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales. In *Amélioration des plantes par l'adaptation aux milieux aride*. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. 165-186.
- Monneveux, D., et Depigny-This. 1995.** Intégration des approches physiologiques, génétiques et moléculaires pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse chez les céréales. In: *Quel avenir pour l'amélioration des plantes ?* Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris. pp: 149-163.
- Monneveux, P., et This, D. 1997.** La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés. *Sécheresse.*, **8**: 29-37.
- Moran, M. S. 2000.** Thermal infrared measurement as an indicator of plant ecosystem health. USDA-ARS Southwest Watershed Research Center. Tucson, Arizona.
- Moran, S. M., Hymer, D. C., Qi, J., and Sano, E. E. 2000.** Soil moisture evaluation using multitemporal synthetic aperture radar (sar) in semiarid rangeland. *Agricultural and Forest Meteorology.*, **105(1-3)**: 69-80.
- Morgan, J. M. 1984.** Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology.*, **35**: 299–319
- Mouellef, A. 2010.** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire magister, Faculté de biologie. Département de Biologie Végétale et Écologie, Université Constantine, 82 p.
- Nadel D., Weiss E., Simchoni O., Tsatskin A., Danin A., Kislev, M. 2004.** Stone age hut in Israel yields world's oldest evidence of bedding. *Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A* **101**: 6821– 6826.
- Najimi, B., El Jaafari, S., Jlibène, M., et Jacquemin, J. 2003.** “Applications des marqueurs moléculaires dans l'amélioration du blé tendre pour la résistance aux maladies et aux insectes”, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **7(1)**: 17 - 35.
- Naruoka, Y, Sherman, J. D., Lanning, S. P., Blake, N. K., Martin, J. M., Talbert, L. E. 2012.** Genetic analysis of green leaf duration in spring wheat. *Crop Sci.*, **52**: 99–109.
- Nassar, R. and Huhn, M. 1987.** Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for non-parametric measures of phenotypic stability. *Biometrics.*, **43**: 45–53.

- 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 d'orge (*Hordeum vulgare*) soumis à la sécheresse. Thèse doctorat en Sciences, Université Sétif. 86p
- Newman, C., Newman, R. 2006.** A brief history of barley foods. *Cereal Foods World.*, **51**:4–7.
- Newman, R. K., Newman, C. W. 2008.** Barley for food and health: science, technology, and products. Wiley, Hoboken.
- Nezhadahmadi, A, Proadhan, Z. H., Faruq, G. 2013.** Drought tolerance in wheat. *The Scientific World Journal*: 610721. doi: 10.1155/2013/610721.
- Niazi-Fard, A., Nouri, F., Nouri, A., Yoosefi, B., Moradi, A., Zareei, A. 2012.** Investigation of the relationship between grain yield and yield components under normal and terminal drought stress conditions in advanced barley lines (*Hordeum vulgare* L.) using path analysis in Kermanshah province. *Int J Agric Crop Sci.*, **4(24)**: 1885–1887.
- Nikkhah, H.R., Saberi, M.H., and Mahlouji, M. 2010.** Study of effective traits on grain yield of two and six row barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) under terminal drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences.*, **12(2)**: 170-184.
- Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, L., Zerargui, H., Benmahammed, A., Bouzerzour, H. 2010.** Performances comparées des variétés de blé dur : Mohammed Ben Bachir, Waha et Boussalam dans la wilaya de Sétif. *Céréaliculture.*, **54**: 23-28.
- Oosterom, V. E., Ceccarelli, S., and Peacock, J. M. 1993.** Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments. *J. Agri. Sci.*, **121**: 307-313.
- Orabi, J., Backes, G., Wolday, A., Yahyaoui, A., Jahoor, A. 2007.** The Horn of Africa as a centre of barley diversification and a potential domestication site. *Theor. Appl. Genet.*, **114**: 1117–1127.
- Ortiz, R., Mohamed, S.F., Madsen, S., Weibull, J., Christianseb, J.L. 2001.** Assessment of phenotypic variation in winter barley in Scandinavia. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil Plant Sci.*, **51**: 151–159.
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., Tran, L.S. 2014.** Response of plants to water stress. *Front Plant Sci* 5:86.
- O'toole, J. C., and Cruz, R. C. 1980.** response of leaf water potential ,stomatal resistance, and leaf rolling to water stress . *Plant physiology.*, **51**: 993- 997.
- Oulmi, A., Benmahammed, A., Laala, Z., Adjabi, A., Bouzerzour, H. 2014.** Phenotypic Variability and Relations between the Morpho-Physiological Traits of three F5 Populations of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Evaluated Under Semi-Arid Conditions. *Adv. Environ. Biol.*, **8**: 436-443.
- Parrott, D. L., Martin, J. M., and Fischer, A. M. 2010.** Analysis of barley (*Hordeum vulgare*) leaf senescence and protease gene expression: a family C1A cysteine protease is specifically induced under conditions characterized by high carbohydrate, but how to moderate nitrogen levels. *The New Phytologist.*, **187(2)**: 313–31.

- Pask, A., Pask, J.D., Sylvester-Bradley, R., Jameison, P.D., Foulkes, M.J. 2012.** Quantifying how winter wheat crops accumulate and use nitrogen reserves during growth. *Field. Crops Res.*, **126**: 104–118.
- Passioura, J. 2004.** Increasing crop productivity when water is scarce: from breeding to field management. In proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet" Brisbane, Australia. 12 pages, www.regional.org-au/au/cs.
- Patterson, T. G., and Moss, D. N. 1979.** Senescence in fieldgrown wheat. *Crop Sci.*, **19**: 635-640.
- Paunovic, M. M. A., Djurovic, D., Knezevic, D. 2005.** Correlations and 'path' coefficient analysis for yield and yield components in winter barley. *Acta Agric Serbica.*, **10(20)**: 3–9.
- Poormohammad Kiani, S. 2007.** Analyse génétique des réponses physiologiques du tournesol (*Helianthus annuus* L.) soumis à la sécheresse. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse. 214p.
- Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Poczai, P., and Siddique, K. H. M. 2019.** STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. *Applications in Plant Sciences.*, **7(1)**: e1211.
- Quinn, G. P., and Keough, M. J. 2002.** *Experimental Design and Data Analysis for Biologists.* Cambridge University Press, 557 pp.
- Radford, P. K., 1967.** Growth analysis formulae. The uses and abuses. *Crop Science.*, **7**: 171-175.
- Ramazani, S. H. R., and Abdipour, M. 2018.** Statistical Analysis of Grain Yield in Iranian Cultivars of Barley (*Hordeum vulgare*). *Agricultural research.*, **8**: 239–246
- Ramla, D., Yakhou, M. S., Bilek, N., Hamou, M., Hannachi, A., Aissat, A., and Mekliche-Hanifi, L. 2016.** Grain Yield Stability Analysis of Barley Doubled Haploid Lines in Algerian Semi-arid Zones. *Asian Journal of Crop Science.*, **8**: 43-51.
- Ramsay, L., Comadran, J., Druka, A., Marshall, D. F., Thomas, W. T. B., Macaulay, M., MacKenzie, K., Simpson, C., Fuller, J., Bonar, N., Hayes, P.M., Lundqvist, U., Franckowiak, J. D., Close, T. J., Muehlbauer, G. J., Waugh, R. 2011.** INTERMEDIUM-C, a modifier of lateral spikelet fertility in barley, is an ortholog of the maize domestication gene TEOSINTE BRANCHED 1. *Nat Genet.*, **43**:169-U125.
- Rawson, H. M., Hindmarsh, J. H., Fisher, R. A. and Stockman, Y. M. 1983.** Changes in leaf photosynthesis with plant ontogeny and relationships with yield per ear in wheat cultivars and 120 progeny. *Aust. J. Plant Physiol.*, **10**: 503-514.
- Rebetzke, G. J., Condon, A. G., Richards, R. A., and Farquhar, G. D. 2002.** Selection for Reduced Carbon Isotope Discrimination Increases Aerial Biomass and Grain Yield of Rainfed Bread Wheat. *Crop Sci.* **42**:739–745.
- Reynolds, M. P., Balota, M., Delgato, M. I. B., Amani, I., and Fischer, R. A. 1994.** Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. *Aust. J. Plant. Physiology*, **21**: 717-730.

- Reynolds, M., Dreccer, F., Trethowan, R. 2007.** Drought-adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. *J. Exp. Bot.*, **58**: 177–186.
- Rharrabti, Y., Villegas, D., Garcia Del Moral, L. F., Aparicio, N., Elhani, S. and Royo, C. 2001.** Environmental and genetic determination of protein content and grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Plant Breeding* 120, 381-388.
- Richards, R. A., Rebtzke, G. J., Van Herwaarden, A. F., Dugganb, B. L., Condon, A.G. 1997.** Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dry land Agriculture.*, **36**: 254-266.
- Richards, R. A., Rebetzke, G. J., Condon, A. G., Van Herwaar-Den, A. F. 2002.** Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci.*, **42**:111-121.
- Rivero, R., Kojima, M., Gepstein, A., Sakakibara, H., Mittler, R., Gepstein, S., Blumwald, E. 2007.** Delayed leaf senescence induces extreme drought tolerance in a flowering plant. *Proc Natl Acad Sci U S A.*, **104**: 19631–19636.
- Robinson, R.A. 2007.** Crop histories, 2nd ed., Rev. Sharebook Publishing. www.sharebooks.ca
- Rong-hual, L., Pei-pol, G., Baumz, M., Grand, S., and Ceccarelli, S. 2006.** Evaluation of Chlorophyll Content and Fluorescence Parameters as Indicators of Drought Tolerance in Barley. *Agricultural Sciences in China.*, **5(10)**:751-757.
- Rose, L. W., Das, M. K., Taliaferro, C. M. 2008.** A comparison of dry matter yield stability assessment methods for small numbers of genotypes of Bermudagrass. *Euphytica.*, **164**: 19-25.
- Rouphael, Y., Mounaimne, A. H., Ismail, A., Mendoza-De Gyves, E., Rivera, C. M., and Colla, G. 2010.** Modeling individual leaf area of rose (*Rosa hybrida* L.) based on leaf length and width measurement. *Photosynthetica.*, **48**, 9-15.
- Samars, Y., Bressan, R. A., Csonka, L. N., Garcia-Rios, M. G., Paino D’Urzo, M., and Rhodes, D. 1995.** Proline accumulation during drought and salinity. In: *Environment and plant metabolism*, Smirnoff N, ed. Bios scientific publisher, Oxford.
- Samarah, N. H. 2005.** Effects of drought stress on growth and yield of barley., **25(1)**: 145: 149.
- Samarah, N. H., Alqudah, A. M., Amayreh, J. A., McAndrews, G. M. 2009.** The effect of late-terminal drought stress on yield components of four barley cultivars. *Journal of Agronomy& Crop Science.*, **195**: 427– 441.
- Sanchez, F.J., Manzanares, M.D. E., Andres, E.F., Tenorio, J.L., Schellenbaum, L., Sprenger, N., Schuepp, H., Wiemken, A., and Boller, T. 1999.** Effects of drought, transgenic expression of afuctan synthesizing enzyme and of mycorrhizal symbiosis on growth and soluble carbohydrate pools in tobacco plants. *New phytol.*, **142**: 67-77.
- Sanchez, A., Subudhi, P., Rosenow, D., Nguyen, H. 2002.** Mapping QTLs associated with drought resistance in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Plant Molecular Biology.*, **48**: 713–726.

- Sarkar, A., Mogili, T., Chaturvedi, K. 2003.** Variability in specific weight in mulberry germplasm and its inheritance pattern. *International Journal of Industrial Entomology.*, **7(1)** : 69-73.
- Sassi, K., Abid, G., Jemni, L., Dridi-Al Mohandes, B., et 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.
- Schippers, J. H. M., Jing, H. C., Hille, J., Dijkwel, P. P. 2007.** Developmental and hormonal control of leaf senescence. In: Gan S (ed) *Senescence processes in plants*. Blackwell, Oxford, pp 145–170.
- Schmalenbach, I., and Pillen, K. 2009.** Detection and verification of malting quality QTLs using wild barley introgression lines. *TAG. Theoretical and Applied Genetics. Theoretische Und Angewandte Genetik.*, **118(8)**, 1411–27.
- Schrevens, E., and Raeymaeckers, L. 1992.** Colour characterization of golden delicious apples using digital image processing. *Acta Horticulturae.*, **304**: 159-166.
- Scofield T., Evans J., Cook M. G., Wardlaw I. F. 1988.** Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust.J.Plant physiol*, 4: 785-797p.
- Seyed, Y. S. L., Rouhollah, M., Mosharraf, M. H., and Ismail, M. M. R. 2012.** Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses, Water Stress, Prof. Ismail Md. Mofizur Rahman (Ed.), ISBN: 978-953-307-963-9, In Tech, <http://www.intechopen.com/books/water-stress/water-stress-inplantscauses-effects-and-responses>.
- Sharma, R. C., Smith, E. L. 1986.** Selection for high and low harvest index in winter wheat populations. *Crop Sci.*, **26**: 1147-1150.
- Shepherd, T., and Griffiths, D. W. 2006.** The effects of stress on plant cuticular waxes. *New Phytol.*, **171**: 469–499.
- Shobbar, Z. S., Shahbazi, M., and Tafreshi, R. S. 2017.** Barley stem reserves and yield maintenance under terminal drought: molecular dissection of fructan biosynthesis and remobilization. *Journal of Plant Physiology and Pathology.*, **5(5)**:68.
- Shukla, G.K. 1972.** Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity.*, **29**: 237–245.
- Sinebo, W., Gretzmacher, R., Edelbauer, A. 2004.** Genotypic variation for nitrogen use efficiency in Ethiopian barley. *Field Crops Res.*, **85**: 43–60.
- Singh, T. N., Paleg, L. G., and Aspinall, D. 1973.** Nitrogen metabolism and growth in barley plant during water stress. *Aust. J. Biol. Sci.*, **26**: 45-56.
- Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M., et Zid, E., 2005.** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance (Inrat)., **16 (3)** : 225-229.
- Slatyer, R. O. 1967.** *Plant-water relationships*. Academic Press, London.
- Spagnoletti-Zeuli, T. L., and Qualset, P. O. 1990.** “Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat”, *Plant Breeding.*, **105**: 189 -202.

Subhashchandra, B., Lohithaswa, H. C., Desais, S. A., Hanchinal, R. R., Kalappanavar, I. K., Math, K. K., and Salimath, P. M. 2009. Assessment of genetic variability and relationship between genetic diversity and transgressive segregation in tetraploid wheat. *Karnataka J. Agric. Sci.*, **22**: 36 -38.

Subira, J., Álvaro, F., Luis F., García del Moral., Royo, C. 2015. Breeding effects on the cultivar × environment interaction of durum wheat yield., *68*: 78: 88.

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

Tardieu, F., and Simonneau, T. 1998. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: Modeling isohydric and isohydric behaviors, *J. Exp. Bot.*, **49**: 419-432.

Tardieu, F. 2005. Plant tolerance to water deficit: Physical limits and possibilities for progress. *Geo Sci.*, **337**: 57 -67.

Temagoult, M. 2009. Analyse de la variabilité de la réponse au stress hydrique chez des lignées recombinantes de Tournesol (*Helianthus annuus* L.). Mémoire de magistère. Univ. Mentouri. Constantine. 106p.

Tembe, K.O., Chemining'wa, G.N., Ambukoand, J., Owino, W. 2017. Effect of water stress on yield and physiological traits among selected African tomato (*Solanum lycopersicum*) land races. *IJAAR.*, **10(2)**: 78-85.

Teulat-Merah, B., Zoumarou, W., Douimi, R., Ben Salem, M., Bahri, H., et This, D. 2001. Etude de la tolérance à la sécheresse chez les céréales : l'orge comme modèle biologique, approche QTL. In HAMON SERGE (ED.). *Des modèles biologiques à l'amélioration des plantes*. Paris (FRA); Montréal : IRD ; AUF, p. 493-516. (Colloques et Séminaires). Journées Scientifiques du Réseau AUF: Biotechnologies Végétales : Amélioration des plantes et Sécurité Alimentaire 7., Montpellier (FRA), 2000/07/03-05. ISBN 2-7099-1472-7.

Tewolde, H., Fernandez, C., Erickson, C. 2006. Wheat cultivars adapted to post-heading high temperature stress. *Journal of Agronomy & Crop Science.*, **192**: 111–120.

Thabuis, A., Palloix, A., Servin, B., Daubeze, A. M., and Signoret, P. 2004. Marker-assisted introgression of 4 *Phytophthora capsici* resistance QTL alleles into a bell pepper line: validation of additive and epistatic effects. *Molecular Breeding*, **14**: 9-20.

Thennarasu, K. 1995. On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. PhD thesis, PJ School, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India.

This, D., et This, P. 1993. Les principaux types de marqueurs moléculaires applicables à la sélection pour la tolérance à la sécheresse. Avantages et limites. In : *Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale*. Colloque INRA-ENSAAGROPOLIS, Montpellier (France), à paraître (Colloque INRA n° 64).

- Thomas, H., Stoddart, J. 1980.** Leaf senescence. *Annu Rev Plant Physiol.*, **31**:83–111.
- Thomas, H., and Smart, C.M. 1993.** Crops that stay green. *Ann. Applied Biol.*, **123**: 193-219.
- Thomas, H., Ougham, H. 2014.** The stay-green trait. *Journal of Experimental Botany.*, **65** (14): 3889–3900.
- Thornsberry, J. M., Goodman, M. M., Doebley, J., Kresovich, S., Nielsen, D., and Buckler, E. S. 2001.** Dwarf polymorphisms associate with variation in flowering time. *Nature Genetics.*, **28**: 286- 289.
- Tohru, K., Müjde, K., Celaledin, B., Ken-ichi, T., and Masanori, I. 2018.** Harvest index is a critical factor influencing the grain yield of diverse wheat species under rain-fed conditions in the Mediterranean zone of southeastern Turkey and northern Syria. *Plant Production Science.*, **21**(2): 71–82.
- Tuberosa, R. 2012.** Phenotyping for drought tolerance of crops in the genomics era. *Frontiers in Physiology* **3**:347.
- Turner, N. C. 1979.** Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plant. In: "stress physiology in crop plants", (H.W. Musselnd et, R.C Staples, ed, Wiley, (interscience) New York, 343- 372.
- Turner, N. C. 1986.** Adaptation to water deficits: A changing perspective. *Aust J Plant Physiol.*, **13**: 175-190.
- Turner, N. C., Wright, G. C., and Siddique, K. H. M. 2001.** Adaptation of grain legume to water limited environments. *Adv Agron.*, **71**: 193-231.
- Tyree, M. T., and Jarvis, P. G. 1982.** Water in tissues and cells. In : Lange OL, Nobel PS, Osmond CB, Ziegler H, eds. *Encyclopedia of plant physiology. New Series, Vol. 12B Physiological plant ecology II., Water relations and carbon assimilation.* Springer-Verlag, Berlin : 36-77
- Uauy, C., Distelfeld, A., Fahima, T., Blechl, A., and Dubcovsky, J. 2006.** A NAC Gene regulating senescence improves grain protein, zinc, and iron content in wheat. *Science (New York, N.Y.)*, **314**(5803): 1298–301.
- Uddling, J., Gelang-Alfredsson, J., Piikki, K., and Pleijel, H. 2007.** Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynth. Res.*, **91**: 37-46.
- Ullah, I. 2004.** "Inheritance of important traits in bread wheat using diallel analysis", PhD, Thesis, NWFP Agri. Univ., Peshawar, Pakistan.
- USDA. 2018.** United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service, Office of Global Analysis, Washington, DC.
- USDA.2019.** United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service, Office of Global Analysis. February 2019, <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>
- Vaezi, B., Bavei, V., Shiran, B. 2010.** Screening of barley genotypes for drought tolerance by agrophysiological traits in field condition. *Afr J Agric Res.*, **5**: 881–892.

- Vahid, B., Behrouz, V., Moslem, A., Mohamad, R., Kamali, J., and Mozafar, R. 2011.** Screening of Tolerant Spring Barleys for Terminal Heat Stress: Different Importance of Yield Components in Barleys with Different Row Type. *International Journal of Plant Breeding and Genetics.*, **5**: 175-193.
- Vasquez-Tello, A., Zuily-Fodil, Y., Pham Thi, A. T., and Vieira Da Silva, J. B. 1990.** Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in Phaseolus and Vigna species. *J Exp Bot.*, **41** : 827-32.
- Verma, A., Kumar, V., Kharab, A. and Singh, G. 2019.** Quantification of $G \times E$ interaction for feed barley genotypes by parametric and non-parametric measures. *Bangladesh Journal of Botany.*, **48(1)**: 33-42.
- Vesna, K., Dejan, D., Miroslav, Z., Ana, N., Gordana, Š. M., Željko, K., Goran, A., Nenad, Đ. 2018.** Grain filling parameters of two- and six-rowed barley genotypes in terminal drought conditions. *Italian Journal of Agrometeorology* - 2/2018
- Virlouvet, L. 2011.** Identification et caractérisation de gènes impliqués dans la variation de caractères quantitatifs affectés par la sécheresse chez le maïs, Thèse doctorat en Sciences Université Paris-sud 11 U.F.R. Scientifique d'Orsay. 247 p.
- Wang, P., Zhou, G., Yu, H., Yu, S. 2011.** Fine mapping a major QTL for flag leaf size and yield-related traits in rice. *Theor. Appl. Genet.*, **123**: 1319-1330.
- Wang, Y., Ren, X., Sun, D., and Sun, G. 2015.** Origin of worldwide cultivated barley revealed by NAM-1 gene and grain protein content. *Front. Plant Sci.* **6**, 803.
- Wardlaw, I. F., Willembrik, J. 1994.** Carbohydrate storage and mobilisation by the culm of wheat between heading and grain maturity: The relation of sucrose synthase and sucrose phosphate synthase. *Aust. J. Plant Physiol.*, **21** :255-271.
- Welsh, J., and McClelland, M. 1990.** Fingerprinting genomes using PCR with arbitrary primers *Nucl Acids Res.*, **19**: 861-866.
- Williams, J. G. K., Kubelik, A. R., Livak, K. J., Rafalski, J. A., and Tingey, S. V. 1990.** DNA Polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers, *Nucleic Acids Research*, **18**: 6531 - 6535.
- Witcombe, J. R., Hollington, P.A., Howarth, C.J., Reader, S., Steel, K. A. 2009.** Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, **363**: 703-716.
- Wricke, G. 1962.** Übereine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung* **47**: 92-96.
- Yağmur, M., Akkol, S., Arpali, D. 2018.** Adaptive lasso analysis for grain yield and yield components in two-rowed barley under rainfed conditions. *Agricultural Sciences. Plant breeding.* Tome **71**, No **9**.
- Yan, W., Rajcan, I. 2002.** Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science.*, **42**: 11-20.
- Yang, J., Wang, Z., Zhu, Q. 1997.** Photosynthetic characteristics, dry matter accumulation and its translocation in inter-specific hybrid rice. *Acta Agron. Sincia.*, **23**: 82-88.

Ykhlef, N. 2001. Photosynthèse, Activité photochimique et tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* ; Desf). Thèse de doctorat. Univ. Mentouri .Constantine.

ŽÁKOVÁ, M., and BENKOVÁ, M. 2004 .Genetic Diversity of Genetic Resources of Winter Barley Maintained in the Genebank in Slovakia: *Czech J. Genet. Plant Breed.*, **40(4)**: 118–126.

Zhang, J., Nguyen, H. T., and Blum, A. 1999. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *J. Exp. Bot.*, **50**: 291-302.

Zhu, Q., Zhang, Z., Yang, J. and Wang, Z. 1997. Sourcesink characteristics related with the yield of inter-sub specific hybrid rice. *Sci. Agric. Sinica.*, **30**: 52–59.



ملخص:

هذه الدراسة هي عبارة عن مساهمة في إشكالية انتخاب الأصناف في الجزائر. دراسة انتقاء وتكيف بعض الأنماط الوراثية من الشعير (*Hordeum vulgare L*) في الظروف المناخية الزراعية شبه الجافة بمنطقة سطيف. الهدف من هذه الدراسة هو تقييم إنتاجية وتكيف بعض الأنماط الوراثية القديمة والجديدة من الشعير ذو خطين و ستة خطوط، من أجل اختيار الأنماط الوراثية عالية الأداء المحتملة للاجهادات اللاحيوية التي تميز المناطق شبه الجافة. ركزت الدراسة على تقييم وتوصيف العديد من الصفات الفينومورفولوجية والفيزيولوجية التي تساهم في تحسين تحمل الاجهادات اللاحيوية ، وكذلك استخدام تقنية تحليل الصور الرقمية (NIA) لتقدير الشيوخة والانعكاس الضوئي الورقي في اختيار الأنماط الجينية المتكيفة مع الظروف المناخية لمنطقة الدراسة. أجريت هذه الدراسة في المحطة التجريبية الزراعية التابعة للمعهد التقني للمحاصيل الحقلية (ITGC) بسطيف خلال الموسمين الزراعيين 2018/2017 ، 2019/2018؛ تضمنت التجربة دراسة 33 نمطاً وراثياً من الشعير. يشير تحليل التباين إلى وجود تغيرات معتبرة ما بين العشيرتين (ذات الخطين و ستة خطوط) لمعظم المتغيرات المقاسة. تُظهر هذه النتائج أن الشعير المكون من 6 صفوف أكثر إنتاجية (أكثر من 16.28٪) ، مما يشير إلى أفضل أداء للشعير سداسي الصفوف تحت الظروف شبه الجافة. أثبت تحليل الارتباط وجود اختلاف كبير بين نوعي الصفوف بالنسبة للمردود الحبي ومكوناته و بعض الصفات المرتبطة به. يرتبط المردود ارتباطاً معنوياً بعدد السنابل / م²، وزن ألف حبة ومؤشر الحصاد للشعير ذو صفين، بينما ارتبط ارتباطاً معنوياً بعدد السنابل / م²، عدد الحبات في السنبله ومؤشر الحصاد للشعير ذو 6 صفوف. أظهرت نتائج الانحدار أن مؤشر الحصاد، محصول القش، الانعكاس الضوئي الورقي عند طول الموجة الحمراء، عدد الحبوب في السنبله وعدد السنابل في المتر المربع كان لها تأثيرات معنوية إيجابية مباشرة على المردود. تسمح هذه النتائج باستخدام هذه الصفات في الانتخاب لتحسين المردود الحبي. تضمنت الدراسة إجراء تحليل إحصائي حول مدى تكيف واستقرار المردود الحبي للأنماط الجينية الستة عشر خلال ثلاث مواسم زراعية متتالية (2017 إلى 2019) باستخدام بعض مؤشرات الاستقرار. أظهرت النتائج وجود تباين في المتغيرات المدروسة، مما يشير إلى أن مؤشرات الاستقرار هي المؤشرات المناسبة لتحديد الأنماط الوراثية للشعير الأكثر استقراراً في المردود الحبي تحت ظروف بيئية مختلفة. الكلمات المفتاحية: الشعير، شبه الجافة، الانتخاب، استقرار المردود، التسامح، الصورة الرقمية، الشيوخة الورقية والانعكاس الانعكاس الضوئي الورقي.

Résumé :

La présente étude est une contribution sur la problématique de la sélection variétale en Algérie. L'étude de sélection et de l'adaptation de quelques génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions agro-climatiques semi-arides de la région de Sétif. L'objectif du travail est l'évaluation de la productivité et de l'adaptation de quelques génotypes anciens et nouveaux d'orge à 2 et à 6 rangs. Le but est de sélectionner les génotypes performants et tolérants aux stress abiotiques qui caractérisent la région semi-aride. L'évaluation des caractères adaptatifs d'ordre phénologiques, morphologiques et physiologiques, participe à l'amélioration de la tolérance. Ainsi que l'utilisation de la technologie d'analyse d'images numériques (NIA) pour estimer la sénescence et la réflectance dans la sélection des génotypes tolérants. Les essais ont été conduits au niveau de la station expérimentale agricole de l'institut technique des grandes cultures (ITGC) de Sétif au cours des deux campagnes agricoles 2017/ 2018, 2018/ 2019. L'expérimentation porte sur le suivi de 33 génotypes. Sur la base des résultats obtenus, la présence d'une variabilité appréciable est aussi bien constatée au sein de la population des orges à 2 comme chez celles à 6 rangs pour la majorité des variables mesurés. Ces résultats montrent que les orges à 6 rangs sont plus productives (plus de 16.28 %), ce qui suggère la meilleure performance des orges à 6 rangs sous les conditions semi-arides. L'analyse des corrélations a révélé une variation considérable entre les types de rangs pour le rendement, les composantes du rendement et les caractères agronomiques associés. Le rendement est fortement lié avec le nombre d'épis/ m², le poids de mille grains, et l'indice de récolte chez les orges à 2 rangs, alors qu'il est corrélé avec le nombre d'épis/ m², le nombre de grains par épi, et l'indice de récolte chez les 6 rangs. Les résultats de la régression progressive montrent que l'indice de récolte, le rendement en paille, la réflectance en rouge, le nombre de grains par épi et le nombre des épis par mètre carré ont des effets directs positifs sur le rendement en grains. Ces caractères peuvent être utilisées en sélection afin d'améliorer le rendement. L'étude de l'adaptabilité et la stabilité du rendement des seize génotypes, a été menée durant trois campagnes agricoles (2017 à 2019) en utilisant certains indices de stabilité paramétriques et non paramétriques. Les résultats indiquent la présence de la variabilité pour les paramètres étudiés. Ce qui suggère que les méthodes paramétriques et non paramétriques sont les outils appropriés pour identifier les génotypes d'orge les plus stables dans diverses conditions environnementales.

Mots clés: *Hordeum vulgare*, semi-aride, sélection, stabilité du rendement, tolérance, image numérique, sénescence et la réflectance.

Abstract:

The present study is a contribution on the varietal selection problematic in Algeria. The selection and adaptation study of some barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) in semi-arid agro-climatic conditions of Setif region. The work objective is to evaluate productivity and adaptation of some old and new genotypes of 2 and 6 row's barley. The aim is to select high-performance genotypes that are tolerant to abiotic stresses which characterize semi-arid region. The adaptive characteristics evaluation of a phenological, morphological and physiological nature, contributes to the tolerance improvement. As well as the digital image analysis (NIA) use technology to estimate senescence and reflectance in tolerant genotypes selection. The tests were conducted at the Agricultural Experiment Station of the Technical Institute for Field Crops (ITGC) in Setif during two agricultural seasons 2017/ 2018 and 2018/ 2019. The experiment involves monitoring 33 genotypes. The results obtained show the presence of an appreciable variability, well noted within 2 and 6 row barley population for majority of variables measured. These results show that 6-row barley is more productive (over 16.28%), which suggests better performance of 6-row barley under semi-arid conditions. Correlation analysis revealed considerable variation between row types for yield, yield components and associated agronomic traits. The yield is strongly linked with the ears number/ m², a thousand grains weight and the harvest index in 2-row barley, while it is correlated with the ears number/ m², the number kernels per ear, and the harvest index for 6 rows barley. The results of stepwise regression showed that harvest index, the straw yield, reflectance red, the grains per spike number and spikes per square meter number have positive direct effects on grain yield. These traits can be used in selection to improve yield. The adaptability and yield stability study of sixteen genotypes was conducted during three growing seasons (2017-2019) using some parametric stability indices and non parametric. The results indicate variability presence for parameters studied. This suggests that parametric and non-parametric methods are appropriate tools to identify most stable barley genotypes under various environmental conditions.

Key words: *Hordeum vulgare*, semi-arid, selection, yield stability, tolerance, digital image, senescence and reflectance.

ملخص:

هذه الدراسة هي عبارة عن مساهمة في إشكالية انتخاب الأصناف في الجزائر. دراسة انتقاء وتكييف بعض الأنماط الوراثية من الشعير (*Hordeum vulgare L*) في الظروف المناخية الزراعية شبه الجافة بمنطقة سطيف. الهدف من هذه الدراسة هو تقييم إنتاجية وتكيف بعض الأنماط الوراثية القديمة والجديدة من الشعير ذو خطين و ستة خطوط، من أجل اختيار الأنماط الوراثية عالية الأداء المتحملة للاجهادات اللاحيوية التي تميز المناطق شبه الجافة. ركزت الدراسة على تقييم وتوصيف العديد من الصفات الفينومورفولوجية والفيزيولوجية التي تساهم في تحسين تحمل الاجهادات اللاحيوية، وكذلك استخدام تقنية تحليل الصور الرقمية (NIA) لتقدير الشخوخة والانعكاس الضوئي الورقي في اختيار الأنماط الجينية المتكيفة مع الظروف المناخية لمنطقة الدراسة. أجريت هذه الدراسة في المحطة التجريبية الزراعية التابعة للمعهد التقني للمحاصيل الحقلية (ITGC) بسطيف خلال الموسمين الزراعيين 2018/2017، 2019/2018؛ تضمنت التجربة دراسة 33 نمطًا وراثيًا من الشعير. يشير تحليل التباين إلى وجود تغيرات معتبرة ما بين العشيرتين (ذات الخطين و ستة خطوط) لمعظم المتغيرات المقاسة. تُظهر هذه النتائج أن الشعير المكون من 6 صفوف أكثر إنتاجية (أكثر من 16.28٪)، مما يشير إلى أفضل أداء للشعير سداسي الصفوف تحت الظروف شبه الجافة. أثبت تحليل الارتباط وجود اختلاف كبير بين نوعي الصفوف بالنسبة للمردود الحبي ومكوناته وبعض الصفات المرتبطة به. يرتبط المردود ارتباطًا معنويًا بعدد السنابل / م²، وزن ألف حبة ومؤشر الحصاد للشعير ذو صفين، بينما ارتبط ارتباطًا معنويًا بعدد السنابل / م²، عدد الحبات في السنبله ومؤشر الحصاد للشعير ذو 6 صفوف. أظهرت نتائج الانحدار أن مؤشر الحصاد، محصول القش، الانعكاس الضوئي الورقي عند طول الموجة الحمراء، عدد الحبوب في السنبله وعدد السنابل في المتر المربع كان لها تأثيرات معنوية إيجابية مباشرة على المردود. تسمح هذه النتائج باستخدام هذه الصفات في الانتخاب لتحسين المردود الحبي. تضمنت الدراسة إجراء تحليل إحصائي حول مدى تكيف واستقرار المردود الحبي للأنماط الجينية الستة عشر خلال ثلاث مواسم زراعية متتالية (2017 إلى 2019) باستخدام بعض مؤشرات الاستقرار. أظهرت النتائج وجود تباين في المتغيرات المدروسة، مما يشير إلى أن مؤشرات الاستقرار هي المؤشرات المناسبة لتحديد الأنماط الوراثية للشعير الأكثر استقرارًا في المردود الحبي تحت ظروف بيئية مختلفة.

الكلمات المفتاحية: الشعير، شبه الجافة، الانتخاب، استقرار المردود، التسامح، الصورة الرقمية، الشخوخة الورقية والانعكاس الضوئي الورقي.

Résumé :

La présente étude est une contribution sur la problématique de la sélection variétale en Algérie. L'étude de sélection et de l'adaptation de quelques génotypes d'orge (*Hordeum vulgare L.*) en conditions agro-climatiques semi-arides de la région de Sétif. L'objectif du travail est l'évaluation de la productivité et de l'adaptation de quelques génotypes anciens et nouveaux d'orge à 2 et à 6 rangs. Le but est de sélectionner les génotypes performants et tolérants aux stress abiotiques qui caractérisent la région semi-aride. L'évaluation des caractères adaptatifs d'ordre phénologiques, morphologiques et physiologiques, participe à l'amélioration de la tolérance. Ainsi que l'utilisation de la technologie d'analyse d'images numériques (NIA) pour estimer la sénescence et la réflectance dans la sélection des génotypes tolérants. Les essais ont été conduits au niveau de la station expérimentale agricole de l'institut technique des grandes cultures (ITGC) de Sétif au cours des deux campagnes agricoles 2017/2018, 2018/2019. L'expérimentation porte sur le suivi de 33 génotypes. Sur la base des résultats obtenus, la présence d'une variabilité appréciable est aussi bien constatée au sein de la population des orges à 2 comme chez celles à 6 rangs pour la majorité des variables mesurées. Ces résultats montrent que les orges à 6 rangs sont plus productives (plus de 16.28 %), ce qui suggère la meilleure performance des orges à 6 rangs sous les conditions semi-arides. L'analyse des corrélations a révélé une variation considérable entre les types de rangs pour le rendement, les composantes du rendement et les caractères agronomiques associés. Le rendement est fortement lié avec le nombre d'épis/ m², le poids de mille grains, et l'indice de récolte chez les orges à 2 rangs, alors qu'il est corrélé avec le nombre d'épis/ m², le nombre de grains par épi, et l'indice de récolte chez les 6 rangs. Les résultats de la régression progressive montrent que l'indice de récolte, le rendement en paille, la réflectance en rouge, le nombre de grains par épi et le nombre des épis par mètre carré ont des effets directs positifs sur le rendement en grains. Ces caractères peuvent être utilisées en sélection afin d'améliorer le rendement. L'étude de l'adaptabilité et la stabilité du rendement des seize génotypes, a été menée durant trois campagnes agricoles (2017 à 2019) en utilisant certains indices de stabilité paramétriques et non paramétriques. Les résultats indiquent la présence de la variabilité pour les paramètres étudiés. Ce qui suggère que les méthodes paramétriques et non paramétriques sont les outils appropriés pour identifier les génotypes d'orge les plus stables dans diverses conditions environnementales.

Mots clés: *Hordeum vulgare*, semi-aride, sélection, stabilité du rendement, tolérance, image numérique, sénescence et la réflectance.

Abstract:

The present study is a contribution on the varietal selection problematic in Algeria. The selection and adaptation study of some barley genotypes (*Hordeum vulgare L.*) in semi-arid agro-climatic conditions of Sétif region. The work objective is to evaluate productivity and adaptation of some old and new genotypes of 2 and 6 row's barley. The aim is to select high-performance genotypes that are tolerant to abiotic stresses which characterize semi-arid region. The adaptive characteristics evaluation of a phenological, morphological and physiological nature, contributes to the tolerance improvement. As well as the digital image analysis (NIA) use technology to estimate senescence and reflectance in tolerant genotypes selection. The tests were conducted at the Agricultural Experiment Station of the Technical Institute for Field Crops (ITGC) in Sétif during two agricultural seasons 2017/2018 and 2018/2019. The experiment involves monitoring 33 genotypes. The results obtained show the presence of an appreciable variability, well noted within 2 and 6 row barley population for majority of variables measured. These results show that 6-row barley is more productive (over 16.28%), which suggests better performance of 6-row barley under semi-arid conditions. Correlation analysis revealed considerable variation between row types for yield, yield components and associated agronomic traits. The yield is strongly linked with the ears number/ m², a thousand grains weight and the harvest index in 2-row barley, while it is correlated with the ears number/ m², the number kernels per ear, and the harvest index for 6 rows barley. The results of stepwise regression showed that harvest index, the straw yield, reflectance red, the grains per spike number and spikes per square meter number have positive direct effects on grain yield. These traits can be used in selection to improve yield. The adaptability and yield stability study of sixteen genotypes was conducted during three growing seasons (2017-2019) using some parametric stability indices and non parametric. The results indicate variability presence for parameters studied. This suggests that parametric and non-parametric methods are appropriate tools to identify most stable barley genotypes under various environmental conditions.

Key words: *Hordeum vulgare*, semi-arid, selection, yield stability, tolerance, digital image, senescence and reflectance.