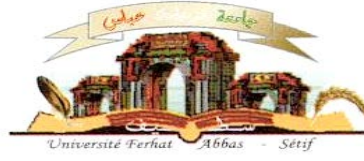


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

UNIVERSITE FERHAT ABBAS SETIF-1
FACULTE DES SCIENCES DE LA
NATURE ET DE LA VIE



جامعة فرحات عباس، سطيف 1-
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT D'ÉCOLOGIE ET DE BIOLOGIE VÉGÉTALES N°...../FSNV/2015

THÈSE

Présentée par :

BENSEMANE Latifa

Pour obtenir le diplôme de

Doctorat en Sciences

Filière : Biologie

Spécialité: Biologie végétale-Amélioration des plantes

THÈME

Analyse de l'adaptation de l'orge (*Hordeum vulgare* L.)

sous conditions semi-arides

Soutenue publiquement le 14/04/2015

DEVANT LE JURY

PRESIDENT	BENMAHAMMED	Amar	Pr. Université	Sétif 1
RAPPORTEUR	BOUZERZOUR	Hamenna	Pr. Université	Sétif 1
EXAMINATEUR	SENOUSSI	Med Mourad	Pr. Université	O.E.B.
EXAMINATEUR	LAIADI	Ziane	MCA Université	Biskra
EXAMINATEUR	DJEMEL	Abderrahmane	MCA ENSA	El-Harrach

Laboratoire de Valorisation des Ressources Biologiques Naturelles
(LVRBN-2014/15)

REMERCIEMENTS

Tout d'abord Louanges à **ALLAH**, qui m'a créé, m'a protégé, qui est toujours avec moi et qu'il ne me laisse jamais seule. Grâce à **ALWAHID** qu'enfin ce travail a pu aboutir.

Je voudrais remercier du fond du cœur Mr le Professeur **H. Bouzerzour** qui a fait preuve d'une grande patience et à été d'un très grand apport pour la réalisation de ce travail. Je lui suis très reconnaissante pour: sa patience, sa rigueur scientifique, sa gentillesse, son optimisme même dans ses moments les plus difficiles, ainsi que pour ses multiples et précieux conseils scientifiques, professionnels et surtout humains. Qu'il trouve ici l'expression de toute ma reconnaissance, de ma profonde admiration, de ma respectueuse considération et le témoignage d'une profonde gratitude. Son encadrement était des plus exemplaires.

Je tiens à remercier les membres du jury qui ont consenti à évaluer ce travail :

Le président du jury, Professeur **Benmahammed Amar** Enseignant au Département de Biologie Végétale et Écologie de l'Université El-Bez de Sétif, qui m'a fait l'honneur de présider ce jury. Qu'il trouve ici toute ma reconnaissance.

Mrs, **Senoussi Mohamed Mourad, Laiadi Ziane et Djemel A/Rahmane** de m'avoir honoré en acceptant de faire partie de ce juré. Veuillez agréer l'expression de ma reconnaissance et de mes remerciements les plus sincères. Merci pour leurs critiques et leurs réflexions constructives.

Je tiens également à remercier **Mr B. HAROUADI** qui m'a soutenu et supporté durant toutes les années de la réalisation de cette thèse.

Mes sincères remerciements et ma gratitude vont à **Hannachi A., Fellafi Z. et Guendouz A.** de l'INRAA de Sétif ainsi qu'au personnel de l'ITGC pour leurs aides plus précieux et les moyens matériels qu'ils ont mis à ma disposition.

Je remercie **Mr H. MIMOUNI** de l'INRAA de Sidi Belabbas pour m'avoir fourni le matériel végétal utilisé dans l'étude.

Je remercie également **Mr CATTEVILLI** directeur de l'Institut Expérimental pour la Céréaliculture de Fiorenzuola d'Arda (Italie) de m'avoir accueilli au sein de son laboratoire, ainsi que mes sincères remerciements à l'ensemble de son personnel et en particulier, **Catérina Marè, Fulvia Rizza**

Enfin je remercie toute ma famille, particulièrement ma mère qui m'a toujours encouragé et pour sa confiance et son soutien quasi inconditionnel tout au long de ces années et à laquelle je dédie cette thèse.

Je dis un grand merci, à tous ceux qui, directement ou indirectement, ont contribué à réaliser ce modeste travail.

BENSEMANE Latifa

ملخص

تهدف هذه الدراسة كمرحلة أولى إلى تقييم الاختلافات الظاهرية للصفات الزراعية المستعملة لتقييم الكفاءة و التأقلم في الشعير ذو خطين و ستة خطوط تحت الظروف شبه الجافة لتمييز الأنماط الوراثية ذات الكفاءة و المتأقلمة. تمت هذه الدراسة خلال الموسمين 2010/2009 و 2011/2010 و تشخيص 450 سنبلة لسلاسلات من الجيل الثالث و 50 سلالة من الجيل الرابع و خمسة أصناف كشواهد وفق التصميم التجريبي المتصاعد. أظهرت النتائج تغيرات معتبرة ما بين العشيرتين (الخطين و ستة خطوط) بالنسبة لجميع المتغيرات المقاسة . تشير النتائج أن الانتخاب المباشر أكثر فعالية من أجل تحسين المردود مقارنة بالانتخاب غير المباشر الأحادي و المتعدد الصفات، في حين الاثنان معا يوضحان مدى تأقلم سلالات الشعير ذات ستة خطوط. يصعب تحديد الصفة الأكثر فعالية في الانتخاب و ذلك للاختلاف في الزمان و المكان. تتمثل الإستراتيجية الأمثل من أجل تحسين المردود و التأقلم في تجميع أكبر عدد ممكن من الجينات الملائمة في السلالات الناتجة عن التصلبات أباء تنتمي للشعير ذو الستة خطوط. كمرحلة ثانية، الدراسة التي تمت في ايطاليا من أجل فحص مدى فعالية الاختبارات المبكرة على شتلات من الشعير من أجل التمييز بين السلالات المتحملة و الحساسة لكل من الصدمة الحرارية باستعمال تقنية الاستشعاع ل 16 سلالة و 5 أصناف كشاهد، و الإجهاد المائي من خلال تقدير فعالية استعمال الماء لإنتاج الكتلة الحيوية بالنسبة ل 22 سلالة و 7 أصناف. أظهرت النتائج استجابات مختلفة لكل من الأصناف و السلالات المختبرة بالنسبة لجميع المؤشرات المدروسة (F0, Fv, Fm, Fv/Fm, WUE et Bio). أظهرت الأصناف المحلية قدرات تحمل معتبرة للصدمة الحرارية. مكنت كمية الماء المستهلكة من تحديد و تمييز الأصناف و السلالات المسرفة و المقتصدة، هذه الأخيرة حسنت من فعالية استعمالها للماء بحوالي 68% من أجل إنتاج كمية كتلة حيوية مساوية للكمية الناتجة في حالة غياب الإجهاد. عموما تظهر هذه الدراسة أن مثل هذه الاختبارات غير مكلفة و سهلة الاستعمال و تسمح بانتخاب سريع لسلاسلات مقاومة و في مراحل نمو جد مبكرة.

الكلمات المفتاحية: الشعير، شبه جاف، الإجهاد المائي، الاستشعاع، صدمة حرارية.

Résumé général

L'objectif de cette étude est, dans un 1^{er} temps, d'évaluer la variabilité phénotypique des caractères agronomiques impliqués dans la performance et l'adaptation, chez les orges (*Hordeum vulgare* L.) à 2 et à 6 rangs, sous conditions semi- arides et de caractériser les génotypes performants et adaptés. L'expérimentation a été réalisée, en 2009/2010, 2010/2011, sur 450 épis-lignées F3 et 50 lignées F4 et 5 témoins, dans un dispositif expérimental augmenté. Les résultats montrent une variabilité appréciable au sein des deux populations (2 et 6 rangs) pour l'ensemble des variables mesurées. Pour améliorer le rendement en grains, la sélection directe s'est montrée plus efficace que celle indirecte mono et multi caractères mais les deux ont une réponse qui confirme l'adaptation des orges à 6 rangs. Mais il est difficile de prévoir le caractère qui a le plus d'effet en sélection au cours d'une année ou dans un lieu donné. Néanmoins la stratégie suggérée, pour améliorer le rendement et l'adaptation et accumuler les gènes favorables chez les descendants, se base sur l'utilisation en croisements des géniteurs à 6 rangs. Dans un 2^{ème} temps, un travail réalisé en Italie portant sur l'efficacité des tests précoces sur plantules dans la distinction des génotypes tolérants et sensibles, au choc thermique par la mesure de la fluorescence sur 16 lignées et 5 témoins et au stress hydrique par l'efficacité d'utilisation d'eau pour production de biomasse sur 22lignées et 7 cultivars. Les résultats ont montré que les variétés testées présentent des réponses variables pour tous les paramètres mesurés (F0, Fv, Fm, Fv/Fm, WUE et Biomasse). Les cultivars locaux sont parmi les tolérants au choc thermique. La quantité d'eau consommée a permis de sélectionner les génotypes dépensiers et économes, ces derniers améliorent la WUE d'environ 68% pour une même biomasse accumulée en absence de stress. Ces tests sont peu coûteux, faciles à mettre en œuvre et permettent de trier et d'identifier les lignées tolérantes eu stade plantule.

Mots clés : *Hordeum vulgare*, semi-aride, stress hydrique, fluorescence, choc thermique.

Abstract

The objective of this study is, in a first time, to assess the phenotypic variability of the agronomic traits involved in yield performance and adaptation of 2-rowed and 6-rowed barley (*Hordeum vulgare* L.), under semi-arid condition; and to depict high yield potential and adapted genotypes. The experiment was conducted in 2009/2010 and 2010/2011, in an augmented design by using 450 F3 fertile tillers, 50 F4 lines and 5 checks. The results show a significant variability in both barley populations (2-row and 6-row barley) for all of the measured variables. To improve grain yield, direct selection was more effective than indirect single and multi-traits selection, nevertheless both have a response that confirms the adaptation 6-row barley type. However, it is difficult to predict a selection trait that has the greatest effect in yield within one year and/or in a specific location. Nevertheless, the suggested strategy to improve the yield performance, adaptation and to accumulate favorable genes in the off spring, is based on the use of 6-row barley genotypes in the crossing blocks. In a second time, a study was performed in Italy in order to study the effectiveness of early seedling tests to discriminate the tolerant and the susceptible genotypes to thermal shock by measuring the fluorescence of 16 lines and 5 checks; and water stress by the mean of water use efficiency for biomass production in 22 lines and 7 cultivars. The results showed that the varieties tested exhibit different responses to the parameters measured (F0, Fv, Fm, Fv/Fm, WUE and biomass). Local cultivars appear among the tolerant genotypes to thermal shock. The amount of water consumed was used to select the inefficient genotypes and the efficient ones; the efficient genotypes improve WUE by around 68% for the same biomass accumulated without stress. These tests are less expensive, easy to implement and allow identifying tolerant lines at seedling stage.

Key words: *Hordeum vulgare*, semi-arid, water stress, fluorescence, thermal shock.

TABLE DES MATIERES

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. ORIGINES GENETIQUE ET GEOGRAPHIQUE DE L'ORGE	3
2. TAXONOMIE DE L'ORGE	4
3. IMPORTANCE ECONOMIQUE DE LA CULTURE DE L'ORGE	6
4. UTILISATION DE L'ORGE	7
4.1. ALIMENTATION HUMAINE	7
4.2. ALIMENTATION ANIMALE	10
5. CONTRAINTES ET ADAPTATION DE L'ORGE	
5.1. CONTRAINTES ABIOTIQUES	10
5.1.1. DEFICIT HYDRIQUE	10
5.1.2. STRESS THERMIQUE	11
5.2. ADAPTATION DE L'ORGE	12
5.2.1. VIGUEUR DE LA CROISSANCE	13
5.2.2. TEMPERATURE DE LA CANOPEE	14
5.2.3. TENEUR RELATIVE EN EAU	15
5.2.4. TRANSLOCATION DES HYDRATES DE CARBONE DU COL DE L'EPI	17
5.2.5. PRECOCITE	17
5.2.6. FLUORESCENCE CHLOROPHYLLIENNE	18
5.2.7. RENDEMENT EN GRAINS	20
6. GAIN DU RENDEMENT ET DES CARACTERES ASSOCIES	23

**CHAPITRE II : ETUDE DE LA VARIABILITE PHENOTYPIQUE ET DES RELATIONS ENTRE CARACTERES
D'UNE POPULATION F3 D'ORGE (Hordeum vulgare L.), SOUS CONDITIONS SEMI-
ARIDES.**

ملخص

RESUME

ABSTRACT

INTRODUCTION 26

MATERIEL ET METHODES

1. MATERIEL VEGETAL ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL 28
2. MESURES ET NOTATIONS 29
3. ANALYSE DES DONNEES 30

RESULTATS ET DISCUSSION

4. CONDITIONS CLIMATIQUES 33
5. VARIABILITE PHENOTYPIQUE 34
6. EFFETS DE LA SELECTION MONO ET MULTI CARACTERES 40
 - 6.1. ANALYSE DES LIAISONS ENTRE CARACTERES 40
 - 6.1.1. CORRELATIONS PHENOTYPIQUES 40
 - 6.1.2. ANALYSE EN CHEMIN 44
 - 6.1.3. REGRESSION MULTIPLE 46
 - 6.1.4. REGRESSION PROGRESSIVE 47
 - 6.1.5. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES 48
 - 6.2. CARACTERISTIQUES DES SELECTIONS 51
7. REPONSE A LA SELECTION 57

CONCLUSION 66

**CHAPITRE III : ANALYSE DE LA TOLERANCE DES PLANTULES D'ORGE AU CHOC THERMIQUE ET
AU STRESS HYDRIQUE.**

ملخص

RESUME

ABSTRACT

INTRODUCTION 67

MATERIEL ET METHODES

1. SITE, MATERIEL VEGETAL ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL 69
2. NOTATIONS ET MESURES 72

2.1. MESURE DE LA FLUORESCENCE	72
2.2. MESURE DE LA BIOMASSE AERIENNE	73
3. ANALYSE DES DONNEES	73
RESULTATS ET DISCUSSION	
I. EFFET DU CHOC THERMIQUE SUR LA FLUORESCENCE DES PLANTULES D'ORGE	74
1. FLUORESCENCE MINIMALE DES FEUILLES ADAPTEES A L'OBSCURITE (F0)	74
2. FLUORESCENCE MAXIMALE (FM)	78
3. FLUORESCENCE VARIABLE (Fv)	81
4. RENDEMENT QUANTIQUE MAXIMAL (Fv/FM)	86
5. LIAISONS ENTRE LES PARAMETRES DE LA FLUORESCENCE	89
CONCLUSION	98
II. EFFET DU DEFICIT HYDRIQUE SUR L'ACCUMULATION DE LA BIOMASSE DES PLANTULES D'ORGE	99
1. EAU UTILISEE (WU)	104
2. EFFICACITE D'UTILISATION DE L'EAU (WUE)	107
CONCLUSION	113
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	115
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	119
ANNEXE	

LISTE DES ABREVIATIONS

ACP	Analyse en Composantes Principales
ACSAD	Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry lands
BIO	Biomasse aérienne
°C	degré Celsius
cm	centimètre
<i>H</i>	Hordeum
FAO	Food Agriculture Organization
F₀	Fluorescence initiale
F_v	Fluorescence variable
F_m	Fluorescence maximale
g	gramme
G	groupe
Ha	hectare
Hab	habitant
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
m	mètre
m²	mètre carré
MAP	Management Advancement Programme
MF	Matière Fraîche
mm	millimètre
NE	Nombre d'épis
NGE	Nombre de Grains par Epi
NGM²	Nombre de Grains par m ²
ONM	Office National de Météo

PAM	Pulse Amplitude Modulation
PEG	Polyéthylène glycole
PHT	Hauteur Totale de la végétation
Ppds	plus petite différence significative
PMG	Poids de 1000 Grains
PSI	photosystèmes I
PSII	photosystèmes II
q	quintaux
QTL	Quantitative traits loci (loci des caractères quantitatifs).
RDT	Rendement
Reg lin	régression linéaire
Reg prog	régression progressive
ROS	Reactive oxygen species
RSWC	Relative Soil Water Content
SEA	Station Expérimentale Agricole
SSR	Simple Séquences Répétées
SWI	Simple-Weighted Index
t	tonne
T	Triticum
WANA	West Asia and North Africa
WNE	Weight ears
WU	Water-use
WUE	Water-use efficiency

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Production d'orge des principaux pays producteurs de l'année 2010/11 (Faostat, 2012)	6
Figure 2. Productions, rendements et superficies récoltées de l'orge de la période 1961 à 2011 (adaptés d'après Faostat, 2012 et Benbelkacem, 2013)	8
Figure 3. Production d'orge des pays Maghrébins des 40 dernières années (moyennes décennales, t) (Faostat, 2012)	9
Figure 4. Modèle de l'analyse en chemin adopté	30
Figure 5. Pluie et température moyennes mensuelles des campagnes 2008/09, 2009/10, 2010/11 du site expérimental de l'ITGC de Sétif (ONM, 2011)	33
Figure 6. Distribution fréquentielle du rendement en grains et de la hauteur de la végétation des lignées d'orge à 2 rangs (à gauche) et à 6 rangs (à droite) évaluées au cours de la campagne 2009/10	35
Figure 7. Distribution fréquentielle de la biomasse aérienne et le nombre d'épis des lignées d'orge à 2 rangs (à gauche) et à 6 rangs (à droite) évaluées au cours de la campagne 2009/2010	36
Figure 8. Distribution fréquentielle du poids des épis et du poids de 1000 grains des lignées d'orge à 2 rangs (à gauche) et à 6 rangs (à droite) évaluées au cours de la campagne 2009/10	37
Figure 9. Comparaison relative des valeurs moyennes des caractères des orges à 2 rangs relativement à celles des orges à 6 rangs (moyennes des 6 rangs = indice 100)	39
Figure 10. Liaisons entre la biomasse, le rendement grain et le poids des épis chez les orges à 2 rangs	41
Figure 11. Liaisons entre le rendement, le poids des épis et le poids de 1000 grains chez les orges à 2 rangs	42
Figure 12. Relations entre le rendement, le nombre de grains/m ² et le nombre d'épis/m ² des orges à 6 rangs	42
Figure 13. Relations entre le rendement et la biomasse aérienne chez les orges à 6 rangs	43
Figure 14. Représentation des lignées d'orge à 2 rangs sur le plan formé par les axes 1 (58.9%) et 2 (17.1%)	49
Figure 15. Représentation des lignées d'orge à 6 rangs sur le plan formé par les axes 1 (59.4%) et 2 (18.3%)	50
Figure 16. Représentation des lignées d'orge à 2 (cercle plein) et à 6 rangs (triangle vide) sur le plan formé par les axes 1 et 2	51
Figure 17. Caractérisation des lignées ayant présenté la meilleure réponse à la sélection pour le rendement en grains	58
Figure 18. Vue du plateau à alvéoles, 7 jours après l'ensemencement	70

Figure 19. Fluorimètre PAM pour l'analyse du rendement de la photosynthèse (Mini PAM photosynthesis analyser)	73
Figure 20. Tendence globale de la variation des valeurs F0 des différentes variétés en fonction de l'intensité du choc thermique et après reprise du choc	79
Figure 21. Réductions relatives des valeurs du paramètre Fm suite à l'effet du choc thermique et après reprise, moyennes des 22 variétés et lignées analysées par traitement	80
Figure 22. Réductions relatives des valeurs du paramètre Fm suite à l'effet du choc thermique et après reprise, moyennes des variétés et lignées extrêmes	82
Figure 23. Réductions relatives des valeurs du paramètre Fv suite à l'effet du choc thermique et après reprise, moyennes des 22 variétés et lignées analysées par traitement	83
Figure 24. Valeurs Fv des différentes variétés exprimées relativement à la valeur minimale observée celle de la lignée 11 (moyennes des 6 traitements du choc thermique)	84
Figure 25. Réductions relatives des valeurs du paramètre Fv des différentes variétés, suite à l'effet du choc thermique et après reprise du choc thermique	85
Figure 26. Réduction relative des valeurs du paramètre Fv/Fm des différentes variétés, suite à l'effet du choc thermique et après reprise du choc thermique (effet moyen variété en % valeur maximale)	87
Figure 27. Réduction relative des valeurs du paramètre Fv/Fm des différentes variétés, selon l'intensité du choc thermique et après reprise du choc thermique (interaction variété x choc en % de la valeur du témoin)	88
Figure 28. Relations entre les valeurs prises par le paramètres Fv et celles prises par Fo et le ratio Fv/Fm des différentes variétés soumises au choc thermique et après reprise du choc thermique	89
Figure 29. Relations entre les valeurs prises par le paramètres Fv et celles prises par Fo et Fm des différentes variétés soumises au choc thermique et après reprise du choc thermique	90
Figure 30. Valeurs moyennes de la biomasse aérienne accumulée par les différentes variétés soumises au stress hydrique (moyennes variétales des traitements stressé et non stressé)	100
Figure 31. Moyennes de la biomasse aérienne accumulée par les différentes variétés et lignées, en absence de stress et sous stress hydriques	101
Figure 32. Réduction de la biomasse sous l'effet du stress hydrique en pourcentage [$100 \cdot (1 - S/NS)$] des différentes variétés et lignées évaluées	102
Figure 33. Liaisons entre les moyennes de la biomasse aérienne accumulée par les différentes variétés et lignées, en absence de stress et sous stress hydriques	102
Figure 34. Valeurs moyennes des quantités d'eau consommées par les différentes variétés et lignées (effet moyen variété) au cours de l'expérience	105

Figure 35. Moyennes des quantités d'eau consommées par les différentes variétés et lignées, en absence de stress (NS) et sous stress hydriques (S) au cours de l'expérience	106
Figure 36. Réduction relative de l'eau consommée par les différentes variétés et lignées sous stress hydriques, comparativement à la consommation en absence de stress, au cours de l'expérience	107
Figure 37. Moyennes de la WUE des différentes variétés et lignées, mesurées en absence de stress (NS) et sous stress hydriques (S)	108
Figure 38. Augmentation relative de la WUE des différentes variétés et lignées sous stress hydrique, comparativement à la WUE mesurée en absence de stress	109
Figure 39. Groupage des lignées et variétés testées sur la base des variables mesurées	110
Figure 40. Ecart (%) des variables mesurées des groupes G1 et G3, relativement aux valeurs du groupe G2	111

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Valeurs caractéristiques des populations d'orge à 2 et à 6 rangs	34
Tableau 2. Corrélations phénotypiques entre les variables mesurées chez les populations d'orge à 2 et à 6 rangs (Corrélations des 6 rangs au-dessus de la diagonale ($n = 157$, $r_{5\%} = 0.158$) et celles des 2 rangs au-dessous de la diagonale ($n = 299$, $r_{5\%} = 0.113$).	41
Tableau 3. Effets directs et indirects des variables mesurées sur le rendement en grains chez les orges à 2 et à 6 rangs.	44
Tableau 4. Modèle complet de la régression linéaire multiple du rendement en grains sur les variables mesurées chez les orges à 2 et à 6 rangs.	46
Tableau 5. Etapes de l'analyse de la régression progressive du rendement en fonction des variables mesurées chez les orges à 2 et à 6 rangs.	48
Tableau 6. Corrélations des variables mesurées avec les 2 premiers axes principaux de l'ACP	50
Tableau 7. Numéros des lignées retenues par critère de sélection.	53
Tableau 8. Moyennes des variables mesurées des 10 meilleures sélections pour les différents critères utilisés chez les orges à 2 et à 6 rangs.	54
Tableau 9. Différentielles de la sélection, relatives aux valeurs du meilleur témoin (Fouara) des variables mesurées des 10 meilleures sélections pour les différents critères utilisés chez les orges à 2 et à 6 rangs.	55
Tableau 10. Valeurs moyennes des caractères des lignées ayant présentée la meilleure réponse à la sélection pour le rendement en grains chez les orges à 2 et à 6 rangs.	57
Tableau 11. Carrés moyens de l'analyse de la variance des différents paramètres de la fluorescence des 22 lignées et variétés d'orge soumises au choc thermique.	74
Tableau 12. Valeurs des différents paramètres de la fluorescence pour les traitements de choc thermique, moyennes calculées sur les 22 lignées et variétés d'orge évaluées.	74
Tableau 13. Valeurs des différents paramètres de la fluorescence pour les différentes variétés, moyennes calculées sur les 6 traitements de choc thermique.	76
Tableau 14. Ecart, par rapport à la moyenne du témoin, des valeurs F0 des différentes variétés, due à l'effet du choc thermique et après reprise du choc.	76
Tableau 15. Valeurs des différents paramètres de la fluorescence pour les différentes variétés et traitements de choc thermique.	77

Tableau 16. Ecarts, par rapport à la moyenne du témoin, des valeurs F_m des différentes variétés, dues à l'effet du choc thermique et après reprise du choc. **82**

Tableau 17. Ecarts, par rapport à la moyenne du témoin, des valeurs F_v des différentes variétés, dues à l'effet du choc thermique et après reprise du choc. **85**

Tableau 18. Corrélations linéaires entre les paramètres de la fluorescence des différentes variétés soumises au choc thermique et reprise du choc (au-dessus de la diagonale probabilité, au-dessous valeurs du r , $n-2=108$). **89**

Tableau 19. Carrés moyens de l'analyse de la variance de la biomasse accumulée (BIO, mg), l'eau utilisée (WU, g), et de l'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE, mg BIO/g H_2O) des lignées d'orges soumises au stress hydrique au stade plantule. **99**

Tableau 20. Valeurs moyennes caractéristiques des groupes de variétés divergents pour les variables mesurées. **110**

INTRODUCTION GÉNÉRALE

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 tiennent une place importante et permettent d'assurer des productions plus régulières même en conditions relativement difficiles.

Suite à sa relative adaptabilité aux zones sèches, la culture de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) prédomine, en Algérie, 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. Affectée par les contraintes environnementales, tout le long du cycle de développement de la plante, la production est fortement variable (Menad, 2008).

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.

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.*, 2010 ; 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 la remobilisation des assimilats stockés dans le col de l'épi. 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.*, 2010 ; Pask et *al.*, 2012 ; Hamli et *al.*, 2015 ; Belkharchouche et *al.*, 2015).

La présente contribution se fixe pour objectifs d'identifier les caractères déterminant le rendement et l'adaptation de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) aux conditions semi-arides, et d'analyser la tolérance aux stress thermique et hydrique sous conditions contrôlées.

CHAPITRE I

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1. ORIGINES GÉNÉTIQUE ET GÉOGRAPHIQUE DE L'ORGE

L'orge cultivée (*H. vulgare* L.), de constitution génomique diploïde ($2n=14$), est une très ancienne espèce et son utilisation par l'homme comme aliment remonte, selon Harlan, (1975) au néolithique soit il y a 12000 ans. Des graines trouvées dans les fouilles situées dans le croissant fertile attestent de l'origine géographique. 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 études 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.

Le type à 6 rangs a évolué par mutation au cours de la domestication. Les épillets latéraux de l'orge à 6 rangs sont fertiles alors que ceux de l'orge à 2 rangs sont stériles. Le type de rangs est contrôlé par deux gènes, *Vrs1* et *Int-c*, qui sont portés respectivement par les 2H et 4H, (Komatsuda et al., 2007). Le type à deux rangs a pour génotype *Vrs1 Vrs1 int-c int-c*, et le type à 6 rangs a pour génotype *vrs1 vrs1 Int-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 loci 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).

2. TAXONOMIE DE L'ORGE

L'orge est une monocotylédone, appartenant à la famille des *Poaceae* 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 : *Hordeum*

Espèce : *vulgare*

Sous espèce : *H. vulgare L. subsp spontaneum 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).

Erroux (1956) cite Körnicke qui classe les orges, selon le nombre de rangs par épi, en types à 2, 4 et 6 rangs dénommées *H. distichum* L., *H. tetrastichum* Korn. et *H. hexastichum* L. Cependant, comme les orges à 4 et à 6 rangs ne diffèrent que par la densité de l'épi, cette classification devient :

- *H. tetrastichum var pallidum* Körn., orge à 4 rangs
- *H. hexastixum* L. Var *parallelum* Körn, orge à 6 rangs, dense
- *H. hexastichum L var pyramidatum* Korn orge à 6 rangs, compacte
- *H. distichum* L. orge à 2 rangs.

3. IMPORTANCE ECONOMIQUE DE LA CULTURE DE L'ORGE

L'orge (*H. vulgare* L.) figure parmi les sept céréales les plus cultivées au monde. Elle occupe la quatrième position de par sa production après le maïs, le blé tendre et le riz et avant le sorgho, l'avoine et le seigle (FAO, 2012). La production mondiale de l'orge avoisine les 135 millions de tonnes pour une superficie emblavée de près de 57 millions d'hectares. La production de quelques pays producteurs d'orge de l'année 2010/11 est donnée en figure 1.

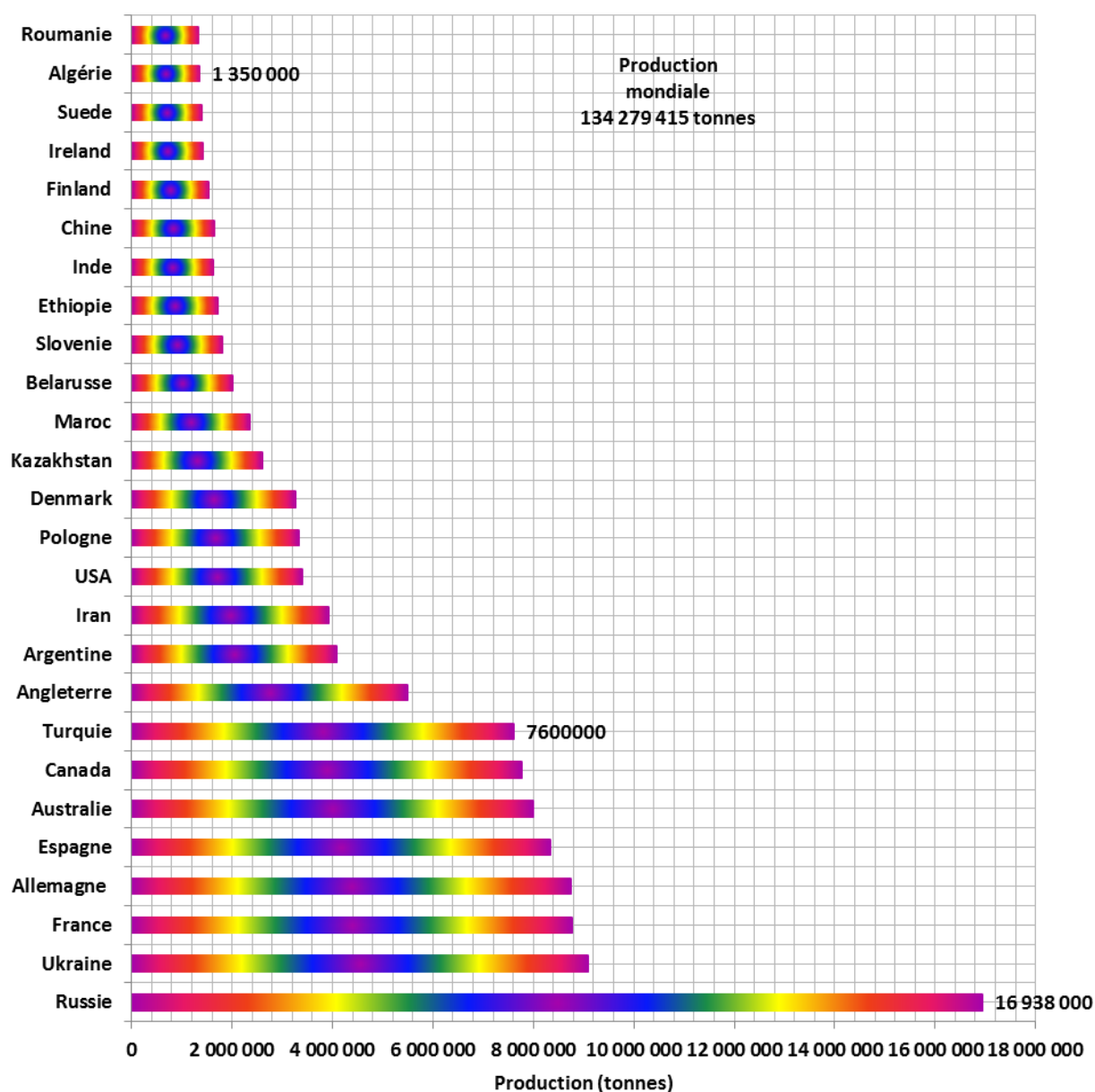


Figure 1. Production d'orge des principaux pays producteurs de l'année 2010/11 (Faostat, 2012)

L'Europe, avec 29 millions d'hectares, se distingue par la plus grande superficie emblavée en orge et a produit, en 2011, plus de 80 millions de tonnes soit l'équivalent de 60% de la production mondiale. Les Etats Unis d'Amérique et le Canada viennent en seconde position pour les surfaces et les productions.

En Algérie, la culture de l'orge est localisée au sud des hauts plateaux à la limite de la zone réservée à la culture du blé dur qui est relativement plus exigeante. Les superficies réservées à cette espèce sont relativement constantes et se situent au-dessus d'un million d'hectares. Quant aux quantités récoltées, elles restent très variables et ce, suites aux effets des contraintes agro-climatiques, notamment les effets des stress de fin de cycle (Benbelkacem, 2013).

Ainsi au cours de la période 1961 à 2011, les superficies récoltées ont varié de 0.2 à 1.6 millions d'hectares, avec une moyenne de 825 000 hectares, la production a varié de 1.3 à 22 millions de quintaux et le rendement a oscillé de 2.2 à 18.0 q/ha ; soit des moyennes de 7.2 millions de quintaux pour la production et 8.4 q/ha pour le rendement (Figure 2, FAO stat, 2012). Depuis la fin des années 1980, on note comparativement aux superficies emblavées qui restent plus ou moins constantes, une tendance à l'augmentation des rendements et de la production (Figure 2).

Les productions des pays Magrébins, moyennes décennales des quarante dernières années sont indiquées en figure 3 et on relève que l'Algérie, qui produit en moyenne plus de 1.6 millions de tonnes, se classe en seconde position après le Maroc (figure 3). Quant à la production mondiale de l'orge, celle-ci a varié, au cours de cette même période, de 120 à 178 millions de tonnes, (Figure 1) (FAO 2012).

4. UTILISATION DE L'ORGE

4.1. ALIMENTATION HUMAINE

Dès sa domestication, l'orge était utilisée en alimentation humaine (Ceccarelli et *al.*, 2010). De nos jours, elle est remplacée peu à peu par les blés, le maïs et le riz selon les régions et prend, de plus en plus, des destinations fourragères et industrielles (Amri et *al.*, 2005).

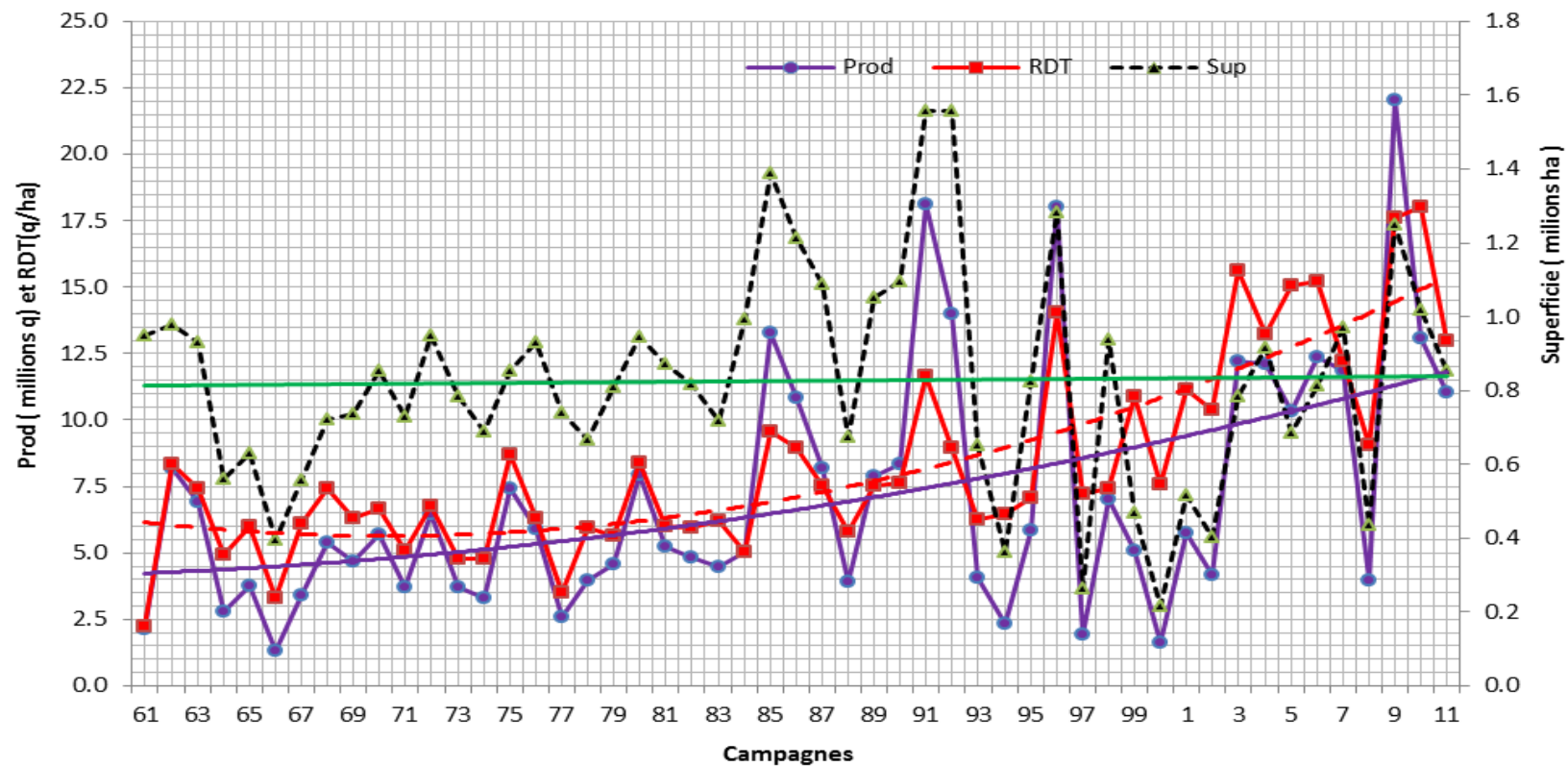


Figure 2. Productions, rendements et superficies récoltées de l'orge de la période 1961 à 2011 (d'après Faostat, 2012 et Benbelkacem, 2013).

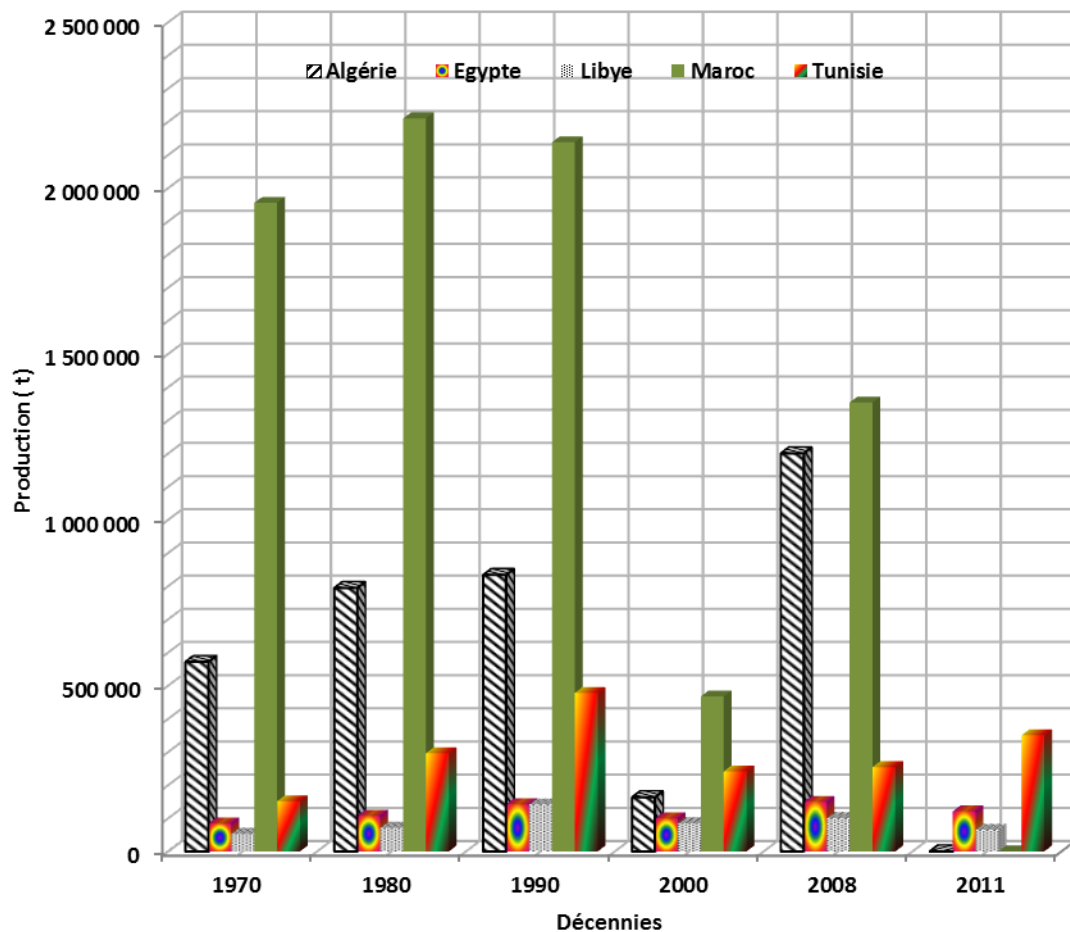


Figure 3. Production d’orge des pays Maghrébins des 40 dernières années (moyennes décennales, t) (Faostat, 2012)

Elle reste cependant encore utilisée en alimentation humaine dans certaines régions comme au Maroc, en Chine, en Inde et en Ethiopie où elle est utilisée pour fabriquer des galettes et du couscous (Grando et *al.* 2006). Dans certains pays, l’orge trouve une utilisation dans l’alimentation des bébés, en industrie alimentaire comme adoucissant, adjuvant et surtout comme boissons alcoolisées (Bothmer et *al.*, 2003).

Du point de vue biochimie, l’orge n’est pas toxique mais elle contient plusieurs allergènes et certains facteurs antinutritionnels. Ainsi chez certaines personnes, l’inhalation de la farine de l’orge cause l’asthme, connue sous le nom d’asthme du

boulangier. Cet allergène est associé à la présence de certaines protéines issues de la trypsin-alpha-amylase (Sanchez-Monge et *al.*, 1992).

Chez les nourissants et les personnes sensibles, l'ingestion de la farine de l'orge cause des complications gastro-intestinales. La maladie du cœliaque est due à l'intolérance au gluten d'orge (Kasarda, 2004). Le gluten est un complexe de deux protéines majeures de réserve (les hordéines) qui sont les prolamines et les gluténines (Kasarda, 2004).

4.2. ALIMENTATION ANIMALE

Le grain de l'orge destinée à l'alimentation animale est concassé ou aplati pour en améliorer la digestibilité. Comparée au blé, l'orge a une faible valeur nutritive à cause de son contenu élevé en fibres qui séquestrent une partie de l'énergie métabolisable. Quoiqu'il possède une teneur élevée en protéine, comparativement au maïs, le régime à base d'orge des monogastriques doit être supplémenté par d'autres sources de protéines, suite à la faible qualité protéique du grain d'orge (Bothmer et *al.*, 2003).

5. CONTRAINTES ET ADAPTATION DE L'ORGE

5.1. CONTRAINTES ABIOTIQUES

5.1.1. DEFICIT HYDRIQUE

En dehors des contraintes d'ordre techniques qui sont dépendantes du savoir et savoir-faire des producteurs et de l'importance des superficies emblavées, la culture de l'orge rencontre des contraintes abiotiques sévères notamment le manque d'eau et les températures extrêmes. Ces contraintes sont quasi permanentes et varient du point de vu du degré d'expression qui induit une variation importante des rendements réalisés.

Le déficit hydrique est défini comme étant une alimentation hydrique insuffisante au cours de laquelle la culture présente un affaiblissement de la croissance conduisant à une baisse, voire à une production nulle. 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).

Le manque d'eau affecte la croissance en inhibant l'activité photosynthétique suite à la fermeture des stomates et au dessèchement précoce du feuillage. Le degré de fermeture des stomates est fonction de l'intensité du déficit hydrique et de la sensibilité de la variété cultivée. Le déficit hydrique induit une baisse de la teneur relative en eau de la plante inhibant la croissance foliaire (Chaves et *al.*, 2002).

L'orge, comme d'autres espèces cultivées, possède des capacités pour s'adapter à la contrainte du manque d'eau. Pour rétablir la turgescence cellulaire, l'orge met en œuvre, selon les milieux et le génotype, plusieurs stratégies dont :

- le développement des racines pour avoir accès à plus d'humidité en profondeur du sol,
- la régulation stomatique pour minimiser les pertes d'eau qui accompagnent l'entrée du CO₂ nécessaire à la photosynthèse,
- la synthèse de solutés compatibles comme la proline ou les sucres pour résister au manque d'eau et
- le raccourcissement du cycle pour limiter les effets du manque d'eau, notamment celui de fin de cycle (Chaves et *al.*, 2002).

5.1.2. 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).

Les hautes températures lors du semis affectent la longueur de la coléoptile, causant un ancrage superficiel des plantules et une mauvaise installation de la culture. Les hautes températures de fin de cycle affectent le rendement en grains suite à une réduction du nombre d'épis, de celui des grains par épi et du poids moyen du grain. Les basses températures causent une chute de la fertilité des épis au cours du stade gonflement (Abbassenne et *al.* 1998 ; Mekhlouf et *al.*, 2006).

5.2. ADAPTATION DE L'ORGE

Lorsque la variabilité environnementale est élevée, suite à des différences imprévisibles dans la fréquence, des résultats expérimentaux suggèrent que le moment et la sévérité des stress climatiques sont sous l'effet des différentes combinaisons de caractères lesquelles sont susceptibles de conférer l'adaptation aux stress (Ceccarelli et *al.*, 1992 ; Fellah et *al.*, 2002; Benmahammed et *al.*, 2004 ; Nouar et *al.*, 2010, Benmahammed et *al.*, 2010).

Les résultats de Bahlouli et *al.*, (2005) indiquent qu'il n'y a pas une seule architecture idéale de caractères pour un environnement variable. Au contraire différentes combinaisons de caractères conduisent, sous stress, à un même niveau de rendement en grains. L'incapacité du rendement en grains, utilisée seule comme critère de sélection à améliorer et à stabiliser la production en conditions environnementales difficiles, suggère le recours à l'utilisation des paramètres morfo-physio-biochimiques (Hamli et *al.*, 2015).

Selon Araus et *al.*, (1998), Richards et *al.*, (2002), ainsi que Benmahammed et *al.*, (2010), le frein à la réalisation d'un progrès de rendement en grains significatif, sous stress, résulte de la variation du degré d'expression de la multitude de caractères qui conditionnent le rendement dans de tels milieux.

L'identification des combinaisons de caractères, les plus fréquentes et les plus liées au rendement, dans le milieu ciblé, est souhaitable pour réaliser du progrès dans ce domaine. L'analyse des liaisons inter-caractères est le plus souvent utilisée pour mesurer l'influence d'un caractère particulier sur le rendement en grains.

Cependant, une corrélation n'implique pas nécessairement une relation de cause à effet et ce, à cause notamment de l'effet indirect des autres caractères liés au caractère en question. La validation du rôle d'un caractère donné peut être effectuée soit en créant des lignées iso-géniques, soit en appliquant une sélection divergente.

L'évaluation et la vérification des caractères basés sur l'utilisation des lignées iso-géniques tendent à simplifier extrêmement l'interaction entre caractères, puisque l'approche donne l'information sur l'effet d'un seul caractère particulier dans un fond génétique spécifique (Al Hakimi et *al.*, 1995).

La création de lignées iso-géniques n'est en fait réalisable que pour des caractères morphologiques, à déterminisme génétique simple. Dans le cas des caractères physiologiques à déterminisme génétique plus complexe, il est plus réaliste d'envisager la sélection divergente.

Selon Acevedo et Ceccarelli (1989), l'approche basée sur la sélection divergente pour une combinaison de caractères apparaît plus efficace car elle offre la possibilité d'évaluer le rôle des caractères, individuellement ou en combinaison, dans des fonds génétiques assortis aléatoirement. Cette méthode autorise une comparaison de l'efficacité de la sélection entre la sélection basée sur le rendement et celle basée sur les caractères morfo-physio-biochimiques.

5.2.1. VIGUEUR DE LA CROISSANCE

Réduire de l'évaporation directe du sol permet d'augmenter la quantité d'eau qui transite par le végétal et de la valoriser sous forme de matière sèche (Karrou et *al.*, 1998). Pour réduire l'évaporation du sol et contrôler les adventices, il faut une

installation rapide de la culture pour couvrir complètement le sol, très tôt en début du cycle. Il faut pour cela sélectionner pour une meilleure vigueur de croissance (Soltani et Galeshi, 2002 ; Rebetzke et *al.*, 2007). Bensemane (2004) observe des différences de vigueur de croissance chez le blé dur où le cultivar Waha se développe notamment plus vite et très tôt, en début de cycle, comparativement au cultivar Mohammed Ben Bachir.

La vigueur de croissance est associée à la capacité du génotype à croître sous basses températures du début du cycle. Une croissance rapide en début du cycle peut, cependant, engendrer une plus grande consommation et un gaspillage d'eau avant l'anthèse au détriment de la part qui doit assurer un remplissage de grain satisfaisant.

Il faut chercher un équilibre entre la part d'eau économisée par suite de la réduction de l'évaporation du sol et celle utilisée suite à l'amélioration de la croissance sous basses températures (El Hafid et *al.*, 1998). Selon Coleman et *al.*, (2001) la vigueur de la croissance est associée à un développement rapide de la surface foliaire qui induit une meilleure utilisation de l'humidité et réduit de l'évaporation.

De nombreuses études suggèrent que l'augmentation de la vigueur de la croissance précoce améliore la production de la biomasse aérienne accumulée et le rendement en grains sous conditions méditerranéennes (Botwright et *al.*, 2002). Les différences de vigueur de croissance entre génotypes semblent déterminées par les différences de taux de levée, de la taille de l'embryon et de la surface spécifique foliaire (Richards et Lukacs, 2002).

5.2.2. TEMPERATURE DE LA CANOPEE

La mesure de la température de la canopée est attractive comme technique de criblage pour la résistance au stress, particulièrement avec la mise sur le marché du thermomètre infrarouge portable (Pask et *al.*, 2012). 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). 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.

5.2.3. TENEUR RELATIVE EN EAU

La capacité de rétention de l'eau par le feuillage est préconisée et utilisée pour évaluer la résistance des plantes vis-à-vis des stress thermique et hydrique (Yang et *al.*, 2001). Clarke et Mc Craig (1982) rapportent que la mesure du contenu relatif en eau du feuillage est un bon indicateur de la résistance génotypique aux stress abiotiques. Ces auteurs recommandent cette technique pour cribler tout germoplasme destiné aux zones sèches.

Le stress thermique active le développement au détriment de la croissance, induisant une réduction de la hauteur du chaume, de la surface foliaire, de la biomasse aérienne et du rendement grain et accélère l'achèvement du cycle de vie de la plante. La résistance au stress thermique est étroitement liée à l'alimentation de la plante en eau. Elle dépend également d'autres caractères morphologiques tels que la structure de la feuille et le nombre et la dimension des stomates (Al Khatib et Paulsen, 1984 ; Balota et *al.*, 2007).

L'activité physiologique du blé est maximale à 25°C et les températures de 28 à 32°C sont considérées comme stressantes. Les hautes températures au-dessus de 30°C affectent le poids final du grain en réduisant la durée de son remplissage (Al Khatib et

Paulsen, 1984 ; Balota et *al.*, 2007). La dépression de la température du couvert végétal, ou de la feuille étendard, apparait comme un outil capable de discriminer entre les génotypes tolérants et ceux qui sont sensibles à la contrainte hydrique et thermique (Balota et *al.*, 2007).

La dépression de la température, mesurée avec un thermomètre à infrarouge, est obtenue en déduisant la température du végétal de celle de l'air ambiant. Elle est utilisée pour cribler des centaines de lignées en une courte période de temps (Ayeneh et *al.*, 2002; Balota et *al.*, 2007; Bilge et *al.*, 2008 ; Pask et *al.*, 2012).

Ce paramètre montre une association étroite avec le rendement grain sous conditions naturelles de climat chaud comme au Soudan et au Mexique (Reynolds et *al.*, 1994; Fischer et *al.*, 1998). Ayeneh et *al.*, (2002) trouvent, sous conditions de stress thermique, une association positive entre la dépression de la température du couvert végétal et celle de la température des organes végétatifs tels que la feuille étendard et l'épi. Ces résultats suggèrent que les barbes jouent un rôle dans la tolérance aux stress hydrique et thermique de fin de cycle de la culture.

Le stress thermique durant la période pré-anthèse modifie non seulement le poids final du grain mais aussi le nombre de grains. Au-delà de 32°C, on peut observer des dommages irréversibles pouvant aller jusqu'à la destruction de l'organe ou de la plante (Wardlaw et *al.*, 1998). Selon Hays et *al.*, (2007), sous les conditions du sud des plaines intérieures américaines, le rendement est couramment réduit par l'action des hautes températures au cours de la période de remplissage.

L'effet se manifeste sous forme de réduction du nombre de grains produit par unité de surface emblavée, du poids individuel du grain et de la durée de la phase de remplissage. La réduction du nombre de grains produit par m² est attribuée à la sensibilité du développement du grain de pollen sous conditions de températures élevées (Dorion et *al.*, 1996 ; Abbassenne et *al.*, 1998).

Sous conditions normales, le grain de pollen stocke de l'amidon et des protéines qui sont utilisées comme source d'énergie pour la croissance du tube pollinique. De ce fait, l'élévation de la température inhibe l'accumulation de l'amidon et des protéines dans le grain de pollen, le rendant incapable de fertiliser (Dorion et *al.*, 1996). Saini et *al.*, (1983) mentionnent que, sous stress thermique, le tube pollinique est très court et faiblement développé.

5.2.4. TRANSLOCATION DES HYDRATES DE CARBONE DU COL DE L'ÉPI

Nachit et Jarrah (1986) affirment que la stabilité d'expression de la hauteur du col de l'épi est importante en condition de déficit hydrique. En conditions de stress hydrique, une paille haute est plus apte à stocker plus de réserves glucidiques qui sont susceptibles d'être transférées vers le grain au cours de la phase de son remplissage (Siddique et *al.*, 1989, Belkharchouche et *al.*, 2015).

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).

5.2.5. PRECOCITE

Comme la sécheresse et les hautes températures de fin de cycle sont des caractéristiques dominantes des zones semi-arides, il est souvent plus judicieux de privilégier la sélection de la précocité (esquive). 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.*, 2010). En conditions semi-arides d'altitude, les génotypes précoces à l'épiaison se caractérisent par des vitesses de remplissage par m² élevées, alors que les génotypes tardifs font plus appel aux assimilats stockés dans la tige (Abbassenne et *al.*, 1998).

Une grande précocité n'est, cependant, d'aucune utilité pratique en sélection dans les régions où la présence du gel tardif affecte les génotypes trop précoces. La recherche sur la résistance ou la tolérance aux basses températures printanières est nécessaire pour exploiter l'avantage en productivité des génotypes précoces qui échappent aux stress de fin de cycle (Mekhlouf et *al.*, 2006).

Pour les régions semi-arides, la sélection des génotypes tardifs à l'épiaison et précoces à maturité est prometteuse. Cependant Haddad (2009) montre que les génotypes tardifs valorisent peu, sous forme de grains produits par unité de surface, la matière sèche totale accumulée au stade épiaison, suite à leur indice de récolte.

Les génotypes précoces ont tendance à épier plus tôt ou plus tard, selon que l'hiver est plus doux ou plus rigoureux (Bahlouli et *al.*, 2005). Par contre les variétés tardives sont caractérisées par des dates d'épiaison plus régulières. Bahlouli et *al.* (2005) ont noté que les génotypes tardifs épient à une date plus au moins fixe, quelque soit l'année. Ceci s'explique par le fait que les génotypes précoces répondent plus aux sommes des degrés-jours accumulées, alors que les génotypes tardifs répondent en plus aux températures hivernales et à la photopériode (Worland et *al.*, 1994).

5.2.6. FLUORESCENCE CHLOROPHYLLIENNE

L'activité photosynthétique est grandement affectée par les stress tels que le déficit hydrique, les températures basses et élevées et la salinité. De ce fait, l'étude de la variation de la photosynthèse fournit des informations intéressantes relatives aux dommages causés par le stress à l'appareil photosynthétique. Dans ce contexte, l'analyse des paramètres de la fluorescence de la chlorophylle est considérée comme une approche intéressante pour diagnostiquer le rendement de l'activité photosynthétique de la plante (Araus et *al.*, 1998 ; Clark et *al.*, 2000 ; Baker, 2008 ; Hamli et *al.*, 2015). En effet, selon Li et *al.*, (2006) la technique de la fluorescence fournit une mesure rapide de la capacité de la plante à tolérer le stress. Elle discrimine nettement entre les génotypes tolérants et ceux qui sont sensibles.

La fluorescence de la chlorophylle a est une réémission de l'énergie lumineuse absorbée par la molécule de la chlorophylle (Baker, 2008). L'importance de cette réémission est déterminée par la quantité de lumière absorbée par la feuille échantillonnée et la compétition entre les autres processus intervenant dans le processus de dissipation de l'énergie absorbée telle que l'émission sous forme de chaleur latente (processus non photochimique) et dissipation sous forme d'activité photochimique du PSII (processus photochimique). Ainsi la réduction de l'énergie utilisée dans un processus est récupérée par l'autre processus. La variation de la fluorescence reflète une variation de l'efficacité d'utilisation de l'énergie absorbée par le processus photochimique qui est la photosynthèse (Baker, 2008).

La fluorescence est mesurée avec le fluorimètre (Figure 4) qui détermine les paramètres F_0 et F_m . F_0 représente l'émission de l'énergie lumineuse par la chlorophylle dans les antennes structurales du PSII. Cette valeur est atteinte lorsque le premier accepteur d'électron du PSII est complètement oxydé (vide), c'est-à-dire après que la plante s'adapte à l'obscurité. F_m représente la fluorescence maximale, atteinte une fois la plante est submergée par la lumière, alors que les accepteurs d'électrons des photosystèmes sont réduits (Baker, 2008).

F_v représente les valeurs de la fluorescence intermédiaires entre F_0 et F_m et qu'on appelle fluorescence variable, il est déduit par la différence $F_m - F_0$. Le rapport de la fluorescence variable à la fluorescence maximale (F_v/F_m) est le plus utilisé pour estimer l'efficacité du rendement quantique maximal du PSII. F_v/F_m indique la performance photosynthétique de la plante et il prend une valeur proche de 0.85 dans le cas où la végétation n'est pas soumise aux stress. Des réductions de cette valeur seuil sont indicatrices des effets des stress sur l'activité photosynthétique de la plante.

Elhani et *al.* (2000) mentionnent que le ratio F_v/F_m estimé sous 60°C de stress thermique peut être utilisé comme un test rapide pour le criblage et la discrimination entre génotypes tolérants et génotypes sensibles aux températures élevées de fin de

cycle qui caractérisent les milieux au climat méditerranéen. Royo et *al.* (2000) mentionnent que lorsque la variation du ratio Fv/Fm est due à celle du paramètre Fm et non à celle du paramètre F0, ceci suggère l'existence possible d'un mécanisme photo protecteur chez les génotypes testés. De tels génotypes qui se caractérisent par un tel comportement sont généralement tolérants et minimisent la baisse du rendement sous stress relativement à la performance en absence de stress.

Hamli et *al.*, (2015) mentionnent que le choc thermique augmente le contenu en proline, celui des sucre solubles, le pourcentage de cellules endommagées et diminue le ratio Fv/Fm chez les lignées de blé dur. Le cultivar Waha est déclaré tolérant sur la base de ce ratio. Grzesiak et *al.*, (2003) rapportent des résultats et conclusions similaires au sujet de l'utilisation du ratio Fv/Fm pour la sélection de la tolérance vis-à-vis des stress abiotiques chez le triticale (*Triticosecale* Wintmark).

Moustakas et *al.*, (1993), suite à des études de la résistance de la céréale à l'aluminium, suggèrent à cet effet l'utilisation du ratio Fv/Fm et ce, parce que la réduction de la valeur de ce ratio, chez les génotypes tolérants à l'acidité du sol induite par l'aluminium, est plus faible que celle observée chez les génotypes sensibles à l'acidité induite par cet élément. Les résultats de ces recherches suggèrent, unanimement, que le ratio Fv/Fm est un test physiologique efficace pour le criblage vis à vis des stress.

5.2.7. RENDEMENT EN GRAINS

Dans les environnements favorables, la sélection des nouvelles variétés plus productives a été faite sur la base du rendement en grains, après sélection pour la résistance aux diverses maladies. Dans ces milieux le progrès génétique était perceptible et le gain de rendement réalisé avoisinait 1% par an pour un potentiel de 70 q/ha (Pfeiffer et *al.*, 2002). Le même schéma de sélection appliqué dans les environnements stressants a donné des résultats peu significatifs et surtout variables dans l'espace et le temps (Ceccarelli et *al.*, 1998).

Simane et *al.*, (1993) notent que l'une des raisons principales de la lenteur de l'amélioration des rendements dans les environnements stressants est le manque de connaissances sur les relations entre le rendement en grains et ses composantes d'une part, et sur les effets de compensation qui s'instaurent entre ces dernières en fonction des effets des stress d'autre part. L'effet de compensation entre les composantes du rendement est un mécanisme de développement important qui est à même de pouvoir maintenir le rendement en grains lors de la reprise après l'effet du stress (Blum, 1996).

Ainsi, sous stress, il y a peu de liaisons entre le nombre de talles herbacées émises et le nombre d'épis produit par unité de surface de sol (Blum et Pnuel, 1990 ; Hadj Youcef, 2002). Abbassenne et *al.* (1998) soulignent que les meilleurs rendements en grains en zones semi arides sont le résultat de la capacité génétique à produire plus d'épis par unité de surface associée à une bonne fertilité. La contribution au nombre de grains par m² vient plus du nombre de grains par épi (caractère plus variable) que du nombre d'épis par m² qui se forme en période plus favorable, caractère moins variable, chez l'orge (Bouzerzour et *al.*, 1998).

Le poids du grain contribue très peu à la variation du rendement en grains des variétés locales sous stress, probablement à cause de la hauteur élevée de ces variétés qui supportent la croissance du grain par transfert des réserves des tiges, en conditions de stress (Blum et *al.*, 1989). Cependant, selon Nachit et Jarrah (1986) le poids moyen du grain joue un rôle important dans la détermination du rendement en grains dans les environnements semi-arides. La durée de remplissage du grain affecte grandement le poids moyen du grain sous environnement favorable, alors qu'en milieu stressant c'est plutôt la vitesse de remplissage du grain qui explique mieux les différences de poids moyen du grain (Gebeyehou et *al.*, 1982 ; Abbassenne et *al.*, 1998).

Simane et *al.* (1993) ainsi que Bahlouli et *al.* (2005) montrent que les effets directs des composantes sur le rendement sont positifs. Ceci indique que si on réussit à maintenir constantes les moyennes des composantes non pris comme critères de

sélection, on peut améliorer le rendement par augmentation de la composante utilisée comme critère de sélection. La difficulté réside dans le fait qu'il est difficile de contrôler la variation des composantes non prises en compte dans le processus de sélection (Benmahammed et *al.*, 2010). Clarke et *al.* (1991) mentionnent qu'une biomasse élevée à maturité est une caractéristique désirable en milieux semi-arides.

Siddique et *al.* (1989) soulignent qu'une biomasse élevée est la cause principale des hauts rendements enregistrés chez les variétés récentes. Un long cycle de développement est plus favorable à la production d'une biomasse aérienne élevée. Cependant les résultats obtenus par Benmahammed et *al.* (2004) indiquent que la biomasse accumulée, le poids de la matière sèche de l'épi ou celui des épis par m², mesurés au stade épiaison, ne sont d'aucune utilité dans la prévision du rendement en grains.

Dakheel et *al.* (1993) notent que l'indice de récolte est positivement corrélé avec le rendement en grains sous une large gamme d'environnements. Cet indice prend des valeurs supérieures à 50% sous conditions de croissance non limitantes (Austin et *al.*, 1980). Il chute à des valeurs inférieures à 40% sous conditions semi-arides. Les possibilités d'amélioration de cet indice engendrent des augmentations du rendement, sous stress. Cette voie semble être conditionnée par la réalisation d'une biomasse aérienne élevée, au stade épiaison, dont il faut extraire le maximum sous forme de grains.

La stabilité du rendement, perçue en terme de réduction de la fréquence des rendements de faibles niveaux, est un objectif très important dans les environnements stressants (Bouzerzour et *al.*, 1998). Les nouvelles variétés d'orge montrent, en général, une faible stabilité spatio-temporelle des rendements. Elles se caractérisent par des rendements élevés en bonnes années et des rendements faibles en années problématiques, comparativement aux variétés locales qu'elles sont censées remplacer.

Ceci traduit que les variétés les moins variables ne sont pas les plus productives (Benmahammed et *al.*, 2004). Ce qui laisse apparaître que le rendement potentiel et sa stabilité sont deux paramètres indépendants qu'il faut concilier pour obtenir une meilleure adaptation du génotype à la variation environnementale du lieu de production.

6. GAIN DU RENDEMENT ET DES CARACTERES ASSOCIES

Bouzerzour et *al.* (2002) mentionnent, suite à une étude comparant la productivité et l'adaptation de l'orge et des blés, en zone semi-aride, que l'orge est plus adaptée que le blé dur à cette région. La variété Barberousse n'arrive à dépasser la variété Tichedrett que dans 53% des cas. Les génotypes très productifs accusent une plus grande réduction du rendement sous stress hydrique comparativement aux génotypes à rendement modéré. Les auteurs signalent que des exemples de relations positives existent entre un rendement potentiel élevé et la sensibilité à la sécheresse.

Fellah et *al.* (2002) trouvent une relation négative entre l'adaptation mesurée par la tolérance au stress thermique et le rendement en grains. Les variétés tolérantes, produisent moins en absence de stress comparativement aux variétés sensibles. L'inverse est vrai en présence de stress avec un écart de rendements plus élevé entre environnements chez les génotypes sensibles que chez les génotypes tolérants. L'amplitude de l'écart est due surtout aux bonnes performances des génotypes sensibles sous conditions optimales qu'à leurs performances sous stress hydrique qui restent très proches de celles des variétés tolérantes.

Selon Ceccarelli (1994), de nombreux programmes d'amélioration nationaux et internationaux considèrent la recherche d'une large adaptation comme un objectif primordial. Cette sélection conduit à l'identification d'un nombre réduit de génotypes adoptés sur de vastes superficies où la variation climatique est très importante. Cette pratique qui réduit de la diversité génétique, n'est pas sans risque d'autant plus que les

agriculteurs ne sont pas intéressés par des cultivars largement adaptés dans l'espace, mais plutôt par des cultivars spécifiquement adaptés à leurs conditions et utilisations.

Annicchiarico et Perenzin (1994) ainsi que Nouar et *al.*, (2012) notent que dans une région comprenant plusieurs localités, une interaction génotype x localité plus importante qu'une interaction génotype x saison suggère une subdivision de cette région en plusieurs macro-environnements uniformes (Sous-régions) de sélection, pour leur appliquer une sélection spécifique.

Passioura (1996) remarque que les environnements de stress, souvent très variables, nécessitent une expérimentation multi-sites et multi-années pour démontrer les avantages d'un cultivar donné. Ce type d'expérimentations évalue les mêmes génotypes sous les mêmes conditions culturales et climatiques. Il permet ainsi de mesurer les changements qui touchent les caractères liés à l'architecture de la plante, suite aux effets du processus de sélection.

Le gain génétique du rendement grain est associé à l'augmentation du nombre de grains par m² et à celui du poids de 1000 grains (Cox et *al.*, 1988 ; Nouar et *al.*, 2010). L'amélioration de la fertilité, seule ou combinée avec le nombre d'épis par m², est rapportée comme étant une cause de l'augmentation du rendement grain des nouvelles variétés (Slafer et Andrade, 1989 ; Austin et Ford, 1989).

L'amélioration du rendement en grains chez les nouvelles obtentions vient du fait d'une amélioration de l'indice de récolte (Austin, 2000). Les nouvelles obtentions semblent posséder la capacité d'une meilleure utilisation de l'azote du sol et des fertilisants pour produire plus de grains, avec une nette efficacité d'utilisation de l'azote en post-anthèse (Cox et *al.*, 1988 ; Ortiz-Monasterio et *al.*, 1997).

Chez l'orge, l'amélioration du rendement est plus associée à l'augmentation du nombre de grains qu'à celle du poids du grain. Les effets des stress de fin de cycle limitent l'amélioration du poids du grain et ce, malgré la compensation au profit de ce

caractère induit par la réduction du nombre de grains par m². Les changements obtenus chez les nouvelles variétés concernant le nombre de grains par m² sont plus dues au nombre d'épis produits qu'au nombre de grains par épi (Abeledo et *al.*, 2002 ; Meziani et *al.*, 2011 ; Bensemane et *al.*, 2011). De ce fait, le rendement chez l'orge semble plus lié à la capacité de la plante à faire monter plus de talles herbacées en épis qu'à la fertilité épi.

Ces deux caractéristiques sont très divergentes chez les orges à 6 et à 2 rangs. Les premières se distinguent par une fertilité épi élevée alors que les secondes ont une capacité de production talles-épis très élevée (Bensemane et *al.*, 2011). Sous conditions de stress, les géotypes qui produisent moins de talles-épis sont généralement les plus tolérants et les plus productifs, alors que c'est la situation inverse sous conditions favorables où se sont les géotypes qui produisent plus de talles épis qui font des rendements élevés. Garcia del Moral et *al.*, (2003) rapportent que, sous les conditions méditerranéennes, les orges à 6 rangs se montrent plus stables alors que les orges à 2 rangs répondent plus à la fertilité.

Jilal (2011), étudiant une importante collection de variétés locales collectées de 43 pays note, aussi bien chez les 2 que chez les 6 rangs, que le rendement est corrélé avec la biomasse, que l'extrusion du péduncule est corrélée avec la longueur de ce caractère et que la durée de la phase végétative est négativement corrélée avec le rendement et les propriétés (longueur, extrusion, poids) du col de l'épi. Les résultats de l'étude réalisée par cet auteur indiquent que le matériel présentant une dépression élevée de la température de la canopée se trouve plus dans le matériel d'origine marocaine et que le matériel présentant un ratio Fv/Fm et un contenu en chlorophylle élevés est plus présent dans le matériel d'origine Iranienne (Jilal, 2011).

CHAPITRE II

**ÉTUDE DE LA VARIABILITE PHÉNOTYPIQUE ET DES
RELATIONS ENTRE CARACTÈRES D'UNE POPULATION
F3 D'ORGE (*HORDEUM VULGARE* L.), SOUS
CONDITIONS SEMI-ARIDES**

ملخص

الهدف من هذا البحث هو تقييم التباين المظهري للصفات الزراعية التي تساهم في الكفاءة والتأقلم لدى الشعير ذو 2 و 6 خطوط تحت الظروف المناخية شبه الجافة و استخلاص أنماط وراثية ذات مردود و تأقلم عاليين. أجريت التجربة باستعمال بذور سنبله واحدة لـ 450 سلالة من الجيل الثالث خلال الموسم الزراعي 2010/2009 و لـ 50 سلالة من الجيل الرابع خلال 2011/2010 بالإضافة إلى 5 شواهد و هذا باستخدام التصميم التجريبي المتصاعد. تشير النتائج إلى وجود تباين معتبر لدى كل من العشيرتين ذوتي خطين و 6 خطوط بالنسبة لجميع المتغيرات المقاسة. كانت 7,8 % من السلالات ذات خطين و 47,2 % من السلالات ذات 6 خطوط لها مردود حبي معنويا أكثر من مردود أحسن شاهد، مما يدل على كفاءة الشعير ذو 6 خطوط تحت ظروف المناخ شبه الجاف. يظهر الانتخاب غير المباشر، أحادي و متعدد الصفات أقل فعالية مقارنة بالانتخاب المباشر لتحسين المردود الحبي بحيث يسمح باستخلاص من 30 إلى 90% من السلالات. عموما الاستجابة للانتخاب، المباشر و غير المباشر، أحادي و متعدد الصفات يؤكد تأقلم الشعير ذو 6 خطوط. من أصل 50 سلالة منتخبة أظهرت سلالتين من الشعير ذو 6 خطوط و سلالة واحدة من ذوات الخطين مردود حبي معنوي أكبر من مردود أحسن الشواهد. كما بينت النتائج أن استقرار المردود و التأقلم يتعلقان بعدة صفات من بينها مركبات المردود و الكتلة الحيوية الخارجية و اللاتين تلعبان في غياب التفاعل نمط X محيط، دورا هاما جدا. كما تبين النتائج أيضا أن المردود الحبي صفة معقدة و التي تساهم فيها كل الصفات الزراعية، المرفولوجية و الفيزيولوجية. يصعب التكهن بالصفة التي لها تأثير في الانتخاب في غضون سنة واحدة أو مكان ما. تشير نتائج هذه الدراسة أن إستراتيجية تحسين المردود و التأقلم تحت الظروف شبه الجافة تكمن أساسا في استعمال التصلبات بين أنماط ذات 6 خطوط من أجل تجميع جينات الصفات المرغوبة في السلالات المنحدرة كعدد السنابل، عدد الحبات في السنبله و الكتلة الحيوية هوائية. جمع هذه الصفات باستعمال التصلبات متنوع بالانتخاب من شأنه أن يؤدي، على المدى الطويل إلى استنباط أنماط وراثية كفوءة و متأقلمة.

الكلمات المفتاحية: مردود، تأقلم، خطين، ستة خطوط، انتخاب، تباين، استجابة، متعدد الصفات.

RESUME

L'objectif de cette recherche est d'évaluer la variabilité phénotypique des caractères agronomiques impliqués dans la performance et l'adaptation, chez les orges (*Hordeum vulgare* L.) à 2 et à 6 rangs, sous conditions semi-arides et de caractériser les géotypes performants et adaptés. L'expérimentation a été conduite, en 2009/10, avec 450 épis-lignées F3 et 50 lignées F4, en 2010/11, en plus des cinq témoins, dans un dispositif expérimental augmenté. Les résultats montrent une variabilité appréciable aussi bien au sein de la population des orges à 2 que chez celles à 6 rangs pour l'ensemble des variables mesurées. 7.8% des lignées à 2 rangs et 47.2% des lignées à 6 rangs ont un rendement en grains significativement supérieur au rendement du meilleur témoin, suggérant ainsi la meilleure performance des orges à 6 rangs sous les conditions semi-arides. La sélection indirecte, mono et multi-caractères, se montre moins efficace que la sélection directe pour améliorer le rendement en grains. Elle sélectionne entre 30 à 90% des lignées identifiées par la sélection directe. La réponse à la sélection directe et indirecte, mono et multi-caractères confirme, globalement, l'adaptation des orges à 6 rangs. Sur les 50 sélectionnées, seules 2 lignées à 6 rangs et 1 lignée à 2 rangs présentent un rendement en grains significativement supérieur au rendement des meilleurs témoins. Les résultats indiquent aussi que la stabilité du rendement et l'adaptation sont dépendantes de plusieurs caractéristiques dont les composantes du rendement et la biomasse aérienne lesquelles jouent, en absence d'interaction géotype x environnements, un rôle essentiel. Ils indiquent également que le rendement en grains est un caractère très complexe auquel contribue pratiquement l'ensemble des caractères constituant l'architecture de la plante. Partant, il est difficile de prédire quel est le caractère qui aura le plus d'effet en sélection au cours d'une année ou dans un lieu donné. Les résultats de la présente étude suggèrent que la stratégie à déployer, pour améliorer le rendement et l'adaptation, sous conditions semi-arides, doit être basée essentiellement sur l'utilisation, en croisements, des géniteurs à 6 rangs pour accumuler, chez la descendance, les gènes favorables à l'expression des caractères tels que le nombre d'épis, de grains par épi et la biomasse aérienne. La combinaison de ces caractères, par croisements suivis de criblages de la descendance, déboucherait, à long terme, à la sélection de géotypes performants et adaptés.

Mots clés : *Hordeum vulgare*, rendement, adaptation, 2 et 6 rangs, sélection différentielle, réponse, multi caractères.

ABSTRACT: The objective of this research is to evaluate the phenotypic variation of agronomic traits implicated in the performance and adaptation of 2 and 6 row-type barleys, under semi-arid conditions and to characterize the best performing and adapted ones. The experiment was conducted during the 2009/10, with 450 F3-head rows lines and 50 selected F4-line, in 2010/11, along with five checks, in an augmented design. The results showed appreciable variability among 2 and 6 row-type barley lines for most of the measured traits. 7.8% of 2-row type lines and 47.2% of 6-row type had grain yield significantly higher than best check grain yield, suggesting that 6-row type were more performing under semi-arid conditions. Indirect, mono and multi-traits, selection was less efficient than direct selection to enhance grain yield. Indirect selection identified between 30 and 90% of the lines selected on the basis of grain yield. The response to direct and indirect selections confirmed globally the adaptation of 6-row type barley, with only two 6-row type lines and one 2-row type line, among the 50 selected, presenting a grain yield significantly higher than the best check grain yield. The results indicated, also, that yield stability and adaptation were dependent on several characteristics among which yield components and above ground biomass played a key role, in the absence of genotype x environments interaction. Grain yield appeared as a complex trait to which contribute variably, practically, most of the traits constitutive of the plant architecture. It is difficult to predict which trait will have more effect in a given year or environment. However the results suggested that the strategy to deploy to improve yield stability and adaptation, under semi-arid conditions, must be based essentially on the utilization, in crosses, 6-row type as parents to cumulate in the progenies favorable alleles controlling the expression of traits such as spike number, kernels per spike and above ground biomass. Combination of these traits, through crossing and screening, may lead, in the long run, to the identification of high yielding and adapted genotypes.

Key words : *Hordeum vulgare*, grain yield, adaptation, row type, selection differential, response, multi traits.

ملخص

الهدف من هذا البحث هو تقييم التباين المظهري للصفات الزراعية التي تساهم في الكفاءة والتأقلم لدى الشعير ذو 2 و 6 خطوط تحت الظروف المناخية شبه الجافة و تشخيص أنماط الوراثة ذات مردود و تأقلم عاليين. أجريت التجربة باستعمال بذور سنبله واحدة لـ 450 سلالة من الجيل الثالث خلال الموسم الزراعي 2010/2009 و لـ 50 سلالة من الجيل الرابع خلال 2011/2010 بالإضافة إلى 5 شواهد و هذا باستخدام التصميم التجريبي المتصاعد. تشير النتائج إلى وجود تباين معتبر لدى كل من العشيرتين ذاتي خطين و 6 خطوط بالنسبة لجميع المتغيرات المقاسة. كانت 7,8 % من السلالات ذات خطين و 47,2 % من السلالات ذات 6 خطوط لها مردود حبي معنويا أكثر من مردود أحسن شاهد، مما يدل على كفاءة الشعير ذو 6 خطوط تحت ظروف المناخ شبه الجاف. يظهر الانتخاب غير المباشر، أحادي و متعدد الصفات أقل فعالية مقارنة بالانتخاب المباشر لتحسين المردود الحبي بحيث يسمح باستخلاص من 30 إلى 90% من السلالات. عموما الاستجابة للانتخاب، المباشر و غير المباشر، أحادي و متعدد الصفات يؤكد تأقلم الشعير ذو 6 خطوط. من أصل 50 سلالة منتخبة أظهرت سلالتين من الشعير ذو 6 خطوط و سلالة واحدة من ذوات الخطين مردود حبي معنوي أكبر من مردود أحسن الشواهد. كما بينت النتائج أن استقرار المردود و التأقلم يتعلقان بعدة صفات من بينها مركبات المردود و الكتلة الحيوية اللاتين تلعبان في غياب التفاعل نمط X محيط، دورا هاما جدا. كما تبين النتائج أيضا أن المردود الحبي صفة معقدة و التي تساهم فيها كل الصفات الزراعية، المرفولوجية و الفيزيولوجية. يصعب التكهن بالصفة التي لها تأثير في الانتخاب في غضون سنة واحدة أو مكان ما. تشير نتائج هذه الدراسة أن إستراتيجية تحسين المردود و التأقلم تحت الظروف شبه الجافة تكمن أساسا في استعمال التصلبات بين أنماط ذات 6 خطوط من أجل تجميع جينات الصفات المرغوبة في السلالات المنحدرة كعدد السنابل، عدد الحبات في السنبله و الكتلة الحيوية هوائية. جمع هذه الصفات باستعمال التصلبات متنوع بالانتخاب من شأنه أن يؤدي، على المدى الطويل إلى استنباط أنماط وراثية كفؤة و متأقلمة.

الكلمات المفتاحية: شعير، مردود، تأقلم، خطين، ستة خطوط، انتخاب، تباين، استجابة، متعدد الصفات.

RESUME

L'objectif de cette recherche est d'évaluer la variabilité phénotypique des caractères agronomiques impliqués dans la performance et l'adaptation, chez les orges (*Hordeum vulgare* L.) à 2 et à 6 rangs, sous conditions semi-arides et de caractériser les géotypes performants et adaptés. L'expérimentation a été conduite, en 2009/10, avec 450 épis-lignées F3 et 50 lignées F4, en 2010/11, en plus des cinq témoins, dans un dispositif expérimental augmenté. Les résultats montrent une variabilité appréciable aussi bien au sein de la population des orges à 2 rangs que chez celles à 6 rangs pour l'ensemble des variables mesurées. 7.8% des lignées à 2 rangs et 47.2% des lignées à 6 rangs ont un rendement en grains significativement supérieur au rendement du meilleur témoin, suggérant ainsi la meilleure performance des orges à 6 rangs sous les conditions semi-arides. La sélection indirecte, mono et multi-caractères, se montre moins efficace que la sélection directe pour améliorer le rendement en grains. Elle sélectionne entre 30 à 90% des lignées identifiées par la sélection directe. La réponse à la sélection directe et indirecte, mono et multi-caractères confirme, globalement, l'adaptation des orges à 6 rangs. Sur les 50 sélectionnées, seules 2 lignées à 6 rangs et 1 lignée à 2 rangs présentent un rendement en grains significativement supérieur au rendement des meilleurs témoins. Les résultats indiquent aussi que la stabilité du rendement et l'adaptation sont dépendantes de plusieurs caractéristiques dont les composantes du rendement et la biomasse aérienne lesquelles jouent, en absence d'interaction géotype x environnements, un rôle essentiel. Ils indiquent également que le rendement en grains est un caractère très complexe auquel contribue pratiquement l'ensemble des caractères constituant l'architecture de la plante. Cependant, il est difficile de prédire quel est le caractère qui aura le plus d'effet en sélection au cours d'une année ou dans un lieu donné. Les résultats de la présente étude suggèrent que la stratégie à déployer, pour améliorer le rendement et l'adaptation, sous conditions semi-arides, doit être basée essentiellement sur l'utilisation, en croisements, des géniteurs à 6 rangs pour accumuler, chez la descendance, les gènes favorables à l'expression des caractères tels que le nombre d'épis, de grains par épi et la biomasse aérienne. La combinaison de ces caractères, par croisements suivis de criblages de la descendance, déboucherait, à long terme, à la sélection de géotypes performants et adaptés.

Mots clés : *Hordeum vulgare*, rendement, adaptation, 2 et 6 rangs, sélection différentielle, réponse, multi caractères.

ABSTRACT: The objective of this research is to evaluate the phenotypic variation of agronomic traits implicated in the performance and adaptation of 2 and 6 row-type barleys, under semi-arid conditions and to characterize the best performing and adapted ones. The experiment was conducted during the 2009/10, with 450 F3-head rows lines and 50 selected F4-line, in 2010/11, along with five checks, in an augmented design. The results showed appreciable variability among 2 and 6 row-type barley lines for most of the measured traits. 7.8% of 2-row type lines and 47.2% of 6-row type had grain yield significantly higher than best check grain yield, suggesting that 6-row type were more performing under semi-arid conditions. Indirect, mono and multi-traits, selection was less efficient than direct selection to enhance grain yield. Indirect selection identified between 30 and 90% of the lines selected on the basis of grain yield. The response to direct and indirect selections confirmed globally the adaptation of 6-row type barley, with only two 6-row type lines and one 2-row type line, among the 50 selected, presenting a grain yield significantly higher than the best check grain yield. The results indicated, also, that yield stability and adaptation were dependent on several characteristics among which yield components and above ground biomass played a key role, in the absence of genotype x environments interaction. Grain yield appeared as a complex trait to which contribute variably, practically, most of the traits constitutive of the plant architecture. It is difficult to predict which trait will have more effect in a given year or environment. However the results suggested that the strategy to deploy to improve yield stability and adaptation, under semi-arid conditions, must be based essentially on the utilization, in crosses, 6-row type as parents to cumulate in the progenies favorable alleles controlling the expression of traits such as spike number, kernels per spike and above ground biomass. Combination of these traits, through crossing and screening, may lead, in the long run, to the identification of high yielding and adapted genotypes.

Key words : *Hordeum vulgare*, grain yield, adaptation, row type, selection differential, response, multi traits.

INTRODUCTION

L'orge (*H. vulgare* L.) est, en Algérie, la céréale la plus importante, en termes de superficies et de productions, après le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Elle est essentiellement utilisée en alimentation animale et l'alimentation humaine n'est que de l'ordre de 15 kg/hab/an (Grando et Macpherson, 2005).

Suite à son cycle de culture relativement plus court, qui lui permet d'échapper au déficit hydrique et aux températures élevées de fin de cycle, la culture de l'orge est pratiquée dans les étages bioclimatiques arides et semi-arides, où la culture des blés dur et tendre (*T. durum* Desf. et *T. aestivum* L.) est plus risquée.

La culture de cette espèce et l'élevage des ovins constituent les principales activités agricoles de ces régions où la pluviométrie et la fréquence du gel printanier affectent l'espérance de rendement en grains (Van Oosterom et *al.*, 1993 ; Bouzerzour et Benmahammed, 1994 ; Bouzerzour et Dekhili, 1995). Le rendement en grains est faible suite à l'adoption d'un itinéraire technique peu ambitieux, à des conditions pédoclimatiques peu favorables et au faible potentiel des variétés emblavées.

Pour améliorer la production et assurer la durabilité de développement de ces régions marginales, la sélection de variétés performantes, résilientes et mieux adaptées aux divers stress qui caractérisent le milieu de production, est une alternative prometteuse.

En effet l'adoption d'une variété adaptée peut changer de manière très significative la dynamique de la production de la région ciblée. L'adoption du blé tendre HD₁₂₂₀ et des blés durs Waha et Bousselam, entre autres, sur les plaines intérieures et le Nord des hauts plateaux, est un exemple illustratif à plus d'un titre (Annichiarico et *al.*, 2005 ; Mekhlouf et *al.*, 2006 ; Benmahammed et *al.*, 2010).

La tolérance des stress est un problème complexe qui fait agir, plus ou moins simultanément, des caractères d'ordre morphologiques, physiologiques et

biochimiques. La sélection de variétés adaptées et performantes, sous conditions contraignantes en fin de cycle, est un objectif majeur du programme d'amélioration de l'orge destinée aux hauts plateaux.

Pour ce faire, l'orge à 6 rangs est préférentiellement sélectionnée sur la base des dimensions de son grain et la production d'une biomasse élevée (Bouzerzour et *al.*, 1998 ; Kadi et *al.*, 2010 ; Menad et *al.*, 2011). La stabilité des performances et l'adaptation au milieu sont ciblées en callant le cycle avec la période où l'humidité est relativement plus disponible tout en évitant le gel tardif (Van Oosterom et *al.*, 1993 ; Bouzerzour et Benmahammed, 1994 ; Kadi et *al.*, 2010).

La plus part des caractères agronomiques liés au potentiel de rendement en grains et à l'adaptation varient largement selon les milieux et les sources génotypiques (Van Oosterom et *al.*, 1993 ; Garcia del Moral et *al.*, 2003). La connaissance de la variabilité d'origine génétique et des relations qui lient les caractères d'intérêts, chez le matériel végétal soumis à la sélection, est nécessaire pour valoriser les différentes sources de germoplasmes disponibles (Ceccarelli et *al.*, 1991 ; Le Gouis et *al.*, 1999).

Le programme national de l'amélioration de l'orge reçoit d'importantes quantités de matériel fixé et en ségrégation, venant des centres internationaux, notamment de l'ICARDA. Ce matériel est constitué de lignées à 2 et 6 rangs. Une meilleure connaissance des potentiels de performance et d'adaptation des orges à 2 et à 6 rangs permet de mieux cibler le type de matériel à sélectionner et sur quelle base cette sélection doit être pratiquée.

L'objectif de cette recherche est d'évaluer la variation phénotypique des caractères agronomiques, notamment ceux qui sont souvent impliqués dans la performance et l'adaptation, chez les orges à 2 et à 6 rangs sous conditions semi- arides et de caractériser les géotypes qui sont les plus performants pour ces caractéristiques.

MATERIEL ET METHODES

1. MATERIEL VEGETAL ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'expérimentation a été conduite sur le site de la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures de Sétif (SEA-ITGC-Sétif) au cours des campagnes 2009/10 et 2010/11. Le site expérimental est situé aux coordonnées géographiques 36° 12' N et 5° 24' E et à une altitude de 1081 m au-dessus du niveau de la mer. Le climat de la région du site expérimental est de type méditerranéen, continental, semi-aride, caractérisé par un été chaud et sec, et un hiver froid et humide (Chenaffi *et al.*, 2006).

L'expérimentation de la première année, 2009/10, comporte le suivi de 450 épis-lignées (306 de type 2 rangs et 144 de type 6 rangs), pris aléatoirement de la génération F₂, mise en place sur le site de la station INRAA de Sidi Bel Abbés au cours de la campagne 2008/2009. Cette génération F₂ est issue d'un mélange de 1600 F₁, créés par l'ICARDA, pour les besoins du programme de la sélection participative de la région de l'Asie de l'Ouest et l'Afrique du Nord (WANA = West Asia and North Africa), (Ceccarelli *et al.*, 2010).

Les 450 lignées ont été semées sur cinq sous blocs de 90 lignées chacun. Les témoins Tichedrett, Saida, Barberousse, Fouara et Rihane ont été randomisés par sous bloc et répétés dans les 5 sous blocs, dans un dispositif expérimental de type augmenté (Petersen, 1982). Ce dispositif a été développé par Federer (1958) et décrit par Petersen (1976). Il est utilisé en sélection précoce, notamment lorsque le nombre de lignées à évaluer est très élevé et la quantité de semences disponible par lignée est trop faible pour réaliser des répétitions.

Dans ce dispositif, chaque nouvelle lignée apparaît une seule fois dans tout l'essai, par contre les témoins sont randomisés à l'intérieur de chaque bloc et répétés dans les différents blocs. La présence des témoins dans chaque bloc constitue la spécificité de ce dispositif expérimental. Chaque épi-lignée est semé sur un rang de 1 m de long avec 20 cm de distance inter rangs.

Les témoins sont des géotypes à 6 rangs. Tichedrett et Saida sont des variétés issues de sélections généalogiques faites à l'intérieur des populations d'orge algériennes (Adjel et *al.*, 2013). Barberousse est une variété de l'INRA France introduite en 1985 dans le cadre du programme du MAP. Rihane et Fouara sont des sélections des stations de l'ITGC de Sidi Bel Abbés et de Sétif, faites à l'intérieur du matériel en provenance de l'Icarda. Le pedigree de la variété Fouara est Deir alla 106/Strain 205//Gerbel. ICB85. 1376. 0AP. 1AP. 2AP (Benmahammed et *al.*, 2001).

Les 50 sélections issues des 450 épis-lignées mises en place au cours de la campagne 2009/2010 ont été mises en place sur deux rangs de 2.5 m de long au cours de la campagne 2010/11, selon un dispositif augmenté avec huit témoins randomisés par sous bloc. L'ensemble de l'essai est fertilisé avec 100 kg ha⁻¹ de superphosphate avant le semis et 100 kg ha⁻¹ d'urée à 35% au stade tallage. Le contrôle des adventices est réalisé manuellement.

2. MESURES ET NOTATIONS

Les différentes notations et mesures faites, pour les épis-lignées, ont portées sur la hauteur de la végétation (cm) prise de la surface du sol au sommet de l'épi barbes incluses. Le poids de la biomasse aérienne accumulée à maturité, le nombre et le poids des épis ainsi que le rendement en grains sont déterminés à partir du traitement de la végétation récoltée des parcelles élémentaires de 1 m de long. Le poids de 1000 grains est déduit du comptage des graines d'un échantillon dont le poids est de 25 grammes. Le nombre de grains par m² et par épi sont déduits par calcul en utilisant les moyennes du rendement grains, du poids de 1000 grains et du nombre d'épis par m² :

$$NGM^2 = 1000RDT/PMG$$

$$NGE = NGM^2/NE$$

Avec NGM², RDT, PMG, NE et NGE sont respectivement le nombre de grains produit par m², le rendement grain, le poids de 1000 grains, le nombre d'épis et le nombre de

grains par épi. Les mêmes notations et mesures ont été faites pour les sélections semées, au cours de l'année 2010/11.

3. ANALYSE DES DONNEES

Vu la spécificité du dispositif expérimental, l'erreur expérimentale est estimée par l'analyse de variance des témoins qui sont répétés. La méthode adoptée, pour déterminer la part de contribution de chaque caractère morphologique ou phénologique à la variance totale du rendement en grains, est la régression pas à pas (*stepwise regression*) du rendement en grains (Y) comme variable dépendante laquelle est fonction des autres variables mesurées introduites comme variables indépendantes. Cette approche statistique permet de fournir un modèle reliant le rendement en grains aux caractères qui lui sont significativement corrélés. 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. Les caractères qui jouent un rôle important dans la détermination du rendement en grains sont identifiés par l'analyse en chemin (Garcia del Moral et *al.*, 1991 ; Figure 4).

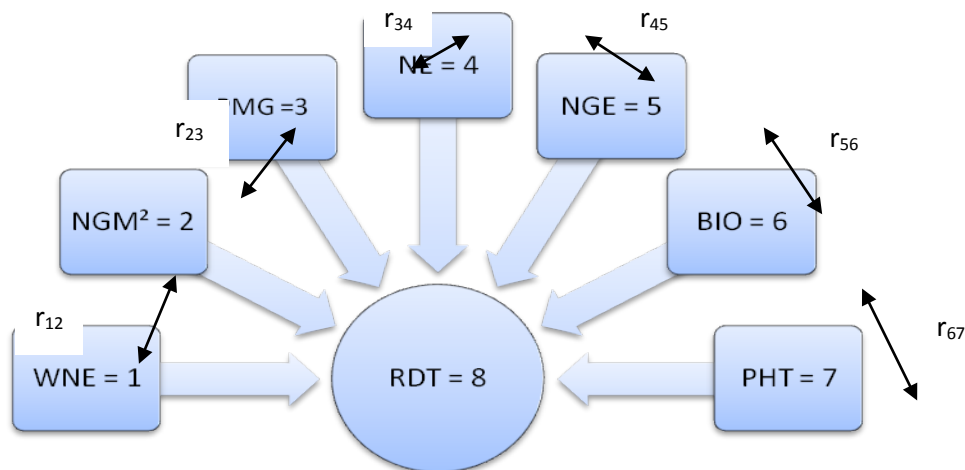


Figure 4. Modèle de l'analyse en chemin adopté

Dans l'analyse en chemin, l'effet direct (P_{ij}) est déduit comme suit :

$$P_{ij} = (ET_i/ET_j) b_{ij}$$

Avec P_{ij} = effet direct de caractère i sur le caractère j (j = rendement en grains), ET_i et ET_j = écarts types des caractères i et j , b_{ij} = coefficient de régression de la variable i sur la variable j . L'effet direct correspond au coefficient de régression standardisé dit Béta (β) (Kar et *al.*, 2008; Ruan et *al.*, 2009). Les effets indirects des autres caractères inclus dans le modèle via un caractère donné, sont déduits comme suit :

$$r_{12}P_{28} = \text{effet indirect de caractère 1 via le caractère 2}$$

$$r_{13}P_{38} = \text{effet indirect de caractère 1 via le caractère 3}$$

avec r_{12} et r_{13} sont les coefficients de corrélation entre les caractères 1 et 2, et 1 et 3. P_{28} et P_{38} sont les effets directs des caractères 2 et 3 sur le caractère 8 (Figure 4).

Pour un caractère causal donné, la somme de l'effet direct plus les effets indirects via les autres caractères est égale au coefficient de corrélation entre ce caractère et le caractère dépendant qui est dans le cas de la présente étude le rendement en grains (caractère $j= 8$) :

$$r_{18} = P_{18} + r_{12}P_{28} + r_{13}P_{38} + r_{14}P_{48} + r_{15}P_{58} + r_{16}P_{68} + r_{17}P_{78}$$

$$r_{28} = P_{28} + r_{21}P_{18} + r_{23}P_{38} + r_{24}P_{48} + r_{25}P_{58} + r_{26}P_{68} + r_{27}P_{78}$$

$$r_{38} = P_{38} + r_{31}P_{18} + r_{32}P_{28} + r_{34}P_{48} + r_{35}P_{58} + r_{36}P_{68} + r_{37}P_{78}$$

$$r_{48} = P_{48} + r_{41}P_{18} + r_{42}P_{28} + r_{43}P_{38} + r_{45}P_{58} + r_{46}P_{68} + r_{47}P_{78}$$

$$r_{58} = P_{58} + r_{51}P_{18} + r_{52}P_{28} + r_{53}P_{38} + r_{54}P_{48} + r_{56}P_{68} + r_{57}P_{78}$$

$$r_{68} = P_{68} + r_{61}P_{18} + r_{62}P_{28} + r_{63}P_{38} + r_{64}P_{48} + r_{65}P_{58} + r_{67}P_{78}$$

$$r_{78} = P_{78} + r_{71}P_{18} + r_{72}P_{28} + r_{73}P_{38} + r_{74}P_{48} + r_{75}P_{58} + r_{76}P_{68}$$

La sélection est pratiquée sur la base des caractères d'intérêts identifiés par les coefficients de corrélation, la régression linéaire, la régression progressive, l'analyse en chemin, la sélection sur index et la différentielle de sélection calculée selon la procédure décrite par Laala et *al.*, (2010). La sélection multi caractères est pratiquée sur la base de l'indice de Wehner (1982), dit Simple-Weighted Index (SWI) qui est calculé comme suit:

$$SWI = \sum a_i (X_i/\sigma_p)$$

où a_i = fraction de 1 indiquant l'importance du caractère i dans l'équation de l'index et X_i = la valeur du caractère i , prise par la lignée, standardisée en unité d'écart type. Dans le cas de la présente étude, les valeurs a_i sont les suivantes $a_1 = 0.4$, $a_2 = 0.1$, $a_3 = 0.2$ et $a_4 = 0.3$ respectivement pour la biomasse (X_1), la hauteur (X_2), le nombre d'épis (X_3) et le poids des épis (X_4).

Les données collectées ont été soumises à la détermination des paramètres statistiques de base utilisant l'option 'analyse descriptive' du logiciel Openstat (2010). Les analyses de la variance ont été réalisées en utilisant l'option 'Balanced anova' du logiciel Cropstat 7.2.3 (2009). La réponse à la sélection effectuée est étudiée sur les lignées sélectionnées et évaluées au cours de la campagne 2010/2011. La typologie des lignées extrêmes issues de cette sélection est faite relativement à la moyenne des meilleurs témoins.

RESULTATS ET DISCUSSION

4. Conditions climatiques

Du point de vu pluviométrie, les dernières campagnes ont enregistré des cumuls de septembre à juin de 376.6, 420.5 et 409.4 mm, respectivement pour 2008/09, 2009/10 et 2010/11 (Figure 5). La distribution est très variable d'une année à l'autre. Ainsi en 2008/09, c'est la fin du cycle de la culture qui est sèche, en 2009/10 c'est le début de l'hiver qui l'est et au cours de cette campagne, c'est plutôt la fin du cycle qui est pluvieuse et la campagne 2010/2011, février et avril étaient les plus pluvieux (Figure 5).

La température moyenne reste inférieure à 10°C pratiquement jusqu'au mois d'avril, ce qui retarde le départ de la croissance de la végétation. Les basses températures sont enregistrées au cours des mois de janvier et février et elles se redressent à partir du mois de mars (Figure 5).

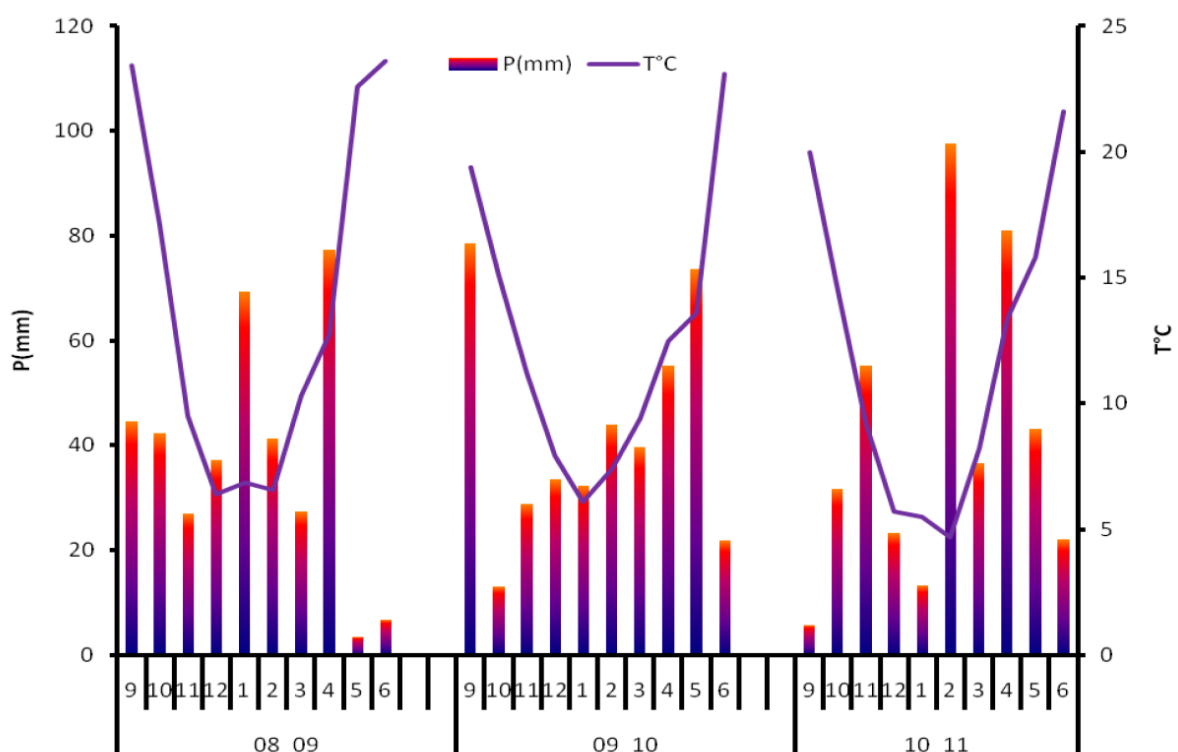


Figure 5. Pluie et température moyenne mensuelles des campagnes 2008/09, 2009/10, 2010/11 du site expérimental de l'ITGC de Sétif (ONM, 2011)

5. VARIABILITE PHENOTYPIQUE

Une variabilité appréciable existe aussi bien au sein de la population des orges à 2 comme au sein de celle des orges à 6 rangs pour l'ensemble des variables mesurées (Tableau 1, Figures 6 à 8). Comparativement aux valeurs moyennes prises par les caractères du meilleur témoin, on note l'existence de lignées candidates à la sélection aussi bien dans le sens de l'augmentation des valeurs des caractères d'intérêts que dans le sens de leur réduction (Tableau 1, Figures 6 à 8).

Tableau 1. Valeurs caractéristiques des populations d'orge à 2 et à 6 rangs

Valeurs	PHT	BIO	NE	WNE	RDT	PMG	NGM ²	NGE
Orge à 2 rangs (n =306)								
Min	40.0	31.2	20.0	27.5	14.9	30.6	268.2	9.3
Max	114.0	1178.0	420.0	800.4	640.0	61.4	13652.3	49.0
Moyenne	85.5	577.3	192.5	287.9	218.5	50.2	4378.3	23.2
ET	10.5	254.3	76.8	124.0	98.1	5.9	2011.2	8.4
Orge à 6 rangs (n =144)								
Min	66.0	97.4	25.0	55.2	24.0	34.9	480.0	10.7
Max	111.0	1288.9	365.0	960.0	680.6	60.2	15880.7	70.6
Moyenne	88.9	807.3	173.8	445.1	343.7	46.9	7402.2	43.6
ET	9.8	317.8	71.1	184.6	149.6	5.9	3302.2	11.7
Variétés témoins								
Rihane	93.3	878.1	256.7	384.2	311.9	46.1	6830.7	26.7
Barberousse	87.0	702.6	176.7	278.6	226.2	44.6	4311.2	24.8
Saida	93.3	628.0	168.3	219.5	178.2	51.9	3964.3	23.0
Tichedrett	92.0	736.7	153.3	214.4	174.1	50.9	3323.5	22.5
Fouara	85.0	814.1	191.7	466.4	378.7	47.2	8077.5	44.7
Ppds5%	7.48	175.0	66.7	68.5	65.3	5.3	1543.2	7.9

PHT = hauteur de la végétation, BIO = biomasse aérienne, g/m² ; NE = nombre d'épis/m² ; WNE = poids des épis g/m² ; RDT = rendement grain, g/m² ; PMG = poids de 1000 grains, g ; NGM² = nombre de grains, m² ; NGE = nombre de grains par épi.

Le meilleur témoin est le cultivar Fouara pour la biomasse, le nombre d'épis, le poids des épis, le rendement en grains, le nombre de grains par m² et le nombre de grains par épi. Saida et Tichedrett présentent le meilleur poids de 1000 grains. A titre d'exemple et pour le rendement en grains dont la moyenne du meilleur témoin est de 378.7 g/m², 7.8% des lignées d'orge à 2 rangs et 47.2% des lignées à 6 rangs présentent un rendement en grains égal ou supérieur à 400 g/m² (Figure 6).

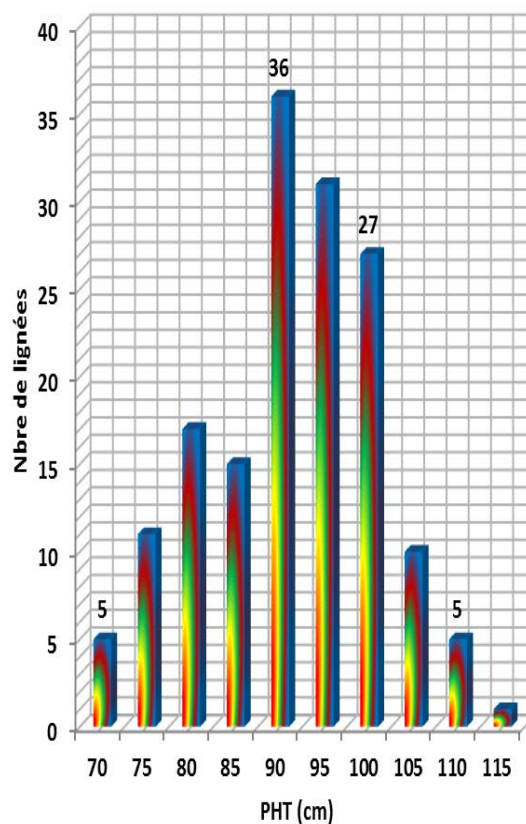
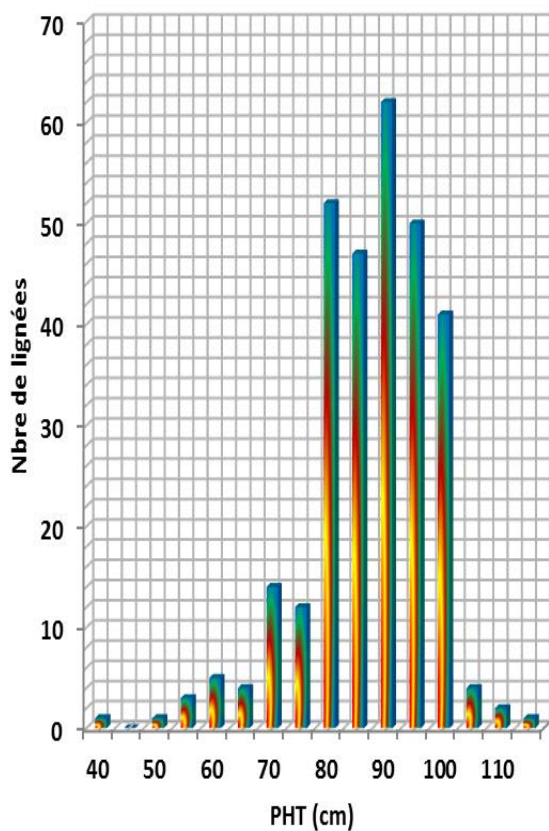
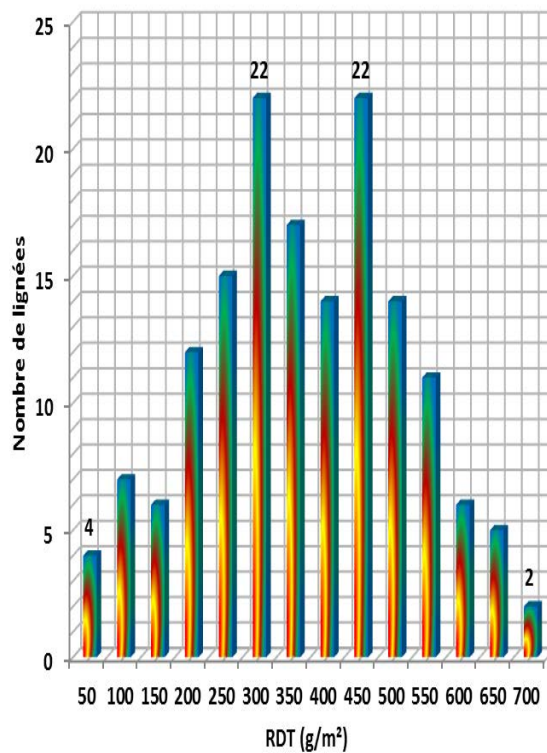
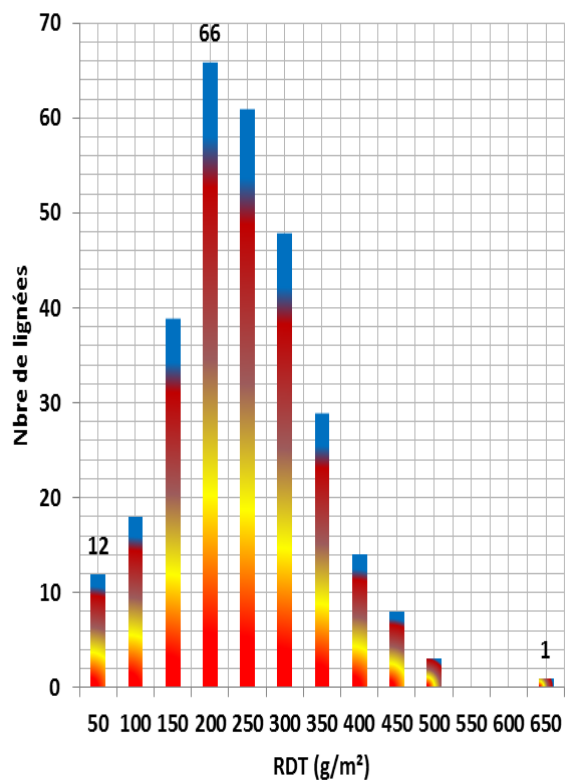


Figure 6. Distribution fréquentielle du rendement en grains et de la hauteur de la végétation des lignées d'orge à 2 rangs (à gauche) et à 6 rangs (à droite) évaluées au cours de la campagne 2009/10.

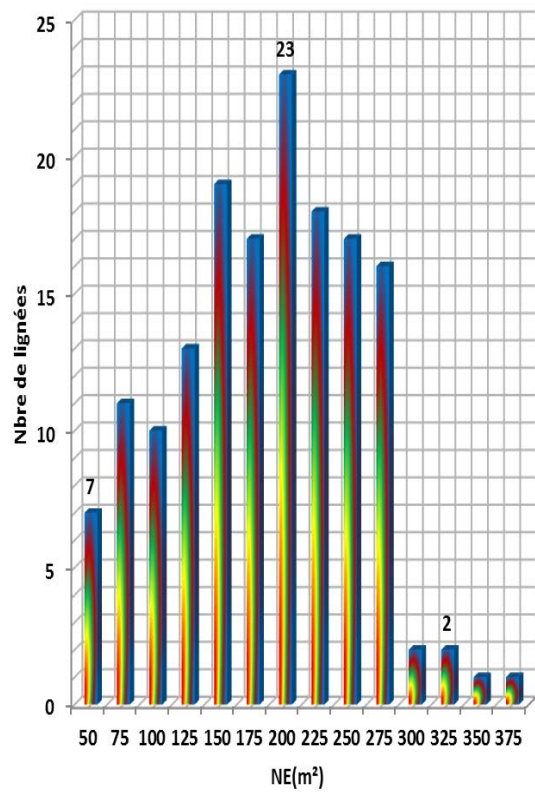
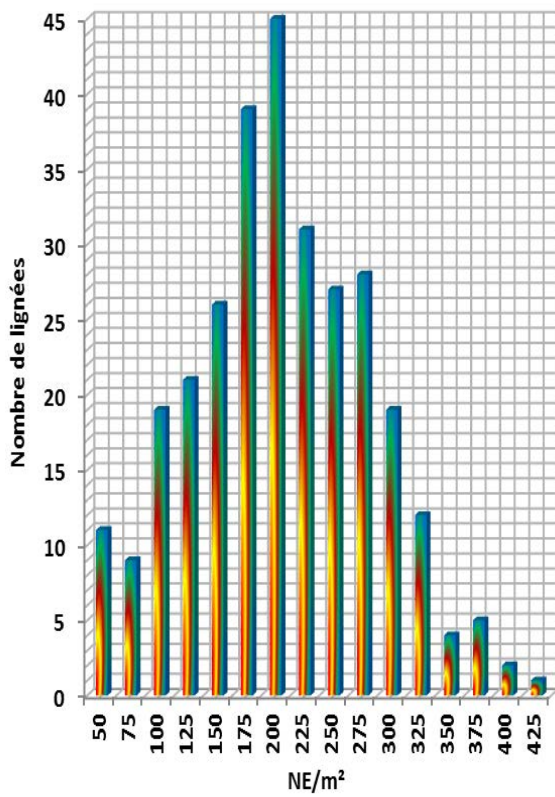
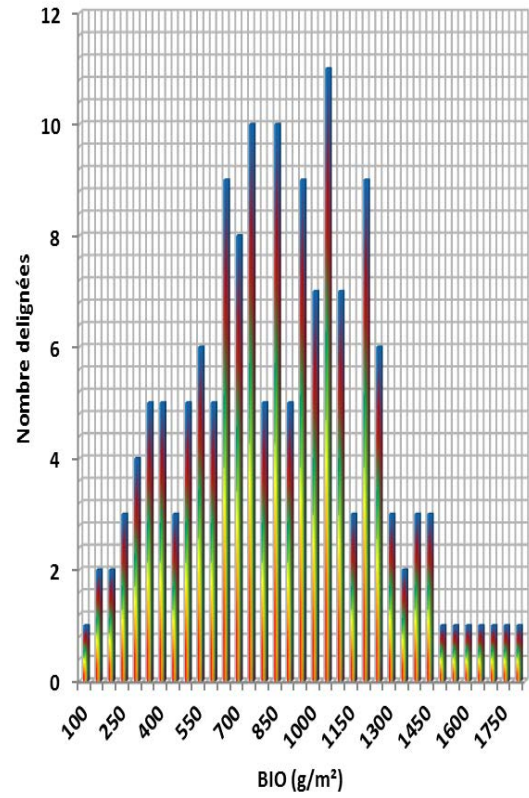
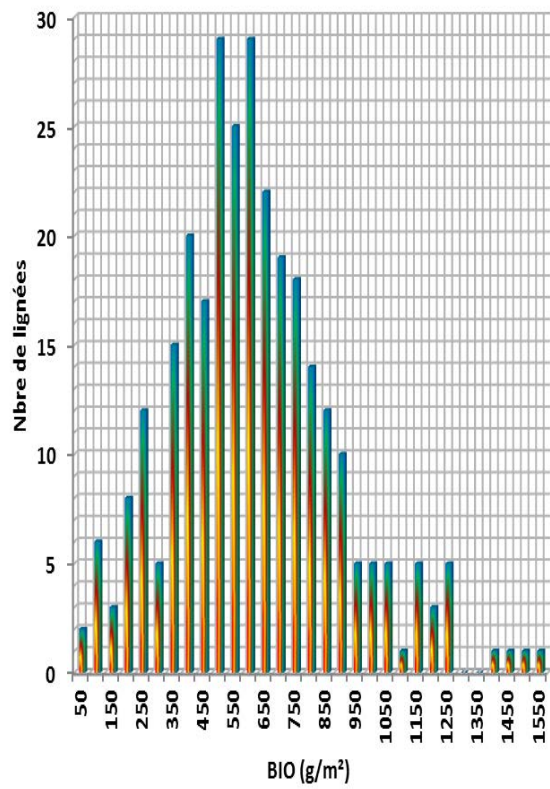


Figure 7. Distribution fréquentielle de la biomasse aérienne et le nombre d'épis des lignées d'orge à 2 rangs (à gauche) et à 6 rangs (à droite) évaluées au cours de la campagne 2009/10.

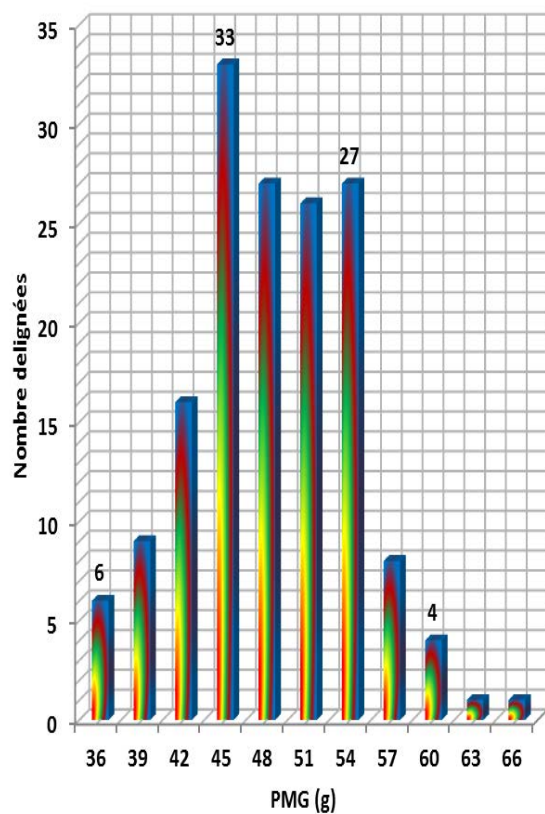
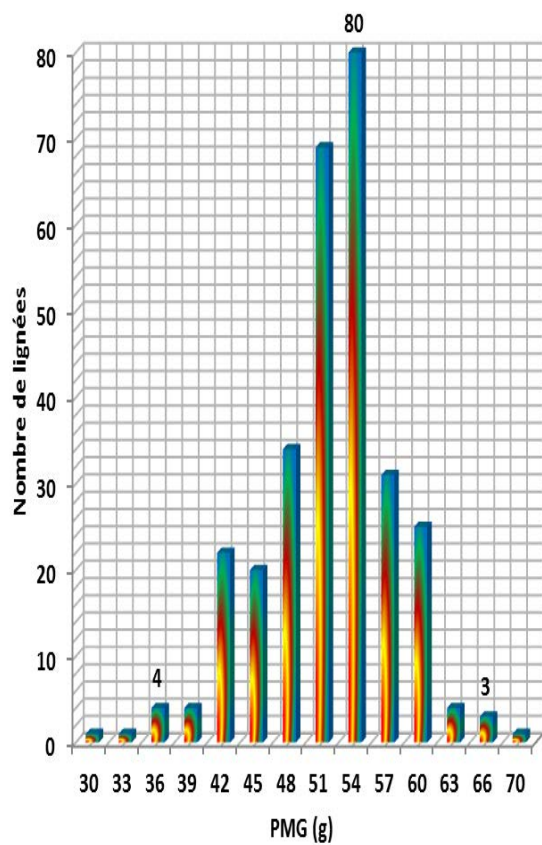
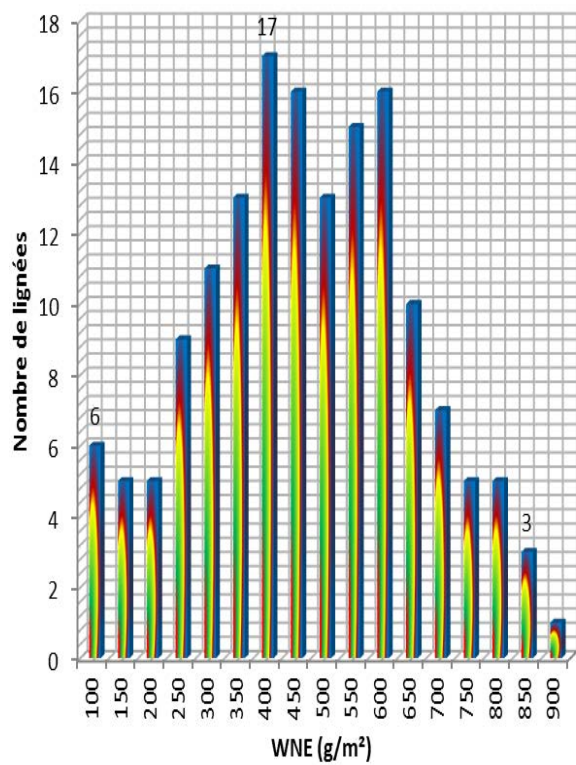
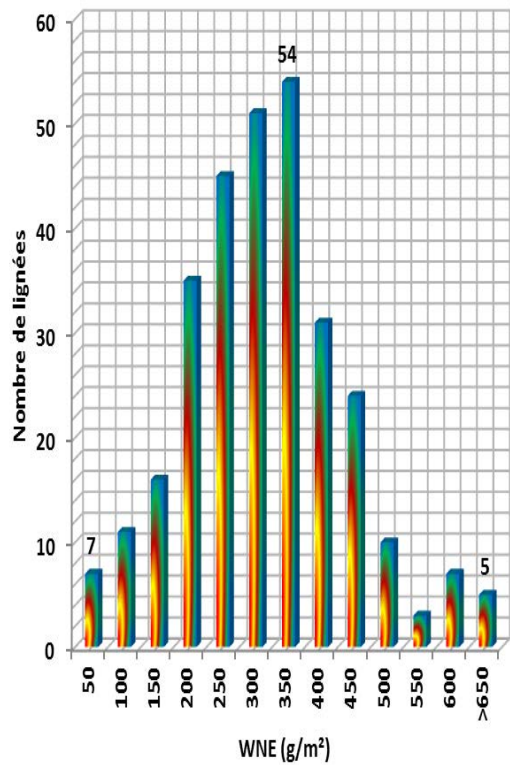


Figure 8. Distribution fréquentielle du poids des épis et du poids de 1000 grains des lignées d'orge à 2 rangs (à gauche) et à 6 rangs (à droite) évaluées au cours de la campagne 2009/10.

Il en est de même pour la hauteur de la plante où 32.7% des lignées à 2 rangs et 47.7% des orges à 6 rangs présentent une moyenne égale ou supérieure à 92 cm. Pour la biomasse aérienne, 23.1% des lignées à 2 rangs et 54.1% des lignées à 6 rangs ont une moyenne égale ou supérieure à 814.0 g/m². Pour le nombre d'épis par m², 58.2% des lignées à 2 rangs et 50.9% des lignées à 6 rangs ont une moyenne égale ou supérieure à 191.0 épis/m². Pour le poids de 1000 grains, 71.2% des lignées à 2 rangs et 42.7% des lignées à 6 rangs ont une moyenne égale ou supérieure à 51.0 gr/1000 graines.

Des pourcentages appréciables existent aussi pour les autres caractères comme le nombre de grains/m²; le poids des épis et le nombre de grains par épi (Tableau 1, Figure 6 à 8). 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 6 rangs par un nombre d'épis et un poids de 1000 grains relativement plus élevés, dont les valeurs moyennes respectives sont de 192.5 épis/m² vs 173.8 épis/m² et 50.2 gr vs 46.9 gr (Tableau 1, Figure 8).

Peu de différences apparaissent, en moyenne, entre les deux types d'orges pour la hauteur de la plante, dont la valeur moyenne varie de 85.5 à 88.9 cm, avec des maxima de 114 cm et des minima de 40 cm. Pour la biomasse aérienne, le nombre de grains par épi, celui des grains par m², le poids des épis et le rendement en grains, les orges à 6 rangs présentent des valeurs moyennes plus élevées que celles des orges à 2 rangs (Tableau 1, Figures 6 à 9).

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. Dans ce contexte, Le Gouis et *al.*, (1999) rapportent des différences significatives entre les orges à 2 et 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.

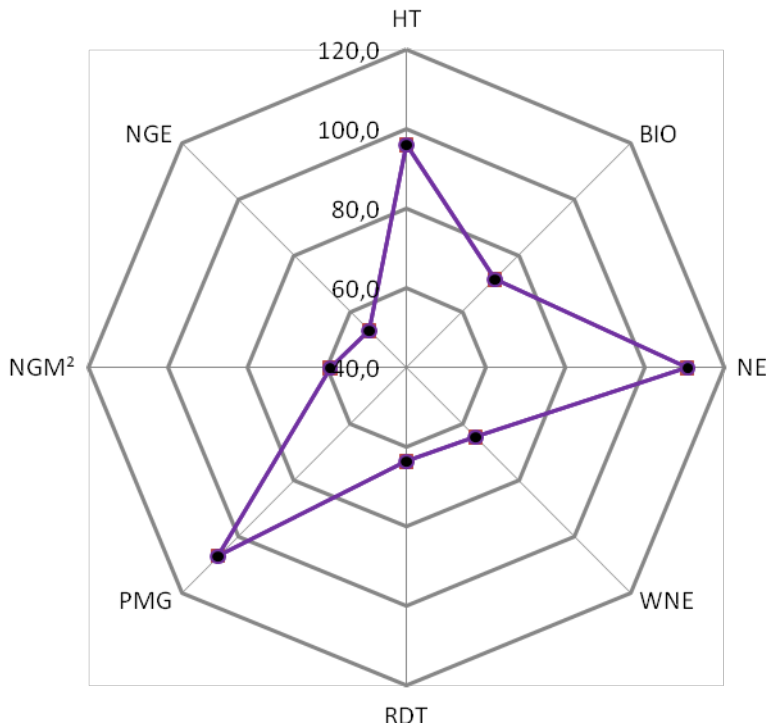


Figure 9. Comparaison relative des valeurs moyennes des caractères des orges à 2 rangs relativement à celles des orges à 6 rangs (moyennes des 6 rangs = indice 100).

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), 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.

Les corrélations phénotypiques peuvent être d'origine environnementale et de ce fait elles ne sont pas reproductibles ou répétables d'un lieu à un autre pour une même population. Cet inconvénient est éliminé en utilisant l'analyse en chemin qui subdivise le coefficient de corrélation en effets direct et indirects sur le caractère d'intérêt. Toutes les deux sont des méthodes qui conduisent à une sélection mono-caractère.

Les méthodes de la régression, complète et progressive, sont des méthodes qui conduisent à la sélection multi-caractères. La régression progressive élimine les variables qui n'ont pas un effet significatif (d'origine génotypique) sur le caractère d'intérêt. L'analyse en composantes principales, par contre, a l'avantage d'identifier les lignées qui présentent la combinaison de caractères favorables à l'expression optimale du caractère d'intérêt. L'indice de sélection offre l'opportunité de réaliser un gain génétique sur plus d'un caractère, à la fois, dont le caractère d'intérêt.

6. EFFETS DE LA SELECTION MONO ET MULTI CARACTERES

6.1. ANALYSE DES LIAISONS ENTRE CARACTERES

6.1.1. CORRELATIONS PHENOTYPIQUES

Chez les deux types d'orges à 2 et à 6 rangs, la hauteur de la plante, le poids de 1000 grains et le nombre de grains par épi présentent de faibles liaisons avec les autres variables mesurées. Par contre, le rendement, la biomasse aérienne, le nombre d'épis/m² et le poids des épis sont hautement corrélés entre eux (Tableau 2, Figures 10 à 13).

Ainsi le rendement en grains chez les deux types d'orge est principalement déterminé par le nombre de grains par m² ($r = 0.954$ et 0.960), le nombre d'épis par m² ($r = 0.813$ et 0.783), par le poids des épis ($r = 0.966$ et 0.981) et la biomasse aérienne ($r = 0.896$ et 0.897). Ces caractères sont aussi hautement corrélés entre eux (Tableau 2, Figures 10 à 13).

Tableau 2. Corrélations phénotypiques entre les variables mesurées chez les populations d'orge à 2 et à 6 rangs (Corrélations des 6 rangs au-dessus de la diagonale ($n = 157$, $r_{5\%} = 0.158$) et celles des 2 rangs au-dessous de la diagonale ($n = 299$, $r_{5\%} = 0.113$).

	PHT	BIO	NE	WNE	RDT	PMG	NGM ²	NGE
PHT		0.501	0.357	0.445	0.436	0.138	0.390	0.074
BIO	0.410		0.799	0.889	0.896	0.158	0.840	0.112
NE	0.227	0.761		0.789	0.813	0.063	0.793	-0.204
WNE	0.359	0.913	0.777		0.966	0.130	0.914	0.244
RDT	0.330	0.897	0.783	0.981		0.100	0.954	0.278
PMG	0.101	0.174	0.024	0.155	0.132		-0.177	-0.340
NGM ²	0.292	0.839	0.760	0.934	0.960	-0.116		0.362
NGE	0.120	0.241	-0.139	0.352	0.384	-0.257	0.489	

PHT = hauteur de la végétation, BIO = biomasse aérienne, g/m²; NE = nombre d'épis/m²; WNE = poids des épis g/m²; RDT = rendement grain, g/m²; PMG = poids de 1000 grains, g; NGM² = nombre de grains, m²; NGE = nombre de grains par épi.

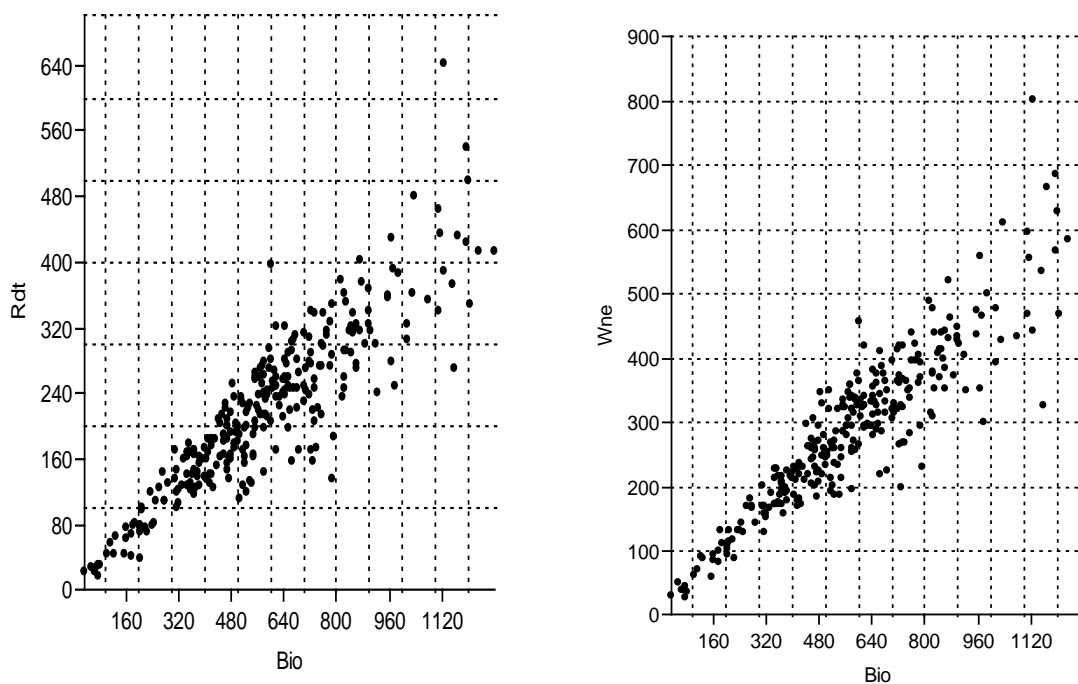


Figure 10. Liaisons entre la biomasse, le rendement grain et le poids des épis chez les orges à 2 rangs

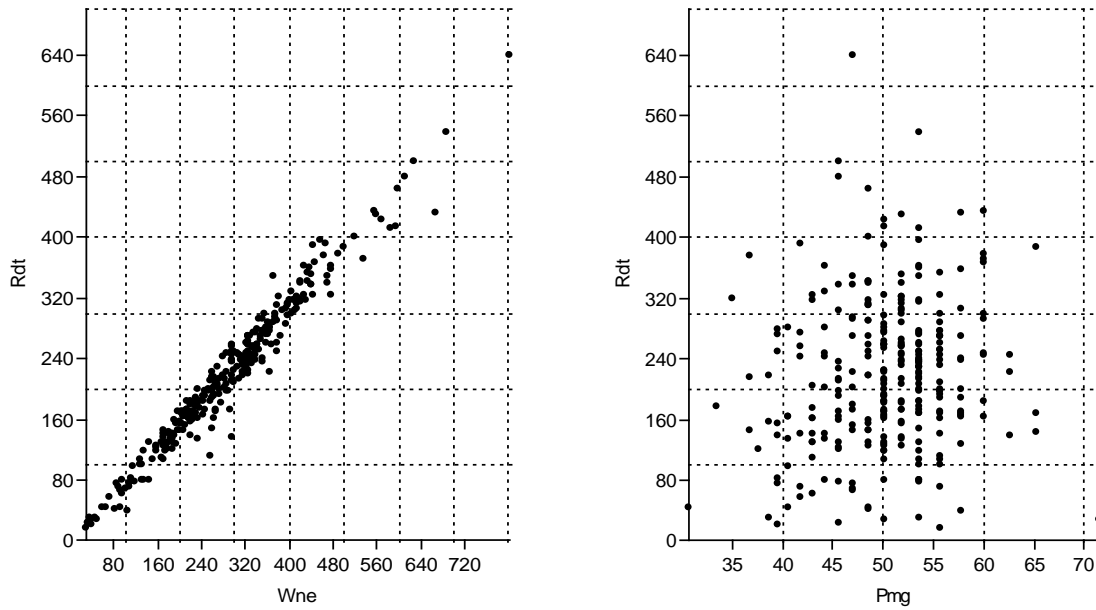


Figure 11. Liaisons entre le rendement, le poids des épis et le poids de 1000 grains chez les orges à 2 rangs

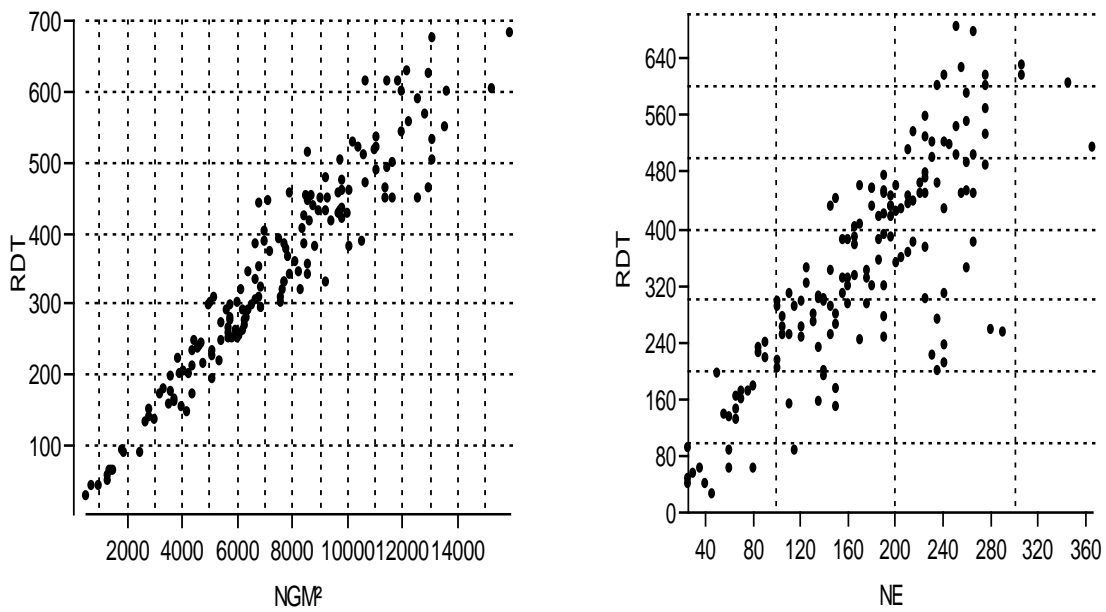


Figure 12. Relations entre le rendement, le nombre de grains/m² et le nombre d'épis/m² des orges à 6 rangs.

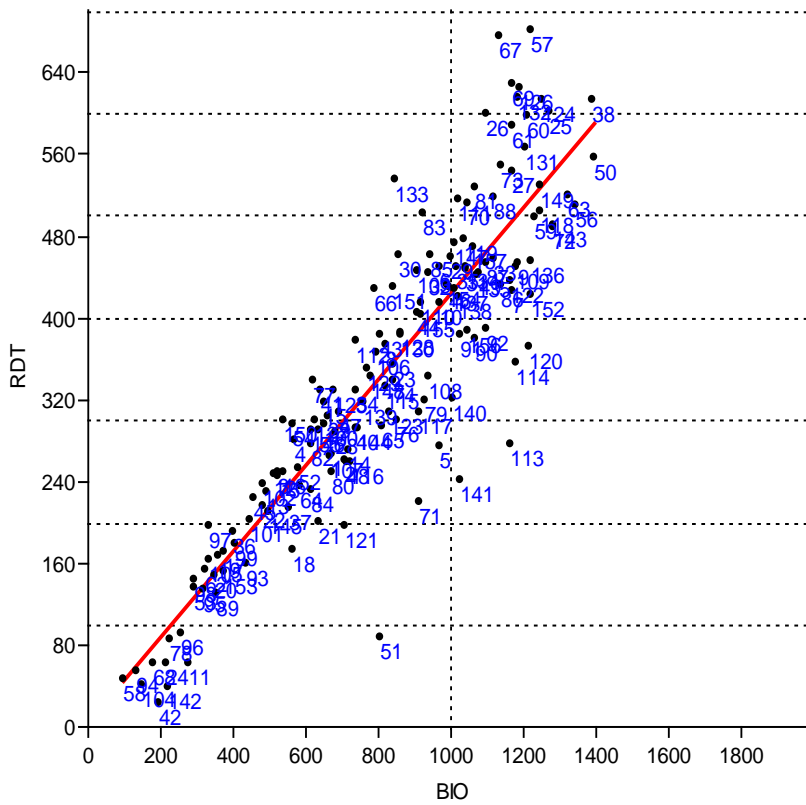


Figure 13. Relations entre le rendement et la biomasse aérienne chez les orges à 6 rangs.

Par contre la sélection sur la base de la hauteur de la plante, ou du poids de 1000 grains, est moins efficace dans l'amélioration du rendement pouvant déboucher sur l'amélioration du caractère sélectionné sans effet ou avec effet négatif sur le rendement en grains (Figure 11). Le Gouis et *al.*, (1999) observent une corrélation négative et significative entre le poids de 1000 grains et le nombre de grains par m², chez les orges à 2 et à 6 rangs.

Dans les conditions de la présente étude, les résultats suggèrent qu'il est quelque peu difficile de réaliser, simultanément, un nombre de grains par m² et un poids de 1000 grains élevés, chez un génotype donné, aussi bien chez les orges à 2 qu'à 6 rangs et ce, à cause de l'effet de compensation, qui se manifeste, sous contrainte, entre ces deux variables.

6.1.2. ANALYSE EN CHEMIN

L'analyse en chemin indique que les effets directs les plus importants sur le rendement en grains sont ceux du NGM^2 suivi du poids des épis, du PMG et du nombre d'épis/m² chez les orges à 2 rangs et du NGM^2 , du PMG et du poids des épis chez les orges à 6 rangs (Tableau 3). Chez les orges à 6 rangs, on note l'absence d'un effet direct significatif des épis/m² comparativement aux orges à 2 rangs. Cependant chez ces derniers l'effet direct du poids de 1000 gains est moins important. En plus de son effet direct appréciable, le poids des épis/m² présente un effet indirect conséquent via le nombre de grains/m² aussi bien chez les 2 rangs que chez les 6 rangs. Il en est de même pour le nombre de grains/m² qui présente un effet direct appréciable via le poids des épis chez les orges à 2 et à 6 rangs (Tableau 3).

Tableau 3. Effets directs et indirects des variables mesurées sur le rendement en grains chez les orges à 2 et à 6 rangs

Caractères	WNE	NGM ²	PMG	NE	NGE	BIO	PHT	r _{RDT/i}
Numéro	1	2	3	4	5	6	7	
Orge à 2 rangs (n= 306)								
1 WNE	0.222	0.586	0.028	0.088	0.019	0.036	-0.002	0.981
2 NGM ²	0.207	0.627	-0.021	0.086	0.026	0.033	-0.002	0.960
3 PMG	0.034	-0.073	0.180	0.003	-0.014	0.007	-0.001	0.132
4 NE	0.173	0.476	0.004	0.113	-0.007	0.030	-0.001	0.783
5 NGE	0.078	0.306	-0.046	-0.016	0.053	0.009	-0.001	0.384
6 BIO	0.203	0.526	0.031	0.086	0.013	0.039	-0.002	0.897
7 PHT	0.080	0.183	0.018	0.026	0.006	0.016	-0.006	0.330
Orge à 6 rangs (n = 144)								
1 WNE	0.148	0.712	0.029	0.036	0.010	0.030	0.000	0.966
2 NGM ²	0.135	0.779	-0.040	0.036	0.015	0.029	0.000	0.954
3 PMG	0.019	-0.138	0.225	0.003	-0.014	0.005	0.000	0.100
4 NE	0.117	0.618	0.014	0.046	-0.009	0.027	0.000	0.813
5 NGE	0.036	0.282	-0.076	-0.009	0.042	0.004	0.000	0.278
6 BIO	0.132	0.654	0.036	0.037	0.005	0.034	-0.001	0.896
7 PHT	0.066	0.304	0.031	0.016	0.003	0.017	-0.001	0.436

PHT = hauteur de la végétation, BIO = biomasse aérienne, g/m²; NE = nombre d'épis/m²; WNE = poids des épis g/m²; RDT = rendement en grains, g/m²; PMG = poids de 1000 grains, g; NGM² = nombre de grains, m²; NGE = nombre de grains par épi.

L'effet direct du poids de 1000 grains est associé à un effet indirect négatif via le nombre de grains/m² chez les orges à 6 rangs alors qu'il ne l'est pas chez les orges à 2 rangs suggérant, par-là, l'absence ou la minimisation de la compensation entre ces deux

caractères chez les orges à 2 rangs. Le nombre d'épis/m² agit surtout par des effets indirects via le nombre de grains/m² et le poids des épis aussi bien chez les orges à 2 rangs que chez celles à 6 rangs. Le nombre de grains par épi montre un effet indirect appréciable via le nombre de grains/m² alors que la biomasse aérienne agit sur le rendement par des effets indirects via le nombre de grains/m² et le poids des épis.

Boukerou et Rasmusson (1990) proposent d'améliorer la biomasse aérienne comme moyen indirect d'améliorer le rendement en grains chez l'orge à deux rangs. La hauteur de la plante agit indirectement via le nombre de grains par m², effet plus important chez les 6 rangs que chez les 2 rangs (Tableau 3).

Du point de vue sélection le caractère qui a le plus d'effet sur le rendement en grains est le nombre de grains/m². S'il est mesuré et suite à son effet direct le plus élevé il doit être pris en considération en premier. Le second caractère à prendre en considération est le poids des épis chez les 2 rangs et le poids de 1000 grains chez les 6 rangs.

Ce dernier caractère présente cependant un effet de compensation avec le nombre de grains par m² dont la mesure où il montre un effet indirect négatif via ce caractère. L'utilisation de l'information apportée par le nombre d'épis/m², le nombre de grains par épi et la biomasse aérienne améliore l'efficacité de la sélection en agissant indirectement sur le nombre de grains par m² et le poids des épis (Tableau 3).

Les résultats de l'analyse en chemin montrent que le rendement en grains est un caractère très complexe auquel contribuent pratiquement l'ensemble des caractères constituant l'architecture de la plante et ce, d'une manière variable. De ce fait, il est difficile de connaître, à l'avance, quel est le caractère qui aura le plus d'effet en sélection, au cours d'une année ou dans un lieu donné.

6.1.3. REGRESSION MULTIPLE

Le modèle complet de la régression multiple indique que chez les orges à 2 rangs et à 6 rangs, seules les variables nombre de grains/m², le poids des épis et celui de 1000 grains affectent significativement le rendement en grains, en plus du nombre de grains par épi chez les 6 rangs (Tableau 4).

Tableau 4. Modèle complet de la régression linéaire multiple du rendement en grains sur les variables mesurées chez les orges à 2 et à 6 rangs

	Coeff.	ET _b	t	Prob	R ²
Orges à 2 rangs					
Constante	-126.79	10.65	-11.91	0.00*	0.00
NGE	-0.18	0.19	-0.95	0.34	0.15
NE	0.02	0.03	0.65	0.52	0.61
PMG	2.57	0.15	16.78	0.00*	0.02
NGM ²	0.03	0.00	19.09	0.00*	0.92
WNE	0.24	0.02	9.96	0.00*	0.96
BIO	0.01	0.01	1.14	0.25	0.80
PHT	-0.01	0.06	-0.18	0.86	0.11
Orges à 6 rangs					
Constante	-291.020	23.068	-12.616	0.000*	0.000
NGE	0.540	0.246	2.195	0.030*	0.078
NE	0.097	0.063	1.530	0.128	0.661
PMG	5.714	0.361	15.833	0.000*	0.010
NGM ²	0.035	0.002	17.192	0.000*	0.910
WNE	0.120	0.027	4.402	0.000*	0.932
BIO	0.016	0.011	1.500	0.136	0.803
PHT	-0.013	0.161	-0.080	0.936	0.190

PHT = hauteur de la végétation, BIO = biomasse aérienne, g/m²; NE = nombre d'épis/m²; WNE = poids des épis g/m²; RDT = rendement en grains, g/m²; PMG = poids de 1000 grains, g; NGM² = nombre de grains, m²; NGE = nombre de grains par épi. * contribution significative du caractère considéré.

Malgré un coefficient de régression élevé, le poids de 1000 grains n'explique qu'une faible part de la variation du rendement en grains (R²= 02 et 01%) aussi bien chez les 2 que chez les 6 rangs (Tableau 4). Dans ce contexte et en matière de sélection, dans une population constituée d'orge à 2 rangs, les critères les plus intéressants, selon cette analyse, sont le poids des épis et le nombre de grains m². Par contre dans une population constituée de 6 rangs, en plus du poids des épis et le nombre de grains m², le nombre de grains par épi joue un rôle déterminant dans le choix des lignées à haut rendement.

Ces caractères sont déterminés au même moment que le rendement en grains et de ce fait, ils sont moins intéressants. En effet, le sélectionneur est à la recherche de caractères facilement mesurables et qui peuvent être, si possible, utilisés très tôt au cours du cycle de développement de la plante bien avant la mesure du rendement en grains.

Cependant en l'absence de caractères plus pertinents, ces derniers viennent renforcer l'information sur l'identification des lignées prometteuses et susceptibles de donner un haut rendement en grains. Shahinnia et *al.*, (2005) notent que l'indice de récolte et la biomasse expliquent à plus de 96.8% le total de la variation observée dans le rendement en grains de l'orge.

6.1.4. REGRESSION PROGRESSIVE

En utilisant la régression progressive dont la stratégie est d'ordonner les variables selon leur importance du point de vue effet sur la variable dépendante qui est le rendement en grains. On note que chez les orges à deux rangs, hormis la hauteur de la plante qui ne contribue pas significativement au rendement, le reste des variables mesurées est retenu par le modèle (Tableau 5).

La première variable introduite est le poids des épis qui explique plus de 95% de la variation du rendement suivi du nombre de grains /m² lequel améliore le coefficient de détermination de 2 unités le ramenant à 97% (Tableau 5).

Ceci indique que chez les orges à 2 rangs, le rendement grain est un caractère complexe qui dépend de plusieurs variables. Par contre, chez les 6 rangs, le modèle de la régression progressive ne retient que trois variables qui sont le poids des épis, le nombre de grains/m² et le poids de 1000 grains. La première variable introduite qui est le poids des épis explique, à elle seule, 93% de la variation du rendement. Les trois variables ensemble expliquent 98.7% de la variation du rendement grain (Tableau 5).

Tableau 5. Etapes de l'analyse de la régression progressive du rendement en fonction des variables mesurées chez les orges à 2 et à 6 rangs.

Etape variable		Coefficients de régression							
		b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	b ₆	R ²
Orge à 2 rangs									
1	WNE	2.06	0.749**						0.950
2	NGM ²	-1.13	0.482**	0.019**					0.971
3	PMG	-149.9	0.200**	0.036**	3.048**				0.988
4	NE	-152.9	0.184**	0.035**	3.048**	0.058**			0.988
5	NGE	-171.6	0.185**	0.031**	3.072**	0.148**	0.777**		0.989
6	BIO	-170.2	0.165**	0.031**	3.030**	0.144**	0.794**	0.014*	0.989
Orge à 6 rangs									
1	WNE	-4.624	0.783**						0.932
2	NGM ²	-7.123	0.460**	0.020**					0.963
3	PMG	-271.9	0.130**	0.038**	5.825**				0.987

PHT = hauteur de la végétation, BIO = biomasse aérienne, g/m²; NE = nombre d'épis/m²; WNE = poids des épis g/m²; RDT = rendement en grains, g/m²; PMG = poids de 1000 grains, g; NGM² = nombre de grains, m²; NGE = nombre de grains par épi.

6.1.5. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

L'analyse en composantes principales, dont les deux premiers axes principaux expliquent 76% (58.9 et 17.1%) pour les orges à 2 rangs et 77.7% (59.4 et 18.3%) pour les orges à 6 rangs, montre une grande dispersion des lignées le long de l'axe principal 1 (Figures 14 et 15).

Cet axe représente les caractères déterminant la biomasse d'une manière générale chez les deux types d'orge : le rendement grain, la biomasse aérienne, le nombre d'épis et le poids des épis (Tableau 6). L'axe 2 est une représentation du nombre de grains par épi qui s'oppose au poids de 1000 grains (Tableau 6, Figures 14 et 15).

Les lignées situées à droite de l'origine O des deux axes principaux sont candidates à la sélection dont la mesure où elles se caractérisent par des valeurs au-dessus de la moyenne pour les caractères d'intérêts : rendement en grains, biomasse aérienne, nombre d'épis et poids des épis.

Dans cette partie du plan formé par les axes 1 et 2, le sélectionneur a le choix entre, des lignées qui se caractérisent par un rendement en grains, une biomasse aérienne, un nombre d'épis, un poids des épis et un poids de 1000 grains élevés et, celles qui possèdent un rendement en grains, une biomasse aérienne, un nombre d'épis, un poids des épis et un nombre de grains par épi élevés (Figure 14 et 15).

Au vu de la dispersion des types d'orges sur le plan formé par les axes 1 et 2 (Figure 16), Il apparait difficile de sélectionner des lignées possédant à la fois un rendement en grains, une biomasse aérienne, un nombre d'épis, un poids des épis, un poids de 1000 grains et un nombre de grains par épi élevés.

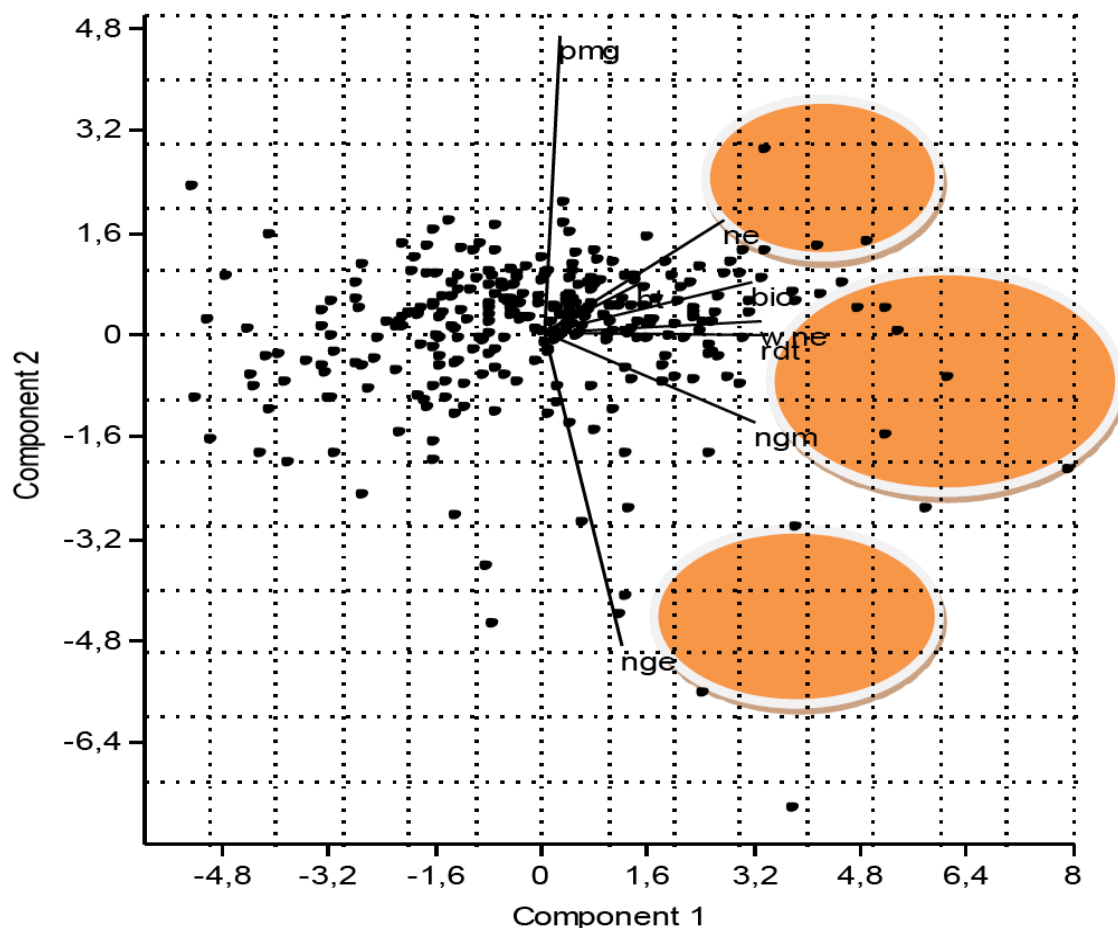


Figure 14. Représentation des lignées d'orge à 2 rangs sur le plan formé par les axes 1 (58.9%) et 2 (17.1%).

Tableau 6. Corrélations des variables mesurées avec les 2 premiers axes principaux de l'ACP

	Axe 1 (58.9%)	Axe 2 (17.1%)	Axe 1 (59.4%)	Axe 2 (18.3%)
	Orge à 2 rangs		Orges à 6 rangs	
HT	0.196	0.106	0.248	0.128
BIO	0.432	0.112	0.431	0.095
NE	0.376	0.248	0.393	0.212
WNE	0.452	0.028	0.443	-0.004
RDT	0.453	-0.005	0.450	-0.036
PMG	0.038	0.647	0.032	0.646
NGM ²	0.442	-0.193	0.435	-0.211
NGE	0.166	-0.677	0.098	-0.683

PHT = hauteur de la végétation, BIO = biomasse aérienne, g/m²; NE = nombre d'épis/m²; WNE = poids des épis g/m²; RDT = rendement en grains, g/m²; PMG = poids de 1000 grains, g; NGM² = nombre de grains, m²; NGE = nombre de grains par épi. * contribution significative du caractère considéré.

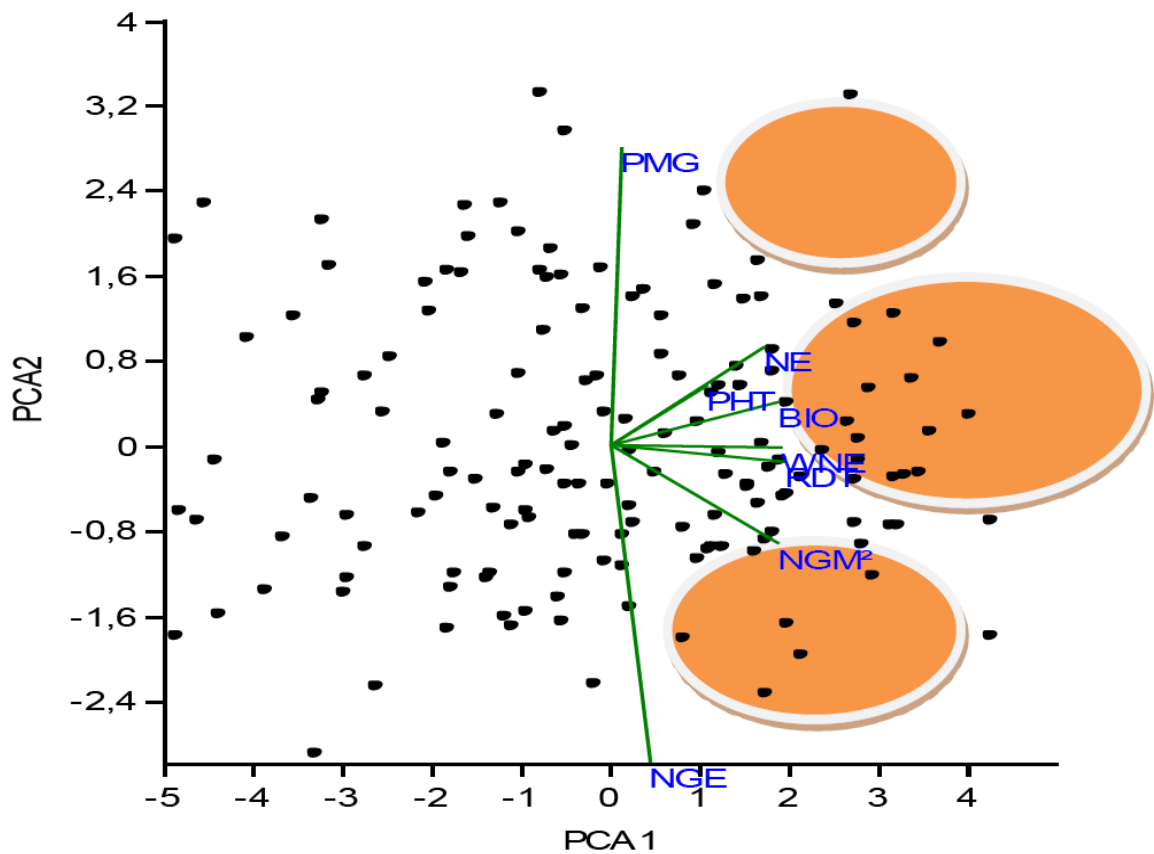


Figure 15. Représentation des lignées d'orge à 6 rangs sur le plan formé par les axes 1 (59.4%) et 2 (18.3%).

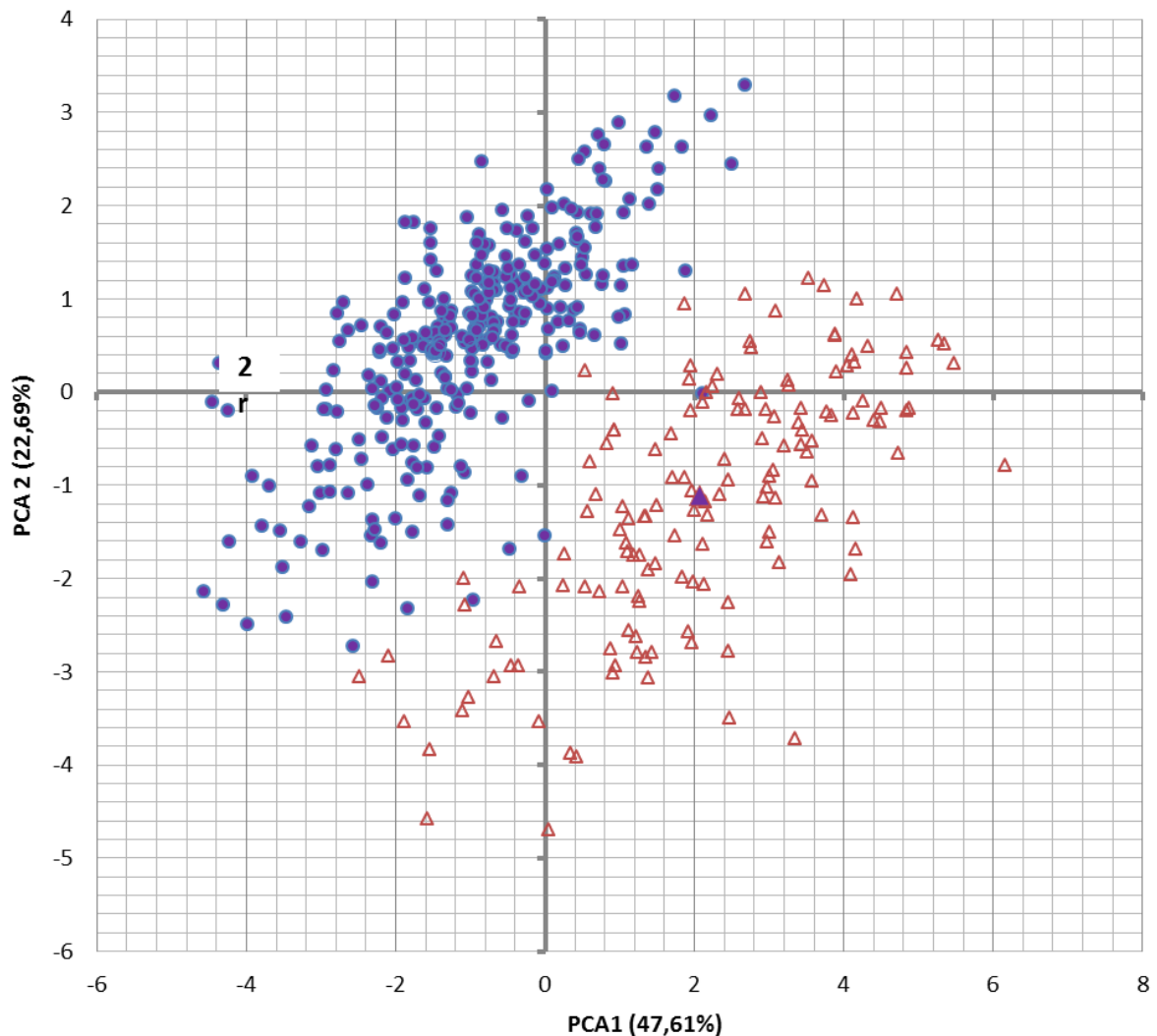


Figure 16. Représentation des lignées d’orge à 2 (cercle plein) et à 6 rangs (triangle vide) sur le plan formé par les axes 1 et 2.

6.2. CARACTERISTIQUES DES SELECTIONS

Les résultats des différentes méthodes d’identification des critères de sélection discutés ci-dessus, indiquent que le nombre de grains/m², le poids des épis, la biomasse et le nombre d’épis/m² peuvent, suite à leurs fortes liaisons au rendement en grains, servir de critères de sélection aussi bien chez les orges à 2 que chez les orges à 6 rangs.

La régression linéaire retient l’ensemble des variables mesurées par contre la régression progressive exclue la hauteur des plantes du modèle chez les orges à 2 rangs et ne retient que le poids des épis, le nombre de grains par m² et le poids de 1000 grains chez les orges à 6 rangs.

L'analyse en chemin montre que chez les 2 rangs les effets directs les plus importants sont dans l'ordre suivant: le nombre de grains par m², le poids des épis et le poids de 1000 grains. Par contre chez les orges à 6 rangs, l'ordre des effets directs est le nombre de grains par m², le poids de 1000 grains et le poids des épis. La sélection est faite sur la base de ces caractères en plus de la sélection directe sur la base du rendement et sur index (SWI).

Pour les variables identifiées par l'analyse en chemin comme ayant l'effet direct le plus important, le tri est effectué sur la base de la variable qui a l'effet le plus élevé (méthode de sélection tandem). De ce tri on retient les meilleurs 30% sur lesquels un second tri est fait sur la base du second caractère. On retient les 50% de ce second tri sur lequel un tri est fait sur la base du troisième caractère d'intérêt. On retient les dix meilleures lignées du dernier tri.

L'analyse des résultats des orges à 2 rangs montre que la sélection du nombre d'épis ne retient que 50% de lignées retenues par la sélection directe. La sélection de la biomasse aérienne et du nombre de grains par m² n'en retiennent que 60%, alors que l'analyse en chemin et la sélection sur index en retiennent 70%.

La sélection sur la base des coordonnées sur l'axe 1 de l'ACP retient 80% des lignées identifiées par la sélection directe. La sélection sur la base du poids des épis et celles basées sur les modèles linéaire et progressif sont plus efficaces et retiennent jusqu'à 90% des lignées identifiées par la sélection directe (Tableau 7).

Par contre, si l'analyse des résultats des orges à 6 rangs montre que la sélection du nombre d'épis retient aussi 50% de lignées retenues par la sélection directe, la sélection de la biomasse aérienne ne retient quant à elle que 30% et la sélection du poids des épis ne retient que 40%, alors que la sélection du nombre de grains par m², l'analyse en chemin et la sélection basée sur les coordonnées de l'axe 1 de l'ACP retiennent 80% des lignées de la sélection directe. La sélection basée sur les modèles

linéaire et progressif est la plus efficace étant donné qu'elle peut retenir jusqu'à 90% des lignées identifiées par la sélection directe (Tableau 7).

Tableau 7. Numéros des lignées retenues par critère de sélection

Critères de sélection									
BIO	NE	NGM ²	WNE	RDT	Reg. lin	Reg Prog	Path	SWI	ACP
Orges à 2 rangs									
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
20	74	20	20	20	20	20	20	20	20
51	164	51	51	51	51	51	74	92	51
198	198	198	74	74	74	74	164	164	90
204	206	204	164	164	164	164	198	198	92
310	220	310	198	198	198	198	309	206	164
335	246	335	210	210	210	210	310	309	198
346	310	346	335	309	335	335	346	335	210
350	321	350	346	335	346	346	362	346	335
415	358	415	415	346	415	415	415	415	346
Orges à 6 rangs									
58	58	58	58	58	58	58	60	58	58
81	60	60	60	60	60	60	81	81	60
111	155	81	81	81	81	81	160	155	81
153	192	155	145	155	155	155	162	160	155
183	212	160	205	160	160	160	192	192	160
211	235	162	207	192	162	162	205	205	192
342	242	192	329	205	192	192	360	207	205
360	364	205	360	360	205	205	364	342	207
406	383	364	383	364	360	360	383	351	364
414	414	438	414	387	364	364	387	360	383

Ces résultats suggèrent que la sélection indirecte, mono caractère ou multi caractères, s'avère moins efficace que la sélection directe pour améliorer le rendement en grains. Cette efficacité (identification des mêmes lignées) varie de 30% au moins à 90% au plus. De plus, la sélection indirecte mono caractère semble moins efficace que la sélection multi-caractères à engendrer des améliorations du rendement en grains, mesurée par la différentielle de sélection (Tableaux 8 et 9).

Les sélections, mono et multi, opérées sur la base des différents critères identifient des lignées qui se caractérisent par un plus appréciable sur certains caractères mesurés et à peine perceptible sur d'autres. Ainsi chez les orges à 2 rangs et comparativement aux valeurs moyennes prises par les caractères mesurés du témoin Fouara, les sélections

faites sur la base de la biomasse aérienne, ou sur la base du nombre de grains par m², présentent des gains de 42.6% pour la biomasse aérienne, de 55.7% pour le nombre d'épis, de 24.8% pour le poids des épis et de 8.9% pour le rendement en grains et le poids de 1000 grains (Tableau 9). Les gains notés pour la hauteur, le nombre de grains par m² et le nombre de grains par épi sont, respectivement, de 12.4%, 0.1% et -37.6% (Tableau 9). Ces résultats suggèrent que dans le cas des orges à 2 rangs, la sélection de la biomasse aérienne est similaire à celle faite sur la base du nombre de grains/m².

Tableau 8. Moyennes des variables mesurées des 10 meilleures sélections pour les différents critères utilisés chez les orges à 2 et à 6 rangs.

Critères	BIO	NE	WNE	RDT	PMG	NGM ²	NGE	PHT
Orges à 2 rangs								
BIO	1160.7	298.5	582.2	412.4	51.4	8084.6	27.9	95.5
NGM	1160.7	298.5	582.2	412.4	51.4	8084.6	27.9	95.5
WNE	973.2	370.0	503.0	381.8	50.2	7627.6	20.7	87.8
NE	973.2	370.0	503.0	381.8	50.2	7627.6	20.7	87.8
RDT	1127.0	309.5	625.4	448.9	50.9	8910.6	29.8	94.1
Reg Lin	1129.1	312.0	628.4	446.8	50.3	8958.4	29.8	94.0
Reg Prog	1129.1	312.0	628.4	446.8	50.3	8958.4	29.8	94.0
Path	1093.3	324.4	579.0	418.7	50.7	8321.7	26.7	92.7
SWI	1132.1	323.3	616.0	430.9	53.7	8119.3	25.5	95.3
ACP	1274.3	308.0	629.9	475.8	50.6	9517.2	31.9	96.6
Orges à 6 rangs								
BIO	1299.4	266.5	671.2	542.1	46.8	11691.2	44.3	95.6
NGM ²	1134.0	267.0	716.3	578.5	42.6	13596.2	51.4	91.0
WNE	1174.4	263.0	805.8	600.6	48.5	12604.3	48.1	93.7
NE	1095.3	299.0	655.2	517.0	47.2	11036.0	37.2	90.1
RDT	1209.5	275.0	774.9	624.5	49.1	12866.1	47.2	92.2
Reg Lin	1207.8	277.0	782.5	621.7	48.0	13051.9	47.6	92.3
Reg Prog	1207.8	277.0	782.5	621.7	48.0	13051.9	47.6	92.3
Path	1197.1	269.0	761.4	611.5	50.0	12287.6	46.0	92.7
SWI	1207.8	282.5	732.7	585.9	50.3	11851.8	42.9	97.0
ACP	1481.4	284.5	767.2	609.6	48.4	12791.8	46.1	95.5
Fouara	814.1	191.7	466.4	378.7	47.2	8077.5	44.7	85.0

BIO = biomasse aérienne, g/m²; NE = nombre d'épis/m²; WNE = poids des épis g/m²; RDT = rendement en grains, g/m²; NGM² = nombre de grains, m².

Il en est de même pour la sélection du nombre d'épis et du poids des épis lesquels aboutissent aussi aux mêmes résultats. Le gain du nombre d'épis/m² est assez élevé (93%) alors que celui de la biomasse n'est que de 19.8%. Le poids des épis et celui de

1000 grains changent de 7.8 et 6.4% respectivement et ce, suite à la sélection sur la base du poids ou du nombre d'épis/m². Ces sélections induisent un faible changement du rendement en grains (0.8%) et des réductions du nombre de grains par m² et du nombre de grains par épi de -5.6 et -53.7%. La hauteur augmente de 3.3% (Tableau 9).

Tableau 9. Différentielles de la sélection, relatives aux valeurs du meilleur témoin (Fouara) des variables mesurées des 10 meilleures sélections pour les différents critères utilisés chez les orges à 2 et à 6 rangs.

Critères	BIO	NE	WNE	RDT	PMG	NGM ²	NGE	PHT
Orges à 2 rangs								
BIO	42.6	55.7	24.8	8.9	8.9	0.1	-37.6	12.4
NGM ²	42.6	55.7	24.8	8.9	8.9	0.1	-37.6	12.4
WNE	19.5	93.0	7.8	0.8	6.4	-5.6	-53.7	3.3
NE	19.5	93.0	7.8	0.8	6.4	-5.6	-53.7	3.3
RDT	38.4	61.5	34.1	18.5	7.8	10.3	-33.3	10.7
Reg Lin	38.7	62.8	34.7	18.0	6.6	10.9	-33.3	10.6
Reg Prog	38.7	62.8	34.7	18.0	6.6	10.9	-33.3	10.6
Path	34.3	69.2	24.1	10.6	7.4	3.0	-40.3	9.1
SWI	39.1	68.6	32.1	13.8	13.8	0.5	-43.0	12.1
ACP	56.5	60.7	35.1	25.6	7.2	17.8	-28.6	13.6
Orges à 6 rangs								
BIO	59.6	39.0	43.9	43.1	-0.8	44.7	-0.9	12.5
NGM ²	39.3	39.3	53.6	52.8	-9.7	68.3	15.0	7.1
WNE	44.3	37.2	72.8	58.6	2.8	56.0	7.6	10.2
NE	34.5	56.0	40.5	36.5	0.0	36.6	-16.8	6.0
RDT	48.6	43.5	66.1	64.9	4.0	59.3	5.6	8.5
Reg Lin	48.4	44.5	67.8	64.2	1.7	61.6	6.5	8.6
Reg Prog	48.4	44.5	67.8	64.2	1.7	61.6	6.5	8.6
Path	47.0	40.3	63.3	61.5	5.9	52.1	2.9	9.1
SWI	48.4	47.4	57.1	54.7	6.6	46.7	-4.0	14.1
ACP	82.0	48.4	64.5	61.0	2.5	58.4	3.1	12.4

BIO = biomasse aérienne %, g/m² ; NE = % nombre d'épis/m² ; WNE = % poids des épis g/m² ; RDT = % rendement en grains, g/m² ; NGM² = % nombre de grains/m² .

La sélection multi caractères (régression, path, index et ACP), comme celle faite sur la base du rendement en grains, donnent des résultats assez proches. Elles changent la biomasse aérienne de 34.3 à 38,7%, le nombre d'épis/m² de 60.7 à 69.2%, le poids des épis de 24.1 à 34.7%, le rendement en grains de 10.6 à 25.6%, le poids de 1000 grains de 6.6 à 13.8%, la hauteur de 9.1 à 13.6%, de 10.9% à 17,8% le nombre de grains par m² et des réductions de -28.6 à -43.0% du nombre de grains par épi. Les sélections issues

de l'ACP se singularisent par des améliorations importantes de la biomasse (56.5%), du rendement (25.6%) et du nombre de grains par m² (17.8%). La sélection sur index améliore substantiellement le poids de 1000 grains (13.8%) (Tableau 9).

Les sélections opérées sur les orges à 6 rangs montrent aussi la même tendance du point de vue efficacité que celle observée chez les 2 rangs entre les sélections mono et multi-caractères. Cependant, les gains observés chez les 6 rangs sont plus importants pour la biomasse, le nombre d'épis, le poids des épis, le rendement en grains et le nombre de grains par m². Ceci suggère que les orges à 6 rangs sont relativement plus adaptées au climat des hautes plaines orientales que les orges à 2 rangs.

Le Gouis et *al.*, (1999) mentionnent qu'en moyenne les orges à 6 rangs dépassent de 4% celles à 2 rangs pour le rendement en grains en conditions favorable et de 11% en conditions défavorables. Garcia Del Moral et *al.*, (2003) indiquent que les orges à 2 rangs répondaient plus à la fertilité du milieu que les 6 rangs qui montrent relativement une certaine stabilité. En effet ces auteurs rapportent un coefficient de régression des orges à 6 rangs de valeur inférieure à l'unité ce qui suggère leur adaptation aux environnements à faibles inputs. Blum (1985) fait remarquer que la différence des échanges gazeux entre les orges à 6 et à 2 rangs est liée aux différences de surface de l'épi et au nombre et à la taille des barbes qui sont des caractères adaptatifs donnant l'avantage, sous conditions semi-arides, au type à 6 rangs.

Dans la présente étude, la moyenne du rendement en grains de l'ensemble des sélections faites sur la base des différents critères est de 425.2 g/m² pour les 2 rangs contre 591.3 g/m² pour les 6 rangs. Ces moyennes représentent un avantage de 12 et 56% comparativement à la performance moyenne du meilleur témoin Fouara qui est de 378.7 g/m². Les résultats indiquent une variation pour le poids de 1000 grains et le nombre de grains par épi, dont les gains ou réductions changent selon le critère de sélection utilisé. A titre d'exemple, la sélection sur la base du nombre de grains par m² améliore le nombre de grains par épi de 15.0% et réduit le poids de 1000 grains de 9.7%

alors que celle sur la base du nombre d'épis réduit le nombre de grains par épi de 16.8% et reste sans effet sur le poids de 1000 grains (Tableau 9). Du point de vue sélection, ce n'est pas l'ampleur de la différentielle de sélection qui est intéressante mais la part de cette différentielle qui se maintient et s'exprime chez la descendance des lignées sélectionnées et semées dans le même environnement ou non.

7. REPONSE A LA SELECTION

La réponse des différentes sélections faites sur la base des différents critères a été étudiée au cours de la campagne 2010/11. Le rendement en grains des meilleurs témoins est de 542.7 g/m² pour Barberousse, 515.9 g/m² pour Fouara et 534.4 g/m² pour Tichedrett, soit un rendement moyen des trois meilleurs témoins de 530 g/m², valeur seuil qui servira de ligne de base pour la sélection.

Les moyennes générales des sélections des 2 et 6 rangs sont de 367.5 et 411.1 g/m², respectivement. Ces résultats confirment globalement l'adaptation des orges à 6 rangs au détriment des orges à 2 rangs. Le nombre de lignées, entre les 2 et les 6 rangs, dont le rendement en grains est égal ou supérieur à celui des meilleurs témoins est de 8 (Tableau 10).

Tableau 10. Valeurs moyennes des caractères des lignées ayant présentée la meilleure réponse à la sélection pour le rendement en grains chez les orges à 2 et à 6 rangs.

RT	Lignée	RDT	PHT	PMG	BIO	NE	WNE	NGM ²	NGE
2	164	704.1	82.0	55.8	1976.0	640.0	925.4	12.6	19.7
2	335	589.2	68.0	60.0	1508.2	420.0	791.8	9.8	23.4
2	346	545.0	73.0	49.1	1610.0	780.0	740.4	11.1	14.2
2	198	533.8	58.0	57.0	1331.0	564.0	727.3	9.4	16.6
6	207	762.3	91.0	50.4	2094.0	352.0	993.0	15.1	43.0
6	58	733.5	75.0	43.8	2155.0	424.0	959.6	16.7	39.5
6	205	587.4	62.0	48.0	1506.9	340.0	789.7	12.2	36.0
6	60	537.1	75.0	42.8	1542.0	440.0	731.2	12.5	28.5
	Ppds5%	39.1	4.0	5.2	120.7	37.5	83.3	0.9	5.7

Trois lignées, les numéros 207, 58 et 164, présentent un rendement en grains significativement supérieur à la valeur seuil des meilleurs témoins. Parmi ces trois

lignées, la lignée 164 est de type 2 rangs. Ce résultat indique qu'il est possible de sélectionner des lignées à 2 rangs aussi performantes sinon plus que les 6 rangs, quoique la fréquence de la présence de ces lignées est plus faible que celle qui est associée aux lignées à 6 rangs.

Les lignées ayant présenté la meilleure réponse à la sélection pour le rendement en grains, réponses directe et/ou corrélatives, sont issues de la sélection mono et multi caractères (Tableau 7). L'expression d'un rendement élevé, donc de l'adaptation, semble dépendante de plusieurs caractéristiques dont les composantes du rendement et la biomasse aérienne lesquelles jouent un rôle essentiel (Figure 17). L'adaptation dépend aussi de l'absence de l'interaction génotype x environnements, vu que plusieurs lignées (50) ont été sélectionnées comme ayant un rendement plus élevé que le témoin quoique une infime partie (8/50) a maintenu cette caractéristique, en réponse à la sélection.

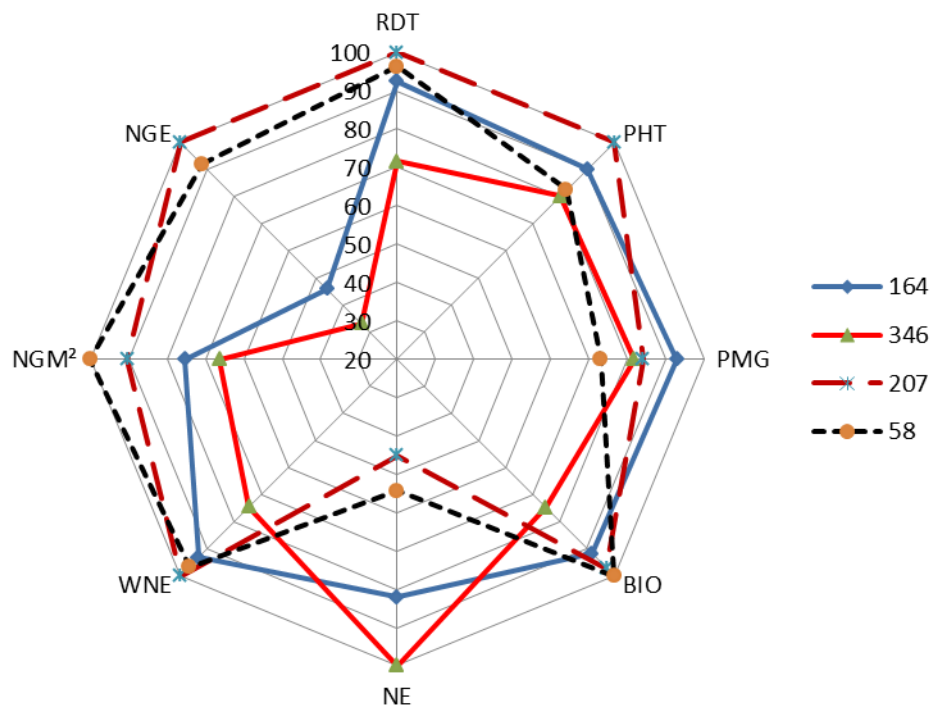


Figure 17. Caractérisation des lignées ayant présenté la meilleure réponse à la sélection pour le rendement en grains.

Sur les hauts plateaux, la culture de l'orge est soumise aux effets des stress (Hautes et basses températures, déficit hydrique, salinité et faible fertilité des sols) plus que les blés suite à sa localisation spatiale qui est à la limite inférieure de l'étage bioclimatique semi-aride. Elle se caractérise par la variation des rendements et des surfaces récoltées. L'amélioration génétique de cette espèce 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 (Bouzerzour et *al.*, 1998 ; Benmahammed et *al.*, 2010 ; Kadi et *al.*, 2010 ; Bensemmane et *al.*, 2011 ; Meziani et *al.*, 2011 ; Hamli et *al.*, 2015 ; Belkharchouche et *al.*, 2015). Des résultats expérimentaux antérieurs suggèrent l'existence de différentes combinaisons de caractères susceptibles de conférer l'adaptation vu que la variabilité environnementale est élevée, suite à des différences imprévisibles dans la fréquence, le stade et la sévérité des stress.

Le frein à la réalisation d'un progrès de rendement en grains, significatif et stable, sous de telles conditions, résulte de la variation du degré d'expression de la multitude de caractères qui conditionnent le rendement en grains (Bouzerzour et *al.*, 1998 ; Fellah et *al.*, 2002; Benmahammed et *al.*, 2004 ; Bahlouli et *al.*, 2005 ; Benmahammed et *al.*, 2008 ; Benmahammed et *al.*, 2010). L'identification des combinaisons de caractères les plus fréquentes et les plus liées au rendement en grains dans le milieu ciblé est souhaitable pour réaliser du progrès dans ce domaine.

En effet, selon Acevedo et Ceccarelli (1989), l'approche basée sur la sélection d'une combinaison de caractères apparaît, théoriquement, plus efficace car elle offre la possibilité d'évaluer le rôle des caractères, individuellement ou en combinaison dans des fonds génétiques assortis aléatoirement. Cette méthode permet de comparer l'efficacité de la sélection indirecte, mono et multi-caractères, à la sélection directe basée sur le rendement en grains.

Selon Garcia del Moral et *al.*, (2003), les caractères agronomiques liés au potentiel de rendement en grains et à l'adaptation varient selon les milieux (année, localité, date de semis, fertilité, compétition, gradient hydrique) et la nature du germoplasme (2 vs 6 rangs). Une connaissance plus approfondie du potentiel et de l'adaptation des orges à 2 et à 6 rangs permet de cibler le type de matériel à sélectionner et sur quelle base elle doit être pratiquée.

Les résultats de cette recherche dont l'objectif est d'évaluer la variation phénotypique des caractères impliqués dans la performance et l'adaptation chez les orges à 2 et à 6 rangs sous conditions semi- arides, indiquent la présence de la variabilité chez les deux types de germoplasmes pour l'ensemble des variables analysées. Des lignées candidates à la sélection, désirables pour les caractères tels que la biomasse aérienne, le nombre d'épis, le poids des épis, le rendement en grains, le nombre de grains/m², le nombre de grains/épi et le poids de 1000 grains existent.

Les orges à 2 rangs diffèrent de celles à 6 rangs par le nombre d'épis et le poids de 1000 grains qui sont à l'avantage des 2 rangs. Ceci corrobore les résultats de Le Gouis et *al.*, (1999) et de Kolodinska-Brantestam et *al.*, (2008). En contrepartie, les orges à 6 rangs présentent un avantage pour la biomasse aérienne, le nombre de grains par épi, de grains/ m², le poids des épis et le rendement en grains. Les orges à 6 rangs semblent donc plus productives et plus adaptées aux conditions des hautes plaines orientales que les 2 rangs.

Les différentes méthodes (corrélations, régressions, analyse en chemin, indice de sélection et analyse en composantes principales), utilisées pour identifier des critères de sélection, indiquent le nombre de grains/m², le poids des épis, la biomasse et le nombre d'épis/m², comme des déterminants du rendement en grains. Aussi, dans les conditions de la présente étude, il est difficile de réaliser simultanément un nombre de grains par m² et un poids de 1000 grains élevés, chez les deux types de germoplasmes vu l'effet de compensation qui existe entre ces deux variables.

Du point de vue efficacité des caractères utilisés comme critères de sélection (à identifier les lignées les plus performantes), chez les orges à 2 rangs, la sélection du nombre d'épis retient 50% de lignées identifiées par la sélection directe contre 60% pour la biomasse aérienne et le nombre de grains par m², 70%, pour l'analyse en chemin et la sélection sur index et 80% pour l'analyse en composantes principales. Chez les orges à 6 rangs, la sélection des épis retient 50% contre 30% pour la biomasse, 40% pour le poids des épis et 80% pour le nombre de grains par m², l'analyse en chemin et l'ACP.

Ces résultats suggèrent que la sélection indirecte, mono ou multi caractères, est moins efficace que la sélection directe pour améliorer le rendement en grains et que la sélection indirecte mono caractère est moins efficace que la sélection multi-caractères. Mesurée par la différentielle de sélection, relative au rendement en grains du meilleur témoin, la sélection directe induit un gain de rendement de 18.5% chez les 2 rangs et 64.6% chez les 6 rangs. Par contre, la sélection de la biomasse aérienne, ou du nombre de grains par m², introduit une amélioration de 8.9% du rendement en grains contre 0.8% pour la sélection du poids ou du nombre d'épis/m². La sélection multi caractères (régression, path, index et ACP) est accompagnée par une amélioration du rendement en grains de 10.6 à 25.6%. La même tendance est aussi notée chez les orges à 6 rangs où la différentielle de sélection du rendement en grains est plus importante.

La réponse à la sélection confirme globalement l'adaptation des orges à 6 rangs au détriment des orges à 2 rangs, avec un gain de rendement de 11.90%. Parmi les 50 lignées sélectionnées (soit une intensité de sélection de $100 \times 50 / 450 = 11.1\%$) sur la base de différents caractères et de leurs combinaisons, 8 lignées présentent un rendement en grains égal ou supérieur à la moyenne des rendements des meilleurs témoins.

Trois lignées, dont une orge à 2 rangs, enregistrent un rendement en grains significativement supérieur à la moyenne des rendements des meilleurs témoins. Ces lignées sont issues de la sélection mono et multi caractères. Les hypothèses explicatives de la faiblesse de la réponse à la sélection (3 lignées sur 450 manipulées soit 0.7%)

s'explique par la présence de l'interaction génotype x environnements, de la ségrégation encore présente à l'intérieur du matériel évalué (F3-F4) et la forte variation climatique qui caractérise le milieu de sélection.

L'identification des lignées supérieures est complexe et difficile du fait que les caractères sélectionnés se montrent sensibles à la variation des lieux et des années rendant ainsi instable le gain génétique réalisé. En effet, la performance du rendement en grains n'est pas une finalité en soi si elle n'est pas associée à la stabilité dans l'espace et dans le temps. Ces deux caractéristiques dépendent aussi de la nature du germoplasme qui est la source de la variabilité soumise à la sélection. La recherche de gènes, donc de germoplasme, qui tolère ou résiste aux stress abiotiques, possédant l'adaptabilité et un haut potentiel de rendement en grains est un important objectif en amélioration de l'orge.

Les caractères tels que le nombre de rangs, les composantes du rendement en grains, la hauteur de la végétation, la biomasse accumulée, le nombre et les dimensions de l'épi et celles du grain affectent les performances de rendement en grains chez l'orge et répondent différemment à la variation des milieux (Benmahammed et *al.*, 20010 ; Menad et *al.*, 2011, Meziani et *al.*, 2011). Negassa (1985) mentionne que le nombre de rangs, la longueur et la densité de l'épi répondent à la variation de l'hygrométrie du milieu et que les orges à 6 rangs, aux épis courts et denses, augmentent en fréquence à mesure que l'hygrométrie diminue dans le sens Nord-Sud. Cette adaptation des orges à 6 rangs semble dépendante du régime pluviométrique qui varie de 1450 au Nord à 540 au Sud et la température moyenne annuelle qui varie de 14°C à 20°C, dans les mêmes lieux.

Dans ce contexte, Reynolds et *al.*, (2002) suggèrent de sélectionner sur la base des caractères qui sont liés à la performance sous conditions de stress. De tels caractères se montrent moins sensibles à la variation des conditions de croissance qui caractérise le milieu ciblé par la sélection et présentent, souvent, une interaction de nature quantitative avec les milieux de production. Ainsi toute augmentation de la biomasse

aérienne est souvent associée à l'amélioration du rendement en grains sous contrainte aussi bien hydrique que thermique (Siddique et *al.*, 1991). Au stade épiaison, une partie de cette biomasse correspond au poids de l'épi et il est désirable de sélectionner les génotypes qui se distinguent par un poids d'épis élevé aux stades anthèse et maturité (Richards et *al.*, 2002).

Le rendement en grains est largement dépendant de trois composantes qui sont le nombre d'épis, le nombre de grains par épi et le poids moyen d'un grain. Ces composantes se matérialisent successivement dans le temps, exerçant des effets de compensation entre eux tout en subissant différentes conditions de croissance. C'est ce qui explique la variation du rendement qui est la résultante, variation qui peut provenir d'une combinaison de deux ou trois composantes à des degrés variables.

La sélection sur la base du rendement est de ce fait difficile lorsqu'on cible simultanément adaptation et performance : elle est la réponse à un lieu donné qui peut être favorable ou défavorable (Garcia del Moral et *al.*, 2003). Il n'est pas, en effet, surprenant que des lignées sélectionnées avec une large différentielle de sélection, répondent dans un autre environnement par un gain négatif (Bouzerzour et *al.*, 1998 ; Benmahammed et *al.*, 2008 ; Kadi et *al.*, 2010). Ainsi McMaster et *al.*, (1994) mentionnent que le stress hydrique qui a lieu au cours de la montaison affecte négativement la capacité de tallage épi et réduit le rendement des génotypes qui ont été sélectionnés sur la base de cette caractéristique.

Gonzales et *al.*, (2007) comparent l'adaptation et les performances de rendement des orges à 2 et à 6 rangs sous stress et en irrigué, et notent que les orges à 6 rangs étaient plus adaptées aux deux conditions que les orges à 2 rangs. Ils rapportent aussi que les orges à 2 rangs produisent plus d'épis par m² en sec comme en irrigué que les orges à 6 rangs. Cette différence dans le nombre d'épis par m² était compensée par un nombre de grains par épi qui était plus élevé chez les orges à 6 rangs que chez les orges

à 2 rangs, sous les deux conditions de croissance, avec des moyennes de 35 vs 22 grains par épi.

Ces différences engendrent des corrélations négatives entre le nombre des épis et celui des grains par épi chez les deux types, en sec comme en irrigué. Les orges à 2 rangs présentent un poids de 1000 grains plus élevé et s'expriment nettement mieux sous irrigation que sous stress hydrique suggérant, par-là, que cette composante atteint rarement son potentiel sous conditions défavorables (Gonzales et *al.*, 2007).

Gonzales et *al.*, (2007) observent une corrélation positive entre les rendements obtenus en irrigué et ceux obtenus en sec et concluent que le potentiel de rendement en grains, la précocité d'épiaison et un poids de 1000 grains élevé sont des caractères conseillés pour sélectionner des génotypes adaptés et ayant un rendement élevé et stable sous conditions aussi bien favorables que défavorables.

Comparant les deux types d'orges sous divers environnements, Abeledo et *al.*, (2002) notent que les performances de rendement en grains dépendent des capacités de tallage et de la survie des talles épis. De ce fait, la réponse à la variation environnementale peut être liée à la capacité de tallage épis alors que la stabilité du rendement en grains serait plus liée à la restriction du tallage épis.

En général, les orges à 2 rangs, avec leur forte capacité de tallage épis, répondent plus à la fertilité des environnements que les orges à 6 rangs qui possèdent une capacité plus restreinte d'expression à cette caractéristique et donc présentent une meilleure stabilité de rendement en grains (Le Gouis et *al.*, 1999 ; Garcia del Moral et *al.*, 2003). De ce fait la capacité constitutive des orges à 6 rangs à restreindre le tallage épis, même sous conditions favorables, est une caractéristique utile qui permet de faire l'économie des ressources qui seront utilisables plus efficacement au cours des phases critiques de détermination du rendement en grains (Borras-Gelonch et *al.*, 2012).

L'adaptation des plantes est définie comme une chaîne complexe de réactions et d'interactions physico-chimiques initiée et modifiée par des gènes et les facteurs

environnementaux conduisant à l'expression du phénotype final. Le génotype adapté, à haut potentiel de rendement en grains, est celui qui maintient ses performances et qui réagit moins à la variation des facteurs pédoclimatiques caractérisant une large gamme d'environnements où il sera adopté comme cultivar (Slafer et *al.*, 2005 ; Araus et *al.*, 2008).

La stratégie à déployer pour sélectionner de tels génotypes doit tenir compte de la nature, la période et l'intensité des stress qui caractérisent la gamme d'environnements ciblés pour leur trouver des sources de tolérance, d'échappement ou d'esquive (Cattivelli et *al.*, 2008). La synchronisation du cycle de développement avec les conditions les plus favorables de l'environnement de production a été fondamentale dans l'amélioration des performances de rendement en grains en minimisant les effets des stress au pic de leurs avènements (Slafer et *al.*, 2005 ; Mekhlouf et *al.*, 2006 ; Cuesta-Marcos et *al.*, 2008 ; Reynolds et *al.*, 2009).

Acreche et *al.*, (2008) font remarquer que la sélection de l'orge pour un haut rendement en grains, sous conditions sèches méditerranéennes, est accompagnée par une augmentation systématique du nombre de grains par m² plutôt que par la grosseur du grain. Sous ces conditions de croissance, Arisnabarreta et Miralles (2008) n'écartent pas la contribution de la remobilisation des assimilats vers l'épi, ce qui réduit de l'avortement des épillets et améliorent le nombre de grains produit par m².

De ce fait, avant de cibler le rendement en grains, il faut s'assurer que le matériel végétal soumis à la sélection porte des gènes qui contrôlent la résistance ou la résilience aux stress. La présence de ces gènes chez les parents croisés, dont la descendance est soumise à la sélection, peut se faire par la mesure de la température du couvert végétal, la capacité de remobilisation des assimilats, la précocité d'épiaison, de maturité et la hauteur optimales pour l'environnement ciblé, la stabilité de la membrane plasmique, de la chlorophylle et le statut hydrique foliaire, entre autres. De plus des études éco-physiologiques sont plus que nécessaires pour identifier, chez un nombre restreint de variétés témoins (probes), quelles sont les causes pédoclimatiques de la variation des

différents caractères utilisables comme critères de sélection, pour leur trouver une source génétique de tolérance ou résistance, ou des sources d'évitement ou d'esquive.

CONCLUSION

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, une biomasse aérienne, un poids des épis et un nombre de grains par m² plus élevés. Ces résultats suggèrent que les orges à 6 rangs sont, relativement, plus productives sous conditions semi arides que les orges à deux rangs. La sélection indirecte, mono et multi caractères identifie, à des degrés variables, de 30 à 90%, les mêmes lignées issues de la sélection directe.

Les différentielles de sélection sont élevées en valeurs aussi bien pour les caractères sélectionnés que pour les caractères non pris en compte par la sélection. Cependant, suite aux faibles liaisons entre les performances des différents caractères ciblés, par la sélection dans différents environnements, la réponse à la sélection est nulle ou négative. Sur les 50 lignées sélectionnées seules trois lignées, deux à 6 rangs et une à 2 rangs, maintiennent leur performance comparativement au meilleur témoin au cours de la seconde année.

Les résultats de cette étude suggèrent que la stratégie à déployer pour améliorer le rendement et l'adaptation des différents types d'orge, sous conditions semi-arides, doit être basée essentiellement sur l'utilisation en croisements des géniteurs à 6 rangs pour accumuler, chez la descendance, les gènes favorables à l'expression des caractères tels que le nombre d'épis, de grains par épi et la biomasse aérienne. La combinaison de ces caractères, par croisements suivis de criblages de la descendance, déboucherait, à long terme, à la sélection de génotypes performants et adaptés.

CHAPITRE III

ANALYSE DE LA TOLERANCE DES PLANTULES D'ORGE

AU CHOC THERMIQUE ET AU STRESS HYDRIQUE

ملخص

تهدف هذه الدراسة لاختبار فعالية الاختبارات المبكرة على شتلات من اجل تمييز أصناف مقاومة و حساسة للصدمة الحرارية و الإجهاد المائي عن طريق قياس الاستشعاع و فعالية استعمال الماء لإنتاج الكتلة الحيوية. أجريت التجارب في المختبر التابع للمعهد التجريبي للحبوب بفيورنزيولة دردا -إيطاليا- في سنة 2011. المادة النباتية المستخدمة في اختبار المقاومة للصدمة الحرارية تضم 16 سلالة من الشعير للجيل الرابع و 5 أصناف كشاهد، في حين أستعملنا 22 سلالة و 7 أصناف كشواهد لاختبار مدى مقاومتها للإجهاد المائي. أظهرت نتائج اختبار الصدمة الحرارية زيادة في قيم مؤشر الاستشعاع الابتدائي F0، في حين أظهرت كل من المؤشرات الخاصة بالاستشعاع الأقصى Fm، المتغاير Fv و النسبة بينهما Fv/Fm، تناقصا معنويا تحت تأثير الصدمة الحرارية عند كل من درجة الحرارة 40°م و 45°م. سجلت جميع السلالات و الأصناف الشاهدة عودة عادية في نموها و تطورها تحت تأثير درجة حرارة 40°م في حين و تحت تأثير درجة حرارة 45°م سجلت نمو و تطور جزئي في جميع السلالات و الأصناف الشاهدة. أظهرت جميع السلالات المختبرة و الأصناف الشاهدة ردود فعل مختلفة تحت تأثير الصدمات الحرارية و بالنسبة لجميع المؤشرات المدروسة. ترجع التغيرات المتناقصة في قيم النسبة بين Fv/Fm الى التحطامات البنيوية في جهاز التركيب الضوئي، وبناء على تغيرات قيم هذا المؤشر تم فرز و انتخاب سلالات حسب درجة مقاومتها. اظهرت الأصناف المحلية سعيدة، تيشدرت و فوارة مقاومة للصدمة الحرارية. أما فيما يخص الإجهاد المائي فقد أحدث تناقص في الكتلة الحيوية و قد تراوحت ما بين 5 و 30% و ذلك حسب اختلاف السلالات و الأصناف الشاهدة. كمية الماء المستهلكة و الممتصة اختلفت باختلاف السلالات المختبرة و تراوحت ما بين 26 % بالنسبة للسلالات مفرطة الاستهلاك و 53% عند السلالات المقتصدة. هذه الاخيرة تقتصد في استهلاكها للماء نسبة 34.9% تحت ظروف الاجهاد المائي مما يسمح لها بتحسين فعالية استغلال الماء بنسبة 67.9% لانتاج كمية كتلة حيوية مساوية للظروف الخالية من الاجهاد المائي. عموما تظهر نتائج هذه الدراسة ان مثل هذه الاختبارات غير مكلفة و سهلة الاستعمال و تسمح بانتخاب سريع لسلالات مقاومة في مراحل نمو جد مبكرة .

الكلمات المفتاحية: شعير، الصدمة الحرارية، الاستشعاع، نبيته، الاجهاد المائي، الكتلة الحيوية.

Résumé : Cette étude a pour objectif de tester l'efficacité des tests précoces sur plantules dans la discrimination des génotypes tolérants et sensibles au choc thermique et au stress hydrique par la mesure de la fluorescence et de l'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire la biomasse (WUE). Les expériences ont été conduites au sein du laboratoire relevant de l'Institut Expérimental de la Céréaliculture de Fiorenzuola d'Arda (Italie) en 2011. Le matériel végétal utilisé dans le test de la tolérance au choc thermique est constitué de 16 lignées F4 d'orge (*Hordeum vulgare* L.) et 6 cultivars ; celui utilisé dans le test de la tolérance au stress hydrique comprend 22 lignées F4 et 7 cultivars. Les résultats du test du choc thermique indiquent que le paramètre F_0 augmente alors que les paramètres F_m , F_v et le ratio F_v/F_m diminuent significativement sous les chocs thermiques de 40°C et de 45°C. La reprise du développement du végétal est totale sous choc de 40°C, par contre elle est partielle sous celui de 45°C. Les variétés testées présentent des différences de réponses pour ces paramètres. Sur la base des valeurs prises par le ratio F_v/F_m , dont le degré de diminution suggère des dommages à l'appareil photosynthétique, le matériel végétal testé a été trié selon le degré de tolérance.

Les cultivars Saida, Tichedrett et Fouara figurent parmi les génotypes tolérants le choc thermique. Les résultats du test de la tolérance au stress hydrique indiquent qu'il réduit la biomasse accumulée de 5 à 30% selon les génotypes. La quantité d'eau consommée diffère selon les lignées varie de 26.0% chez les variétés dépensières à 53.0% chez les variétés économes. Ces dernières économisent 34.9% de la quantité d'eau consommée sous stress et améliorent la WUE de 67.9% pour une biomasse accumulée similaire à celle produite en absence de stress. Ces résultats indiquent que ces tests, peu coûteux et faciles à mettre en œuvre, permettent de cribler rapidement le matériel en ségrégation pour identifier les lignées tolérantes au stade plantule

Mots clés : *Hordeum vulgare*, choc thermique, stress hydrique, plantule, fluorescence, biomasse.

ABSTRACT : This study aimed to investigate the efficiency of early seedling testing in the discrimination among barley genotypes subjected to heat shock and to water stress, measured through chlorophyll fluorescence and above ground biomass water use efficiency. Experiments were carried out at the C.R.A.- Experimental institute of Fiorenzuola d'Arda (Italy), in 2011. Plant material tested for heat shock comprised 16-F4 barley (*Hordeum vulgare* L.) lines and 5 cultivars and 22-F4 lines and 7 cultivars in the water stress test. Results indicated that F0 increased while Fm, Fv and Fv/Fm parameters declined significantly, under 40 and 45°C heat shock stress. Total recovery, is observed after 40°C heat shock stress, but seedlings recovered partial under 45°C. Tested plant material presented different response to heat shock measured through fluorescence parameters. Based on the Fv/Fm ratio values, whose decrease suggested injuries to photosynthesis apparatus, tested plant material was ranked for its stress tolerance. Saida, Tichedrett and Fouara cultivars ranked among the tolerant genotypes to heat shock. Drought stress test results indicated that above ground biomass reduction varied from 5 to 30%, among genotypes. Water economy under stress differed among tested lines, and varied from 26.0% for water spender varieties to 53.0% for water saver varieties. Water saver varieties improve their water used efficiency for above round biomass by a rate of 67.9%. These results indicate that the used tests are easy to apply, and allow rapid screening of large number of segregating material to identify tolerant lines at the seedling growth stage

Key words : *Hordeum vulgare*, heat shock, water stress, seedling, fluorescence, biomass.

ملخص

تهدف هذه الدراسة لاختبار فعالية الاختبارات المبكرة على شتلات من اجل تمييز أصناف مقاومة و حساسة للصدمة الحرارية و الإجهاد المائي عن طريق قياس الاستشعاع و فعالية استعمال الماء لإنتاج الكتلة الحيوية. أجريت التجارب في المختبر التابع للمعهد التجريبي للحبوب بفيورنزيولة دردا -إيطاليا- في سنة 2011. المادة النباتية المستخدمة في اختبار المقاومة للصدمة الحرارية تضم 16 سلالة من الشعير للجيل الرابع و 5 أصناف كشاهد، في حين أستعملنا 22 سلالة و 7 أصناف كشواهد لاختبار مدى مقاومتها للإجهاد المائي. أظهرت نتائج اختبار الصدمة الحرارية زيادة في قيم مؤشر الاستشعاع الابتدائي F0، في حين أظهرت كل من المؤشرات الخاصة بالاستشعاع الأقصى Fm، المتغير Fv و النسبة بينهما Fv/Fm، تناقصا معنويا تحت تأثير الصدمة الحرارية عند كل من درجة الحرارة 40°م و 45°م. سجلت جميع السلالات و الأصناف الشاهدة عودة عادية في نموها و تطورها تحت تأثير درجة حرارة 40°م في حين و تحت تأثير درجة حرارة 45°م سجلت نمو و تطور جزئي في جميع السلالات و الأصناف الشاهدة. أظهرت جميع السلالات المختبرة و الأصناف الشاهدة ردود فعل مختلفة تحت تأثير الصدمات الحرارية و بالنسبة لجميع المؤشرات المدروسة. ترجع التغيرات المتناقصة في قيم النسبة بين Fv/Fm الى التحطامات البنيوية في جهاز التركيب الضوئي، وبناء على تغيرات قيم هذا المؤشر تم فرز و انتخاب سلالات حسب درجة مقاومتها. اظهرت الأصناف سعيدة، تيشدرت و فوارة مقاومة للصدمة الحرارية. أما فيما يخص الإجهاد المائي فقد أحدث تناقص في الكتلة الحيوية و قد تراوحت ما بين 5 و 30% و ذلك حسب اختلاف الأنماط الوراثية. كمية الماء المستهلكة و الممتصة اختلفت باختلاف السلالات المختبرة و تراوحت ما بين 26 % بالنسبة للسلالات مفرطة الاستهلاك و 53% عند السلالات المقتصة. هذه الاخيرة تقتصد في استهلاكها للماء نسبة 34.9% تحت ظروف الاجهاد المائي مما يسمح لها بتحسين فعالية استغلال الماء بنسبة 67.9% لإنتاج كمية كتلة حيوية مساوية للظروف الخالية من الاجهاد المائي. عموما تظهر نتائج هذه الدراسة ان مثل هذه الاختبارات غير مكلفة و سهلة الاستعمال و تسمح بانتخاب سريع لسلالات مقاومة في مراحل نمو جد مبكرة .

الكلمات المفتاحية: شعير، الصدمة الحرارية، الاستشعاع، نبيته، الاجهاد المائي، الكتلة الحيوية.

Résumé : Cette étude a pour objectif de tester l'efficacité des tests précoces sur plantules dans la discrimination des génotypes tolérants et sensibles au choc thermique et au stress hydrique par la mesure de la fluorescence et de l'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire la biomasse (WUE). Les expériences ont été conduites au sein du laboratoire relevant de l'Institut Expérimental de la Céréaliculture de Fiorenzuola d'Arda (Italie) en 2011. Le matériel végétal utilisé dans le test de la tolérance au choc thermique est constitué de 16 lignées F4 d'orge (*Hordeum vulgare* L.) et 6 cultivars ; celui utilisé dans le test de la tolérance au stress hydrique comprend 22 lignées F4 et 7 cultivars. Les résultats du test du choc thermique indiquent que le paramètre F_0 augmente alors que les paramètres F_m , F_v et le ratio F_v/F_m diminuent significativement sous les chocs thermiques de 40°C et de 45°C. La reprise du développement du végétal est totale sous choc de 40°C, par contre elle est partielle sous celui de 45°C. Les variétés testées présentent des différences de réponses pour ces paramètres. Sur la base des valeurs prises par le ratio F_v/F_m , dont le degré de diminution suggère des dommages à l'appareil photosynthétique, le matériel végétal testé a été trié selon le degré de tolérance.

Les cultivars Saida, Tichedrett et Fouara figurent parmi les génotypes tolérants le choc thermique. Les résultats du test de la tolérance au stress hydrique indiquent qu'il réduit la biomasse accumulée de 5 à 30% selon les génotypes. La quantité d'eau consommée diffère selon les lignées varie de 26.0% chez les variétés dépensières à 53.0% chez les variétés économes. Ces dernières économisent 34.9% de la quantité d'eau consommée sous stress et améliorent la WUE de 67.9% pour une biomasse accumulée similaire à celle produite en absence de stress. Ces résultats indiquent que ces tests, peu coûteux et faciles à mettre en œuvre, permettent de cribler rapidement le matériel en ségrégation pour identifier les lignées tolérantes au stade plantule

Mots clés : *Hordeum vulgare*, choc thermique, stress hydrique, plantule, fluorescence, biomasse.

ABSTRACT : This study aimed to investigate the efficiency of early seedling testing in the discrimination among barley genotypes subjected to heat shock and to water stress, measured through chlorophyll fluorescence and above ground biomass water use efficiency. Experiments were carried out at the C.R.A.- Experimental institute of Fiorenzuola d'Arda (Italy), in 2011. Plant material tested for heat shock comprised 16-F4 barley (*Hordeum vulgare* L.) lines and 5 cultivars and 22-F4 lines and 7 cultivars in the water stress test. Results indicated that F0 increased while Fm, Fv and Fv/Fm parameters declined significantly, under 40 and 45°C heat shock stress. Total recovery, is observed after 40°C heat shock stress, but seedlings recovered partial under 45°C. Tested plant material presented different response to heat shock measured through fluorescence parameters. Based on the Fv/Fm ratio values, whose decrease suggested injuries to photosynthesis apparatus, tested plant material was ranked for its stress tolerance. Saida, Tichedrett and Fouara cultivars ranked among the tolerant genotypes to heat shock. Drought stress test results indicated that above ground biomass reduction varied from 5 to 30%, among genotypes. Water economy under stress differed among tested lines, and varied from 26.0% for water spender varieties to 53.0% for water saver varieties. Water saver varieties improve their water used efficiency for above round biomass by a rate of 67.9%. These results indicate that the used tests are easy to apply, and allow rapid screening of large number of segregating material to identify tolerant lines at the seedling growth stage

Key words : *Hordeum vulgare*, heat shock, water stress, seedling, fluorescence, biomass.

INTRODUCTION

Les stress biotiques et abiotiques affectent négativement la croissance et la performance de l'orge (*Hordeum vulgare* L.). Parmi ces stress, les températures élevées perturbent l'activité photosynthétique et provoquent la perte de l'intégrité membranaire et l'altération des pigments, ce qui conduit à une réduction du rendement en grains (Heller et *al.*, 1993 ; Guissé et *al.*, 1995). Dans ce contexte, les plantes ont développé des stratégies adaptatives pour contrer ce type de stress. Les plantes réagissent aux variations de température en ajustant leur activité aux conditions environnantes.

Lorsque les changements de température sont persistants, des modifications plus ou moins durables du métabolisme sont mises en jeu à travers des réactions biochimiques de la photosynthèse, telles que les processus de diffusion et la capture de l'énergie de la lumière avec sa transformation en énergie chimique (Guisé et *al.*, 1995). Lorsque la chlorophylle absorbe la lumière, l'énergie générée est utilisée par le centre réactionnel pour fixer le carbone, une partie est dissipée sous forme de chaleur, une autre est réémise sous forme de fluorescence et une autre partie engendre la formation d'espèces réactives de l'oxygène (Ralph et *al.*, 2007).

Toutes les voies de transfert d'énergie sont inter-reliées et toute modification, de l'une de ces voies de dissipation de l'énergie, induit des modifications des autres (Louvieux 2004). Ainsi, une diminution de la photochimie est compensée par une hausse de l'émission de l'énergie non utilisée sous forme de fluorescence ou par augmentation des ROS (Maxwell et Johnson, 2000). La mesure de la fluorescence, notamment sous la contrainte thermique, reflète donc l'état d'adaptation de l'appareil photosynthétique au stress (Ralph et *al.*, 2007). Genty et *al.*, (1989) suggèrent que la mesure de la fluorescence chlorophyllienne permet de caractériser l'état physiologique foliaire et de quantifier l'activité photosynthétique de la plante. L'amélioration génétique de l'orge se fait généralement par sélection directe du caractère principal à améliorer et qui est le plus souvent le rendement en grains, méthode dite amélioration empirique. Elle peut aussi se faire indirectement sur la base de caractères secondaires qui sont liés

au caractère principal dans un souci d'améliorer la performance sous stress. Cette méthode est dite amélioration analytique ou physiologique (Ceccarelli et Grando, 1996). Avec les changements climatiques lesquels, potentiellement, risquent de causer l'augmentation de la température de l'air ambiant et de réduire les événements pluvieux avec des conséquences négatives sur la production végétale, un intérêt croissant est accordé à la recherche de caractères physiologiques utilisables dans l'approche analytique (Rijsberman, 2006 ; Lobell et *al.*, 2008). Un caractère physiologique désirable doit être facilement et rapidement mesurable et reproductible sur de nombreux individus soumis à la sélection (Araus *et al.*, 2002).

Dans ce contexte, de nombreuses études rapportent que la fluorescence de la chlorophylle a est une sonde très sensible du statut physiologique du feuillage sous une large gamme de conditions de croissance (Baker et Rosenqvist, 2004). Araus et *al.*, (1998) utilisent et proposent les paramètres de la fluorescence comme critères de sélection pour l'amélioration du blé dur. Sous conditions méditerranéennes, telles que celles des hauts plateaux algériens, le déficit hydrique et le stress thermique de fin de cycle de la culture figurent parmi les principaux facteurs limitant le rendement en grains de l'orge. La température optimale pour la croissance normale du grain est de l'ordre de 15 à 18°C, alors que des températures de l'ordre de 30°C sont souvent observées.

Associé au manque d'eau, ce seuil de température réduit de la durée de la phase de remplissage du grain qui est rarement compensée par une augmentation du taux de remplissage (Abbassenne et *al.*, 1997). Ce stress affecte la disponibilité des assimilats, leur remobilisation, augmente l'avortement, réduit du nombre de grains, du poids moyen final du grain et donc du rendement en grains (Abbassenne et *al.*, 1997 ; Modhej et Behdarvandi, 2006).

L'objectif de cette étude est d'évaluer la tolérance au choc thermique mesurée par la fluorescence chlorophyllienne et celle au stress hydrique mesurée par la capacité d'accumulation de la biomasse aérienne des plantules d'orge.

MATERIEL ET METHODES

1. SITE, MATERIEL VEGETAL ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les expériences ont été conduites au sein du laboratoire relevant de l'Institut Expérimental de la Céréaliculture de Fiorenzuola d'Arda, en Italie, au cours d'un séjour scientifique (septembre 2011), financé par la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Mohammed Boudiaf (Msila). Le matériel végétal utilisé dans cette expérimentation est constitué de 16 lignées d'orge (*Hordeum vulgare* L.) F4 dérivées d'une population F3 (Bensemmane et *al.*, 2011) et 6 cultivars: Tichedrett, Bahia, Saïda, Fouara, Nure et Trémois. Pour le matériel végétal du test stress hydrique, celui-ci est composé de 22 lignées F4 et 7 variétés: Acsad176, Barberousse, Bahia, Fouara, Rihane, Saïda et Tichedrett.

Nure est une variété d'orge italienne à 2 rangs, de type hiver, résistante aux basses températures et sensible à la photopériode. Elle est adaptée à croître dans une large gamme d'environnements caractérisés par une carence hydrique tout en maintenant un niveau élevé de productivité (Francia et *al.*, 2004; Rizza et *al.*, 2004).

Trémois est une variété brassicole française à 2 rangs, à haut potentiel de rendement en grains, sensible aux basses températures et adaptée à des environnements fertiles (Francia et *al.*, 2004).

Saïda et Tichedrett sont deux variétés de type à 6 rangs, issues de la sélection généalogique de populations locales adaptées à l'Ouest (Saïda) et à l'Est (Tichedrett) algériens. Saïda est de type printemps alors que Tichedrett est de type demi- hiver, tolérant le froid hivernal et répondant à la vernalisation (Adjel et *al.*, 2013).

Bahia est une orge à 6 rangs, sélection de l'Institut Technique des Grandes Cultures, Station Expérimentale Agricole de Sétif (ITGC, SEA- Sétif), provenant du croisement Aths/Lignée 686//Rebelle (Benmahammed et *al.*, 2008).

Fouara, orge à 6 rangs, est une sélection de l'Institut Technique des Grandes Cultures, Station Expérimentale Agricole de Sétif (ITGC, SEA- Sétif), faite à l'intérieur du matériel en ségrégation en provenance de l'ICARDA dont le pedigree Deir alla 106/Strain 205//Gerbel. ICB85. 1376. 0AP. 1AP. 2AP (Menad et *al.*, 2011 ; Adjel et *al.*, 2013).

Acsad176, un génotype à 6 rangs d'origine Syrienne obtenu par ACSAD en 1984.

Pour les besoins de l'expérience portant sur la détermination de la fluorescence, les semences des différentes variétés testées ont été traitées avec l'hypochlorite de sodium 5% pendant 10 min, ensuite rincées plusieurs fois avec de l'eau distillée pour éliminer l'eau de javel. Deux graines par variété et par alvéole sont ensemencées dans deux plateaux en plastique de 156 alvéoles chacun remplis de terreau (1/3 tourbe : 1/3 sable : 1/3 vermiculite). Chaque variété est répétée 6 fois (Figure 18).

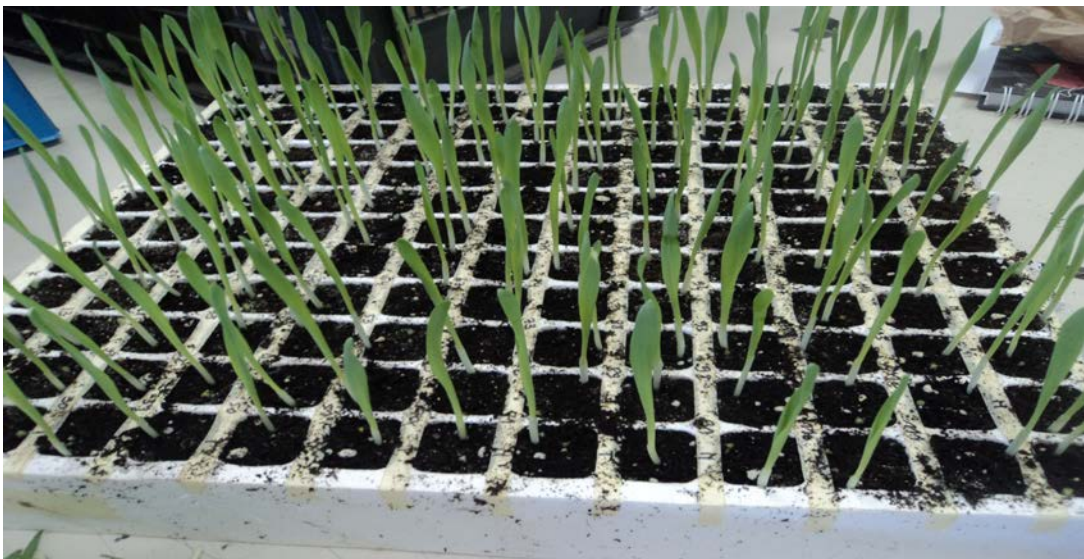


Figure 18 : Vue du plateau à alvéoles, 7 jours après l'ensemencement

Les plateaux sont arrosés avec de l'eau plate, puis placés dans une chambre de culture de marque Sanyo pendant une semaine, sous une photopériode de 10/14 h. La lumière est émise par des lampes à haute pression au sodium dont l'intensité lumineuse est de 3000 $\mu\text{moles photons/m}^2/\text{S}$, PAR. La température est de 20/15°C et l'humidité relative est de 90%.

Pour les besoins de l'expérience portant étude de l'effet du stress hydrique sur l'accumulation de la biomasse, les graines des lignées et variétés utilisées pour l'étude de la fluorescence ont été soumises à une pré-germination pendant 2 jours à 24°C dans des boîtes de pétri contenant du papier absorbant imbibé d'eau pour accélérer la levée. Les graines pré-germées (la coléoptile sortie de la graine) sont transférées dans des pots cylindriques de 8 cm de diamètre et de 10 cm de hauteur, à raison de deux graines par pot et 6 pots par variété.

Les pots sont remplis d'un mélange de terreau (type floragard) et de sable dans les proportions volumiques 8:2, ensuite portés au même poids. Puis, ils sont irrigués à saturation et couverts par un film plastique transparent après ensemencement pour minimiser l'évaporation et placés dans une serre vitrée pendant une nuit pour le drainage de l'eau en excès afin d'estimer la capacité au champ des pots.

Le poids du sol sec est déterminé en prenant la moyenne de quatre pots après passage dans une étuve durant 24 heures à une température de 105°C (poids moyen du pot vide = 12.5 g, poids moyen du sol sec par pot 173.0 g ; poids moyen du pot rempli de sol sec = 185.5 g).

Les pots ont été amenés à la capacité au champ au moment de la transplantation des plantules au 8^{ème} jour après la mise en germination des graines correspondant au début de l'expérience portant sur le suivi de l'accumulation de la biomasse.

Sur la base du poids moyen du pot contenant le sol sec, l'humidité des pots est contrôlée quotidiennement par pesage direct des différents pots ensemencés. Le contenu relatif de l'eau du pot est maintenu à 90% (témoin), l'évaluation de la variation du statut hydrique se réalise par la mesure de RSWC% (Relative Soil Water Content) selon la formule suivante :

$$\text{RSWC} = 100[(\text{Poids Actuel} - \text{Poids Sec}) / (\text{Poids à la capacité au champ} - \text{Poids Sec})].$$

Une fois les plantules ayant atteint le stade 1^{ère} feuille, deux traitements sont appliqués par variété : maintien, sur la moitié des pots, une humidité relative de 90% et imposition, sur l'autre moitié des pots, d'un stress hydrique par arrêt des arrosages

jusqu'à une humidité relative du sol de 45% (stressé); soit trois pots témoins et trois pots stressés par variété.

L'expérience est conduite sous une photopériode de 16/8 h et à une température de 25/15°C. L'expérience a duré 21 jours (du 9 au 30 septembre 2011).

2. NOTATIONS ET MESURES

2.1. MESURE DE LA FLUORESCENCE

Les mesures de la fluorescence sont réalisées sur des plantules âgées de 7 jours, après une acclimatation à 35°C. La mesure est faite en deux étapes. Au cours de la 1^{ère} étape, les plantules sont placées à l'obscurité pendant 1 heure pour rendre disponible les centres réactionnels, vu que la photosynthèse est inhibée et que tous les transporteurs d'électrons sont oxydés. Après cette étape, un flash lumineux (lumière saturante de 3000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), envoyé sur la surface de chaque feuille et provoque la mise en route de toute la chaîne des transporteurs d'électrons.

Les accepteurs d'électrons du PSII sont alors saturés et l'énergie lumineuse excédant les possibilités de collecte du PSII est réémise sous forme de fluorescence. L'intensité de fluorescence monte rapidement (1 seconde), d'une valeur initiale (F_0) vers une valeur maximale (F_m), puis elle baisse à une valeur intermédiaire dite fluorescence variable (F_v) qui représente la différence entre F_m et F_0 ($F_v = F_m - F_0$).

Le rendement quantique, mesuré par le rapport $(F_m - F_0)/F_m = F_v/F_m$, traduit donc l'efficacité photochimique d'utilisation de la lumière par le PSII qui est un indicateur de l'état de santé générale de la plante. Ce rapport est utilisé pour évaluer la réponse au stress thermique.

Après cette première série de mesures, les plantules sont soumises à un stress thermique de 40°C d'intensité pendant 2 heures. Une deuxième série de mesures est faite avec un temps d'adaptation à l'obscurité de 30 minutes. Les plantules sont ensuite placées dans la chambre de culture pour une durée de 48 heures en absence de stress thermique pour évaluer la capacité de reprise après stress.

Une troisième série de mesures est effectuée dans des conditions similaires à celles de la première série de mesures. La même procédure est répétée pour un second plateau à alvéoles dont les plantules ont subi un stress de 45°C d'intensité pour une durée de 2 heures.

Les mesures sont faites avec un fluorimètre Xénon-PAM (Pulse Amplitude Modulation, Walz, Effeltrich, Allemagne, Figure 19) selon la méthode des flashes saturants décrite par Maxwell et Johnson (2000). L'émission de fluorescence a été examinée à partir de la partie centrale de la surface supérieure du limbe foliaire (face adaxiale) selon la procédure décrite par Rizza *et al.*, (2004).



Figure 19. Fluorimètre PAM pour l'analyse du rendement de la photosynthèse (Mini PAM photosynthesis analyser)

2.2. MESURE DE LA BIOMASSE AERIENNE

La biomasse accumulée au terme de 21 jours, durée de l'expérience, a été déterminée par pesage des plantes fraîches et exprimée en g/MF par pot.

3. ANALYSE DES DONNEES

Les données collectées ont été traitées par l'analyse de la variance en utilisant le logiciel Cropstat 2. 3. (2009). La séparation des moyennes est faite en utilisant la plus petite différence significative au seuil de 5%. Les coefficients de corrélations sont calculés à l'aide du logiciel Past (Hammer *et al.*, 2001), lequel a été aussi utilisé pour réaliser le dendrogramme selon la méthode de Ward (classement des lignées et variétés dans des groupes divergents).

RESULTATS ET DISCUSSION

I. EFFET DU CHOC THERMIQUE SUR LA FLUORESCENCE DES PLANTULES D'ORGE

1. FLUORESCENCE MINIMALE DES FEUILLES ADAPTEES A L'OBSCURITE (F0)

Hormis l'effet variété, le choc thermique et l'interaction variété x chocs thermiques présentent des effets significatifs pour le paramètre de la fluorescence minimale F0 des feuilles adaptées à l'obscurité. Ces résultats indiquent que la fluorescence minimale des feuilles adaptées à l'obscurité est affectée par le choc thermique imposé et varie selon le couple variété x choc thermique (Tableau 11).

Les valeurs F0, chez le témoin non stressé, varient de 138.9 à 150.3, valeurs non significativement différentes au vu de la taille de la plus petite différence qui est de 12.4. Sous l'effet du choc thermique de 40°C et de 45°C, la valeur de F0 augmente respectivement à 165.3 et 219.07 (Tableau 12).

Tableau 11. Carrés moyens de l'analyse de la variance des différents paramètres de la fluorescence des 22 lignées et variétés d'orge soumises au choc thermique.

Source	Ddl	F ₀	F _m	F _v	F _v /F _m
Choc thermique	5	115883**	3440300**	4755480**	5.9**
Variétés	21	3794 ^{ns}	72939**	57992**	0.04**
CT*Variété	105	2586**	24429*	16329**	0.02**
Répétition	5	2823 ^{ns}	289037*	42234**	0.01 ^{ns}
Résiduelle	655	1544	17765	11050	0.007

Tableau 12. Valeurs des différents paramètres de la fluorescence pour les traitements de choc thermique, moyennes calculées sur les 22 lignées et variétés d'orge évaluées.

Choc thermique	F ₀	F _m	F _v	F _v /F _m
Témoin 1	150.33	695.97	545.64	0.78
40°C	165.30	495.02	329.72	0.67
Reprise 40°C	147.89	730.74	570.85	0.80
Témoin 2	138.97	675.08	536.11	0.79
45°C	219.07	394.31	175.24	0.44
Reprise 45°C	182.74	512.85	330.31	0.60
Ppds5%	12.41	38.14	31.19	0.03

Ces deux valeurs sont significativement différentes entre elles et s'écartent significativement de la valeur moyenne du témoin qui est de 144.6. Ces résultats

indiquent, qu'en moyenne des 22 variétés et lignées testées, le choc thermique augmente F0 et que cette augmentation est proportionnelle à l'intensité du choc thermique.

Après reprise du choc thermique de 40°C, la fluorescence minimale, des feuilles adaptées à l'obscurité, revient à la valeur prise par le témoin non stressé (147.39 vs 150.33 ou 147.39 vs 144.6). Par contre, après reprise du choc thermique de 45°C, la fluorescence minimale des feuilles adaptées à l'obscurité baisse mais se maintient à une valeur qui est significativement supérieure à celle du témoin (182.74 vs 138.97 ou 182.74 vs 144.6).

Ces résultats suggèrent l'existence d'un seuil limite de température après lequel l'effet du choc thermique est irréversible. Dans le cas de la présente étude, ce seuil semble se situer entre 40 et 45°C (Tableau 12). En moyenne des différents traitements du choc thermique, l'effet moyen variété n'est pas significatif comme l'indique l'analyse de la variance (Tableau 11). L'étude des données du tableau 13 indique que les valeurs F0 varient d'un minimum de 153.19, moyenne de Tichedrett, à 176.97, moyenne de la lignée 13.

La moyenne générale est de 167.38, au vu de la valeur de la plus petite différence significative, qui est de 23.77, les valeurs moyennes des différentes lignées ne s'en écartent pas significativement (Tableau 13).

L'étude de l'interaction variété x chocs thermiques indique que sous choc thermique de 40°C, seules la lignée 11 et la variété Bahia présentent une valeur F0 significativement plus élevée que celle du témoin non stressé avec des écarts de 38.2 et 48.4, respectivement (Tableaux 14 et 15).

Après reprise de ce stress, toutes les lignées et variétés présentent une valeur F0 non significativement différente de celle observée chez le témoin non stressé, ce qui suggère la capacité de reprise, à ce niveau du stress, chez l'ensemble des lignées analysées (Tableaux 14 et 15).

Tableau 13. Valeurs des différents paramètres de la fluorescence pour les différentes variétés, moyennes calculées sur les 6 traitements de choc thermique.

Variété	F ₀	F _m	F _v	F _v /F _m
1	167.19	500.17	332.98	0.638
2	171.83	539.95	368.11	0.621
3	176.89	568.62	391.73	0.598
4	165.44	554.80	389.73	0.640
5	173.17	547.49	374.32	0.614
6	167.42	516.06	348.64	0.587
7	160.56	522.36	361.80	0.630
8	166.28	575.39	409.11	0.630
9	153.81	560.67	406.87	0.690
10	172.19	630.50	458.31	0.689
11	156.08	483.11	327.03	0.620
12	170.92	535.46	364.54	0.620
13	176.89	654.97	451.00	0.634
14	168.19	625.13	456.93	0.695
15	161.97	530.12	368.14	0.641
16	171.44	588.06	416.61	0.662
Tichedrett	153.19	539.14	385.95	0.679
Bahia	162.47	502.92	340.44	0.612
Saida	161.92	563.45	401.54	0.678
Fouara	163.19	590.48	427.29	0.687
Nure	169.61	601.95	432.34	0.662
Trémois	164.64	603.73	439.80	0.695
Ppds 5%	23.77	73.04	59.71	0.063

Tableau 14. Ecart, par rapport à la moyenne du témoin, des valeurs F₀ des différentes variétés, due à l'effet du choc thermique et après reprise du choc.

	40°C	R40°C	45°C	R45°C
1	22.8	-4.5	36.2	13.7
2	7.8	-1.4	127.1	53.1
3	8.3	-9.7	98.3	3.3
4	16.2	16.5	94.3	47.7
5	0.1	16.4	109.6	63.4
6	17.5	-3.5	97.2	10.3
7	34.0	21.3	58.7	51.3
8	-12.3	-20.5	75.8	-6.3
9	26.0	15.7	51.7	39.5
10	1.8	-1.7	44.2	32.2
11	38.2	18.5	103.5	78.3
12	-1.4	-19.3	80.4	30.3
13	23.5	5.0	138.8	35.5
14	8.1	1.6	33.4	22.6
15	-1.4	-20.3	79.8	33.3
16	18.3	13.9	80.1	49.9
Tichedrett	17.2	12.3	52.8	38.8
Bahia	48.4	17.3	123.6	60.1
Saida	21.1	11.7	57.6	58.6
Fouara	13.8	1.6	40.1	30.3
Nure	-1.2	1.2	42.5	15.2
Trémois	14.6	-1.1	50.9	29.9
Ppds5%			34.6	

Tableau 15. Valeurs des différents paramètres de la fluorescence pour les différentes variétés et traitements de choc thermique.

Stress	Variété	F0	Fm	Fv	Fv/Fm	Stress	Variété	F0	Fm	Fv	Fv/Fm
Témoin	1	165.0	714.4	549.4	0.768	Témoin	1	146.7	667.7	521.0	0.780
Témoin	2	142.5	663.6	521.1	0.785	Témoin	2	139.0	617.9	478.9	0.773
Témoin	3	165.8	758.2	592.4	0.777	Témoin	3	154.5	698.5	544.0	0.778
Témoin	4	138.7	671.2	532.5	0.794	Témoin	4	134.0	625.3	491.3	0.785
Témoin	5	152.7	743.6	591.0	0.794	Témoin	5	130.5	602.2	471.7	0.782
Témoin	6	140.7	684.9	544.2	0.795	Témoin	6	153.7	688.6	534.9	0.775
Témoin	7	139.5	637.0	497.5	0.781	Témoin	7	126.5	580.1	453.6	0.781
Témoin	8	173.2	812.3	639.1	0.787	Témoin	8	147.2	704.8	557.6	0.791
Témoin	9	134.2	634.6	500.4	0.788	Témoin	9	129.2	597.7	468.5	0.783
Témoin	10	169.3	780.4	611.1	0.783	Témoin	10	147.0	668.5	521.5	0.780
Témoin	11	124.2	556.4	432.2	0.778	Témoin	11	108.5	486.3	377.8	0.774
Témoin	12	157.2	697.4	540.2	0.774	Témoin	12	154.7	654.6	499.9	0.763
Témoin	13	149.7	712.2	562.5	0.790	Témoin	13	146.3	671.9	525.6	0.782
Témoin	14	169.0	788.8	619.8	0.786	Témoin	14	145.5	682.7	537.2	0.786
Témoin	15	158.0	709.6	551.6	0.776	Témoin	15	135.5	626.5	491.0	0.783
Témoin	16	162.2	752.9	590.8	0.784	Témoin	16	126.7	586.9	460.2	0.785
Témoin	Tichedrett	151.8	685.3	533.4	0.779	Témoin	Tichedrett	114.2	501.3	387.1	0.770
Témoin	Bahia	105.2	497.6	392.5	0.790	Témoin	Bahia	136.7	630.0	493.3	0.783
Témoin	Saïda	131.5	597.9	466.4	0.783	Témoin	Saïda	142.7	645.6	503.0	0.778
Témoin	Fouara	165.2	761.2	596.0	0.783	Témoin	Fouara	132.7	631.0	498.3	0.789
Témoin	Nure	160.3	750.3	589.9	0.786	Témoin	Nure	159.7	730.7	571.1	0.782
Témoin	Trémois	151.7	701.7	550.0	0.785	Témoin	Trémois	146.2	672.9	526.8	0.782
T40°C	1	178.7	366.3	187.7	0.810	T45°C	1	192.0	230.2	38.2	0.175
T40°C	2	148.5	450.4	301.9	0.670	T45°C	2	267.8	298.8	30.9	0.104
T40°C	3	168.5	534.7	366.2	0.684	T45°C	3	258.5	281.4	22.9	0.084
T40°C	4	152.5	446.1	293.6	0.652	T45°C	4	230.7	284.3	53.7	0.186
T40°C	5	141.7	369.8	228.1	0.600	T45°C	5	251.2	287.3	36.1	0.125
T40°C	6	164.7	421.8	257.1	0.601	T45°C	6	244.3	272.1	27.8	0.105
T40°C	7	167.0	424.2	257.2	0.599	T45°C	7	191.7	237.7	46.1	0.200
T40°C	8	147.8	442.6	294.7	0.662	T45°C	8	236.0	275.7	39.7	0.153
T40°C	9	157.7	507.2	349.5	0.687	T45°C	9	183.3	328.2	144.9	0.424
T40°C	10	160.0	546.2	386.2	0.707	T45°C	10	198.0	321.5	123.5	0.369
T40°C	11	154.5	461.1	306.6	0.662	T45°C	11	219.8	280.4	60.5	0.201
T40°C	12	154.5	464.6	310.1	0.663	T45°C	12	236.3	292.5	56.1	0.195
T40°C	13	171.5	508.1	603.6	0.672	T45°C	13	286.8	323.6	36.7	0.122
T40°C	14	165.3	543.1	377.8	0.696	T45°C	14	190.7	315.6	125.0	0.392
T40°C	15	145.3	454.1	308.8	0.677	T45°C	15	226.5	290.2	63.6	0.215
T40°C	16	162.7	518.5	355.8	0.687	T45°C	16	224.5	316.0	91.5	0.269
T40°C	Tichedrett	150.2	471.1	320.9	0.681	T45°C	Tichedrett	171.8	300.4	128.6	0.422
T40°C	Bahia	169.3	476.7	307.3	0.640	T45°C	Bahia	244.5	297.5	53.0	0.177
T40°C	Saïda	158.2	463.4	305.2	0.661	T45°C	Saïda	194.7	309.2	114.5	0.365
T40°C	Fouara	162.7	507.4	344.8	0.676	T45°C	Fouara	189.0	324.7	135.7	0.413
T40°C	Nure	158.8	539.9	381.1	0.705	T45°C	Nure	202.5	276.8	74.3	0.261
T40°C	Trémois	163.5	573.1	409.6	0.715	T45°C	Trémois	178.8	330.5	151.7	0.416
Rec40°C	1	151.3	658.8	507.5	0.767	Rec45°C	1	169.5	363.5	194.0	0.528
Rec40°C	2	139.3	725.4	586.1	0.808	Rec45°C	2	193.8	483.6	289.8	0.589
Rec40°C	3	150.5	756.5	606.0	0.801	Rec45°C	3	163.5	382.4	218.9	0.465
Rec40°C	4	152.8	795.4	642.6	0.808	Rec45°C	4	184.0	506.4	322.4	0.618
Rec40°C	5	158.0	762.8	604.8	0.793	Rec45°C	5	205.0	519.1	314.1	0.591
Rec40°C	6	143.7	711.7	568.0	0.798	Rec45°C	6	157.5	317.3	159.8	0.452
Rec40°C	7	154.3	728.0	573.7	0.787	Rec45°C	7	184.3	527.1	342.8	0.633
Rec40°C	8	139.7	735.2	595.5	0.810	Rec45°C	8	153.8	481.8	328.0	0.575
Rec40°C	9	147.3	743.1	595.7	0.801	Rec45°C	9	171.2	553.4	382.2	0.659
Rec40°C	10	156.5	809.5	653.0	0.807	Rec45°C	10	202.3	656.9	454.6	0.688
Rec40°C	11	134.8	653.0	518.1	0.793	Rec45°C	11	194.7	461.5	266.9	0.512
Rec40°C	12	136.7	662.6	525.9	0.793	Rec45°C	12	186.2	441.1	254.9	0.530
Rec40°C	13	153.0	769.8	616.8	0.801	Rec45°C	13	183.5	544.3	360.8	0.638
Rec40°C	14	158.8	776.6	617.7	0.795	Rec45°C	14	179.8	643.9	464.1	0.719
Rec40°C	15	126.5	624.0	497.5	0.798	Rec45°C	15	180.0	476.4	296.4	0.596
Rec40°C	16	158.3	779.2	620.9	0.797	Rec45°C	16	194.3	574.8	380.5	0.651
Rec40°C	Tichedrett	145.3	692.4	547.1	0.790	Rec45°C	Tichedrett	185.8	584.4	398.5	0.637
Rec40°C	Bahia	138.2	672.3	534.1	0.794	Rec45°C	Bahia	181.0	443.4	262.4	0.492
Rec40°C	Saïda	148.8	727.4	578.5	0.795	Rec45°C	Saïda	195.7	637.1	441.5	0.689
Rec40°C	Fouara	150.5	747.2	596.7	0.799	Rec45°C	Fouara	179.2	571.4	392.2	0.666
Rec40°C	Nure	161.2	797.8	636.7	0.798	Rec45°C	Nure	175.2	516.2	341.0	0.644
Rec40°C	Trémois	147.8	747.6	599.8	0.802	Rec45°C	Trémois	199.8	596.6	401.0	0.671
Rec40°C	Ppds5%	34.6	151.1	119.2	0.092	Rec45°C	Ppds5%	34.6	151.1	119.2	0.092

L'effet du choc thermique de 45°C est significatif sur l'ensemble des variétés et lignées sauf la ligne 14 qui ne montre pas d'écart significatif de la valeur F0 par rapport à la valeur prise par le témoin non stressé (Tableaux 14 et 15). Ces résultats attestent que les variétés et lignées, dans l'ensemble, se montrent sensibles au choc thermique de 45°C.

La réponse à la reprise du choc de 45°C est variable selon les génotypes. Ainsi les lignées 1, 3, 6, 8, 10, 12, 14 et 15 et les variétés Fouara et Nure présentent une valeur F0 non significativement différente de celle du témoin, alors que les lignées 2, 4, 5, 7, 9, 11, 13 et 16 et les variétés Tichedrett, Saida, Bahia et Trémois présentent des valeurs F0 significativement plus élevées que celle du témoin (Tableau 14 et 15).

La tendance globale des valeurs prises par le paramètre F0 est indiquée en figure 20. Peu de différences significatives existent entre les valeurs du témoin, celles sous choc thermique de 40°C et après reprise de ce choc thermique. Par contre, pour certaines variétés, des différences apparaissent pour le choc de 45°C et même après reprise de ce choc, (Figure 20).

2. FLUORESCENCE MAXIMALE (Fm)

La fluorescence maximale (Fm), mesurée après un flash lumineux saturant, présente des effets choc thermique, variétés et interaction variété x chocs thermiques significatifs. Ces résultats indiquent que la valeur prise par la fluorescence maximale des feuilles saturées par un flash lumineux varie en fonction de l'intensité du choc thermique, de la nature du fond génétique et de leur interaction (Tableau 11).

La valeur du paramètre Fm, due à l'effet moyen du choc thermique, varie de 675.08 à 695.97 chez le témoin. Ces deux valeurs, en comparaison avec la valeur prise par la plus petite différence significative au seuil de 5%, ne sont pas différentes significativement. Suite aux effets du choc thermique de 40 et 45°C, la valeur du paramètre Fm accuse une diminution pour prendre des valeurs de 495.02 et 394.31, respectivement.

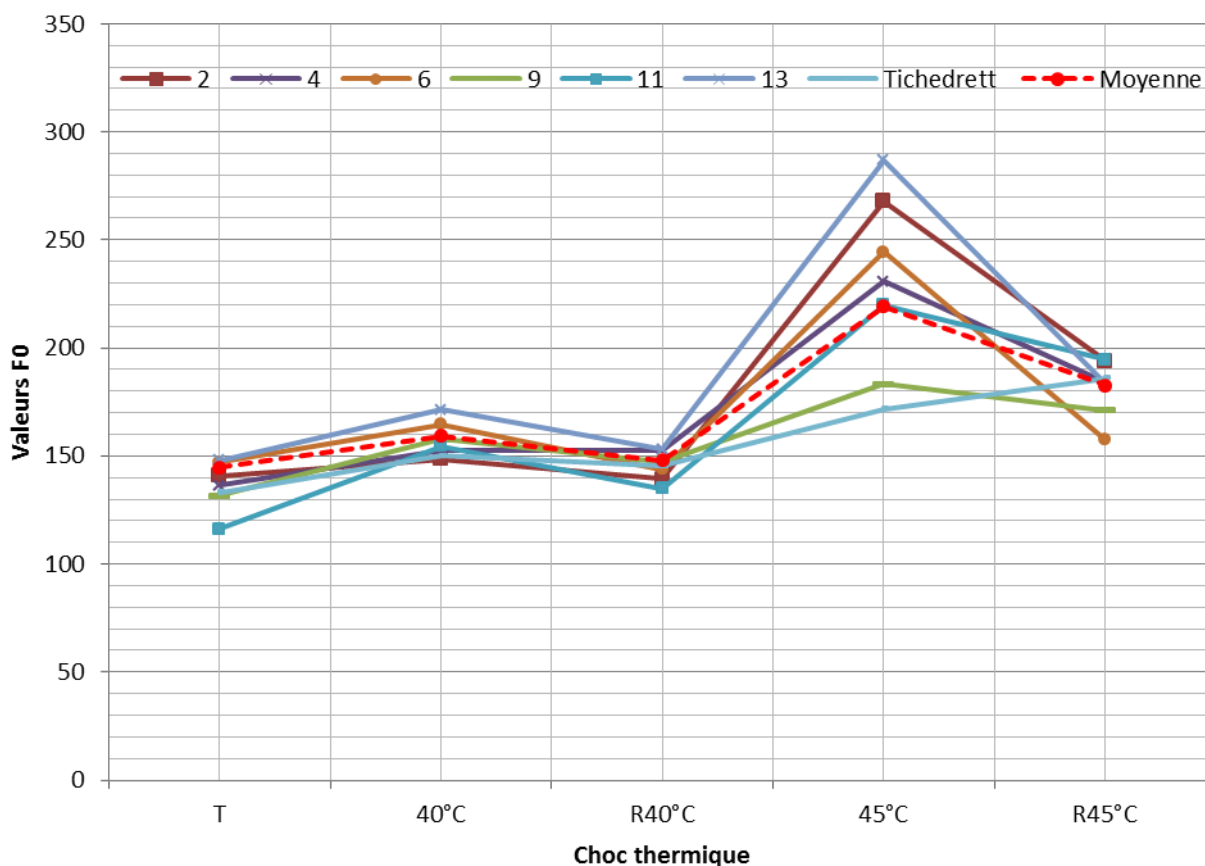


Figure 20. Tendence globale de la variation des valeurs F0 des différentes variétés en fonction de l'intensité du choc thermique et après reprise du choc (seules les variétés extrêmes sont représentées pour plus de clarté).

Comparativement à la valeur de la Ppds5%, ces deux moyennes sont significativement différentes entre elles et sont différentes de la valeur du témoin (Tableau 12). Comparativement à la valeur Fm prise par le témoin $(675.08 \text{ à } 695.97)/2 = 685.25$, le choc thermique induit un déclin des valeurs prises par le paramètre Fm de 27.78 et 42.48%, respectivement pour les chocs de 40 et 45°C. Après reprise, la réduction est nulle pour le choc de 40°C alors qu'elle est de 25.18 sous le choc de 45°C (Tableau 12, figure 21).

Ces résultats suggèrent que les activités photochimique et non photochimique de l'orge sont affectées par le stress thermique de manière variable selon le génotype et l'intensité du choc. Certaines variétés possèdent la capacité de réparer les dégâts causés par le choc thermique et de reprendre l'activité photosynthétique aussi normalement qu'avant le choc alors que d'autres reprennent l'activité à degré moindre.

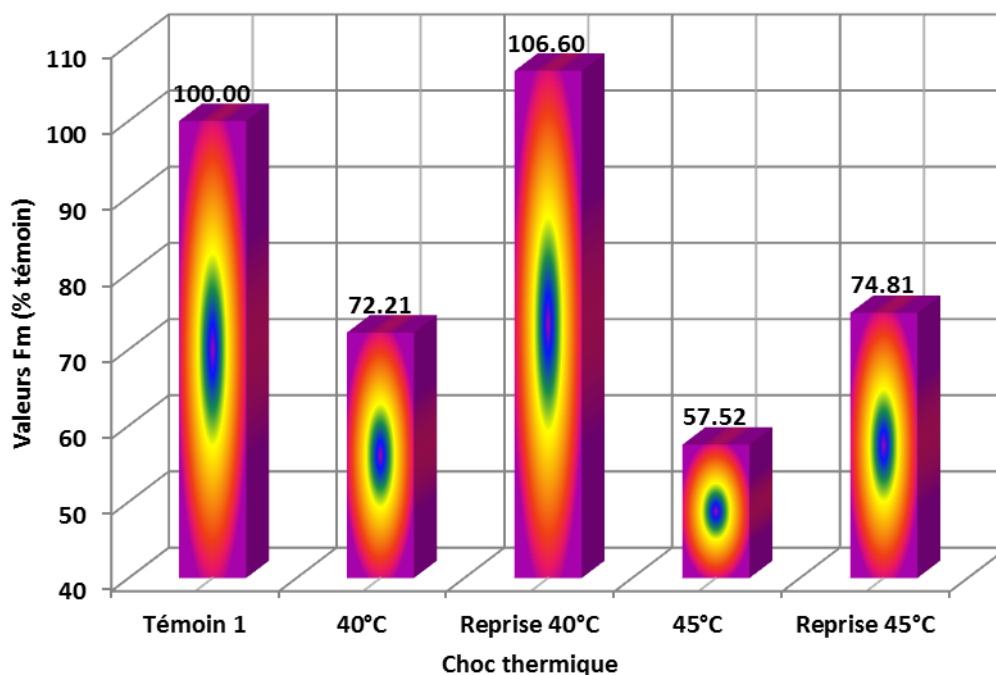


Figure 21. Réductions relatives des valeurs du paramètre Fm suite à l'effet du choc thermique et après reprise, moyennes des 22 variétés et lignées analysées par traitement.

L'étude de l'effet moyen des variétés indique que les valeurs prises par la fluorescence maximale varient de 483.11 à 654.97, valeurs moyennes mesurées respectivement chez la lignée 11 et la lignée 13. La différence entre ces deux valeurs est significative en comparaison avec la valeur prise par la Ppds5% qui est de 73.04, suggérant que la fluorescence maximale varie significativement chez les différentes variétés et lignées d'orge étudiées (Tableau 13).

L'étude de l'interaction variété x chocs thermiques indique que le choc thermique de 40°C induit une baisse significative de la valeur prise de la fluorescence maximale chez l'ensemble des variétés mise à part la lignée 11 et la variété Bahia dont la valeur Fm, sous choc thermique de 40°C, ne dévie pas significativement de la valeur Fm du témoin mesurée sous température ambiante.

En effet les réductions de la valeur Fm enregistrées par ces deux variétés sont respectivement de 60.2 et 87.5 contre la valeur de la plus petite différence significative qui est de 151.20. Le reste des variétés accuse des réductions qui atteignent des valeurs

inférieures à -300, comme c'est le cas des lignées 1 (-324.8), 5 (-303.1) 8 (-316.0) (Tableau 16, Figure 22).

Les valeurs du paramètre Fm, mesurées après la reprise des plantules du choc thermique de 40°C, ne dévient pas significativement de celles mesurées chez le témoin non stressé. Ces résultats suggèrent la présence de la capacité de récupération chez l'ensemble des lignées et variétés testées au seuil de 40°C du choc thermique (Tableau 16, Figure 22).

Sous choc de 45°C, l'ensemble des lignées et variétés testées accusent des réductions significatives des valeurs de la fluorescence maximale. Ceci indique qu'aucune variété n'est tolérante à ce seuil de choc thermique. Cependant après reprise, un grand nombre de lignées, les numéros 4, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 16, et les variétés Tichedrett, Saida, Bahia, Fouara et Trémois, affichent des valeurs Fm qui ne sont pas significativement différentes de celles du témoin correspondant, attestant la capacité de récupération chez ces géotypes (Tableau 16, Figure 22).

3. FLUORESCENCE VARIABLE (Fv)

La fluorescence variable (Fv) présente des effets choc thermique, variétés et interaction variété x chocs thermiques significatifs. Ces résultats indiquent que les valeurs prises par ce paramètre varient en fonction de l'intensité du choc thermique, de la nature du fond génétique et de leur interaction (Tableau 11). Les valeurs Fv, due à l'effet moyen du choc thermique, varient de 545.64 à 536.11 chez le témoin. Ces deux valeurs ne sont pas significativement différentes en comparaison avec la valeur prise par la plus petite différence significative au seuil de 5%. Suite aux effets du choc thermique de 40 et 45°C, la valeur de ce paramètre Fv est réduite et prend respectivement des valeurs de 329.72 et 175.24, (Tableau 12). Comparativement à la valeur de la Ppds5%, ces deux moyennes sont significativement différentes entre elles et différentes de la valeur du témoin (Tableau 12).

Tableau 16. Ecart, par rapport à la moyenne du témoin, des valeurs **Fm** des différentes variétés, dues à l'effet du choc thermique et après reprise du choc.

Variétés	40°C	Rec40°C	45°C	Rec45°C
1	-324.7	-32.2	-460.8	-327.6
2	-190.4	84.7	-342.0	-157.1
3	-193.6	28.1	-446.9	-345.9
4	-202.1	147.1	-363.9	-141.8
5	-303.1	89.9	-385.6	-153.8
6	-265.0	24.9	-414.6	-369.5
7	-184.3	119.5	-370.8	-81.4
8	-316.0	-23.4	-482.9	-276.7
9	-109.0	127.0	-287.9	-62.8
10	-178.2	85.1	-402.9	-67.5
11	-60.2	131.6	-241.0	-59.8
12	-211.4	-13.4	-383.5	-234.9
13	-184.1	77.7	-368.5	-147.8
14	-192.7	40.8	-420.1	-91.8
15	-213.9	-44.0	-377.9	-191.7
16	-151.4	109.3	-353.9	-95.1
Tichedrett	-122.2	99.1	-292.9	-8.9
Bahia	-87.2	108.5	-266.3	-120.4
Saida	-158.4	105.6	-312.6	15.4
Fouara	-188.6	51.1	-371.3	-124.7
Nure	-200.6	57.3	-463.7	-224.3
Trémois	-114.2	60.3	-356.8	-90.7
Ppds5%		151.1		

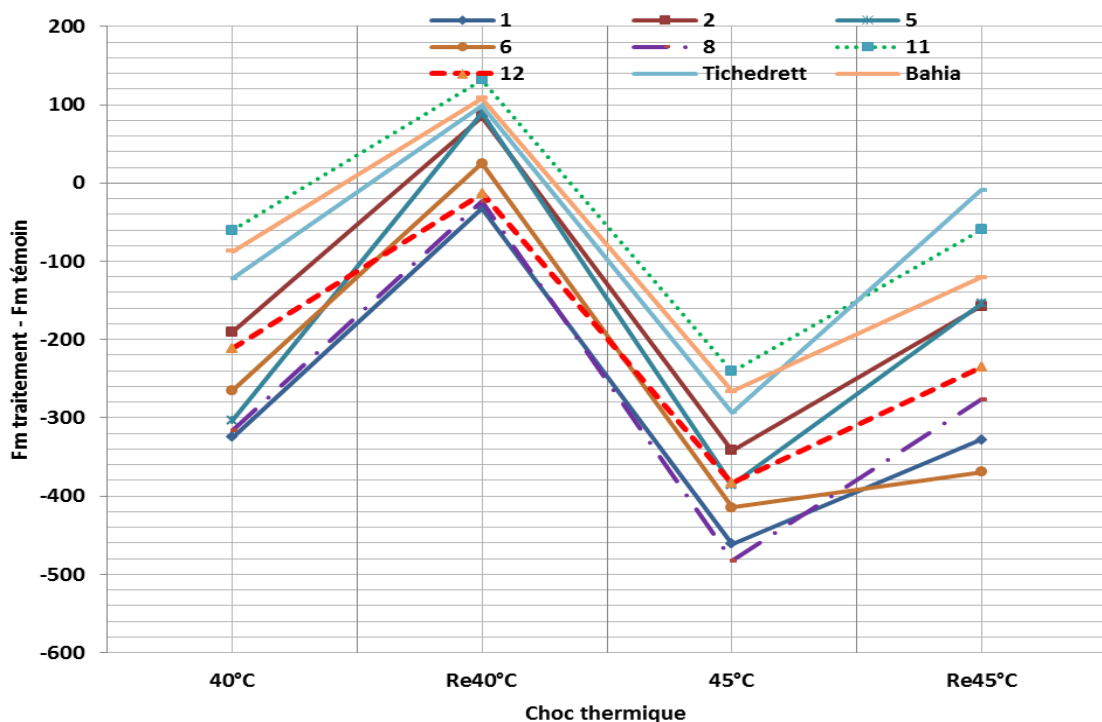


Figure 22. Réductions relatives des valeurs du paramètre **Fm** suite à l'effet du choc thermique et après reprise, moyennes des variétés et lignes extrêmes.

Comparativement à la valeur moyenne F_v prise par le témoin $(545.64 + 536.11)/2 = 540.57$, le choc thermique induit un déclin des valeurs prises par le paramètre F_v de

39.04 et 67.60%, respectivement pour les chocs de 40 et 45°C. Après reprise, la réduction est nulle après le choc de 40°C alors qu'elle est de 38.88% sous le choc de 45°C (Tableau 12, figure 23).

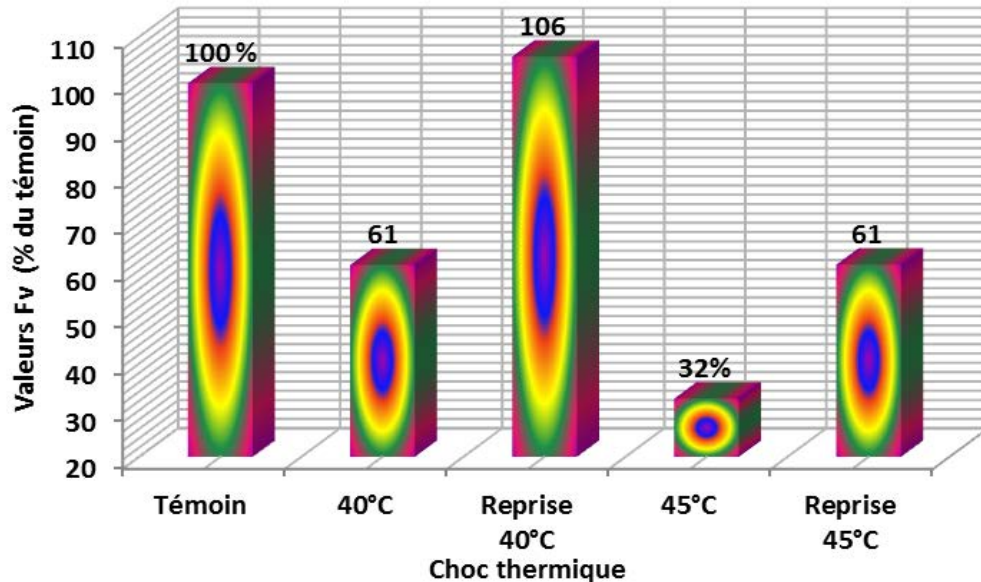


Figure 23. Réductions relatives des valeurs du paramètre Fv suite à l'effet du choc thermique et après reprise, moyennes des 22 variétés et lignées analysées par traitement.

L'étude de l'effet moyen des variétés indique que les valeurs prises par la fluorescence variable varient d'un minimum de 327.03, valeur moyenne mesurée chez la lignée 11, à un maximum de 458.31, valeur moyenne de la lignée 10. La différence entre ces deux valeurs est significative en comparaison avec la valeur prise par la Ppds5% qui est de 59.71, suggérant que la fluorescence variable varie significativement chez les différentes variétés et lignées d'orge étudiées (Tableau 13).

Comparativement à la valeur minimale prise par la lignée 11, les variétés testées expriment une grande variété de réponses pour la valeur moyenne de ce paramètre (Figure 24). Ainsi, les lignées 1, 6 et le cultivar Bahia ont une réponse proche de celle de la lignée 11. Par contre les lignées 10, 13, 14 et les cultivars Fouara, Nure et Trémois en diffèrent fortement (Figure 24)

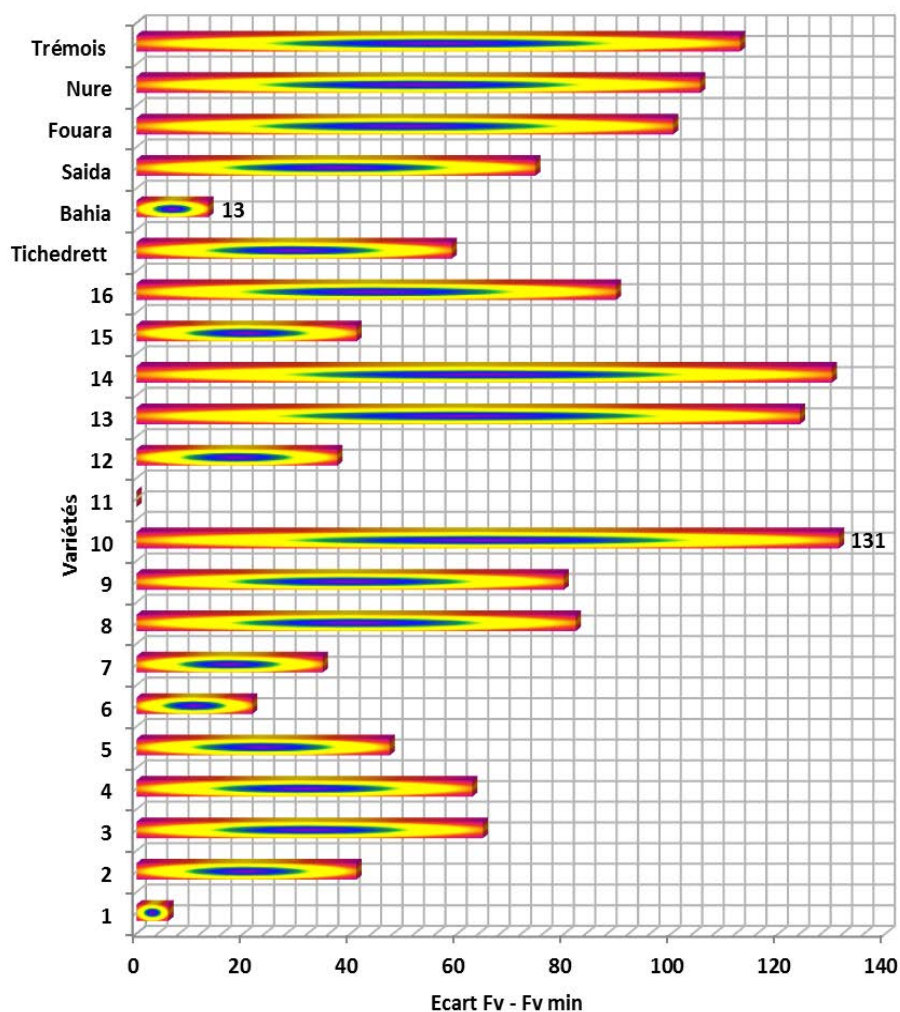


Figure 24. Valeurs Fv des différentes variétés exprimées relativement à la valeur minimale observée, celle de la lignée 11 (moyennes des 6 traitements du choc thermique)

L'étude de l'interaction variété x chocs thermiques indique que le choc thermique de 40°C induit une baisse significative de la valeur prise de la fluorescence maximale chez l'ensemble des variétés mise à part les lignées 11 et 13. Les réductions de la valeur Fv enregistrées par ces deux lignées sont respectivement de 98.4 et 59.5 contre la valeur de la plus petite différence significative qui est de 119.20.

Le reste des variétés accusent des réductions qui atteignent des valeurs inférieures à -300, comme c'est le cas des lignées 1 (-347.6), 5 (-303.2) et 8 (-303.7) (Tableau 17, Figure 25).

Tableau 17. Ecart, par rapport à la moyenne du témoin, des valeurs Fv des différentes variétés, dues à l'effet du choc thermique et après reprise du choc.

Variété	40°C	45°C	Rec40°C	Rec45°C
1	-347.6	-497.0	-27.7	-341.3
2	-198.1	-469.1	86.1	-210.2
3	-202.0	-545.2	37.8	-349.2
4	-218.3	-458.2	130.6	-189.5
5	-303.2	-495.2	73.5	-217.2
6	-282.5	-511.8	28.4	-379.8
7	-218.3	-429.5	98.2	-132.7
8	-303.7	-558.7	-2.9	-270.4
9	-135.0	-339.6	111.3	-102.3
10	-180.1	-442.8	86.8	-111.7
11	-98.4	-344.5	113.1	-138.2
12	-210.0	-464.0	5.9	-265.2
13	59.5	-507.3	72.7	-183.3
14	-200.7	-453.6	39.2	-114.4
15	-212.5	-457.6	-23.8	-224.9
16	-169.7	-434.0	95.4	-145.0
Tichedrett	-139.4	-331.7	86.8	-61.8
Bahia	-135.6	-389.9	91.2	-180.5
Saida	-179.5	-370.2	93.8	-43.2
Fouara	-202.4	-411.4	49.6	-154.9
Nure	-199.4	-506.2	56.2	-239.5
Trémois	-128.8	-386.7	61.4	-137.4
Ppds5%	119.2	???	???	???

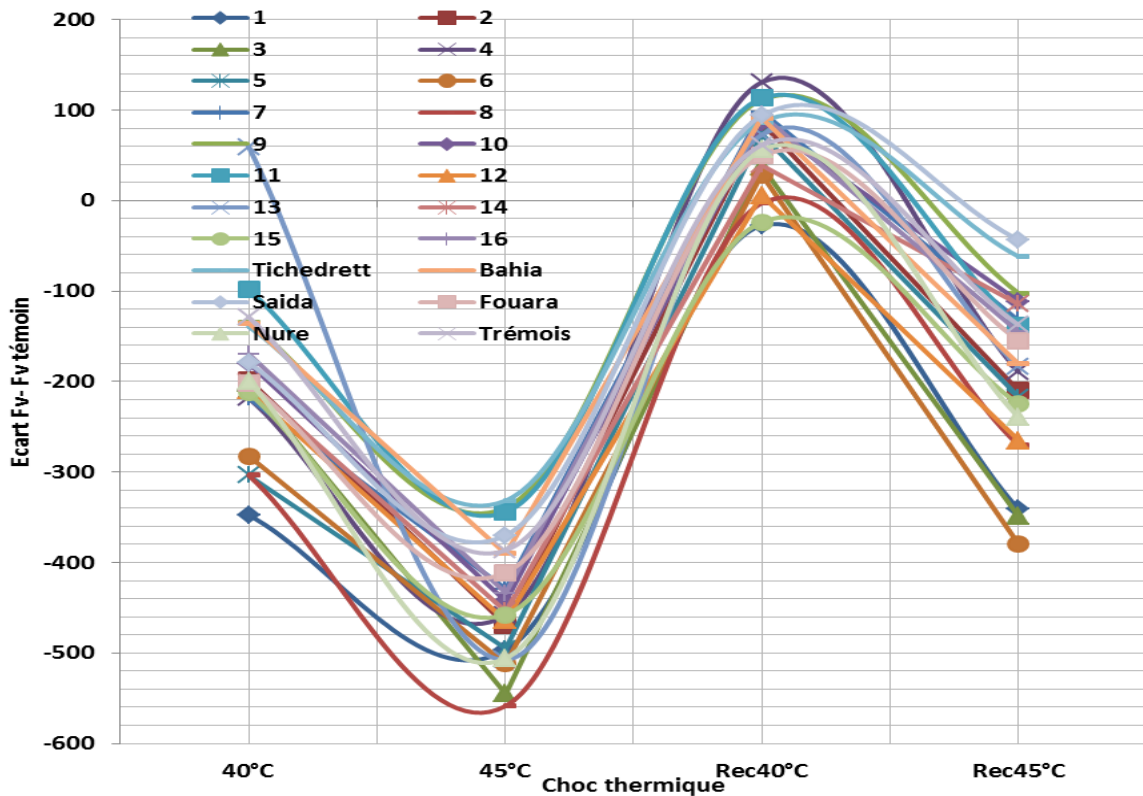


Figure 25. Réductions relatives des valeurs du paramètre Fv des différentes variétés, suite à l'effet du choc thermique et après reprise du choc thermique.

Les valeurs du paramètre F_v , mesurées après la reprise des plantules du choc thermique de 40°C, ne dévient pas significatives à celles mesurées chez le témoin non stressé, sauf pour la lignée 4. Ces résultats suggèrent la présence de la capacité de récupération chez l'ensemble des lignées et variétés testées au seuil de 40°C du choc thermique testé (Tableau 17, Figure 25).

Sous choc de 45°C, l'ensemble des lignées et variétés testées accusent des réductions significatives des valeurs de la fluorescence variable. Ceci indique qu'aucune variété n'est tolérante à ce seuil de choc thermique. Après reprise, les lignées 9, 10, 14 et les cultivars Tichedrett et Saida reprennent des valeurs F_v qui ne sont pas significativement différentes de celles du témoin correspondant, ce qui atteste de la capacité de récupération chez ces géotypes (Tableau 17, Figure 25).

4. RENDEMENT QUANTIQUE MAXIMAL (F_v/F_m)

Le ratio F_v/F_m présente des effets choc thermique, variété et l'interaction variété x chocs thermiques significatifs. Les valeurs prises par ce paramètre varient donc significativement selon l'intensité du choc thermique et la variété (Tableau 11). La valeur F_v/F_m du témoin est de 0.78. Celles notées sous chocs de 40°C et 45°C sont respectivement de 0.67 et 0.44. Comparativement à la plus petite différence significative ces moyennes sont différentes, ce qui suggère que le choc thermique induit des dommages à l'appareil photosynthétique.

Suite à ces dommages le rendement quantique maximal est réduit de 14.64% et de 43.94%, respectivement sous chocs de 40 et de 45°C (Tableau 12). La reprise est totale après le choc de 40°C et partielle après celui de 45°C. En effet, les valeurs du ratio F_v/F_m reviennent à 0.80 et 0.60 soit l'équivalent de 101.00% et 76.40% de la valeur du témoin (Tableau 12). Ces résultats indiquent donc, qu'en moyenne pour les 22 variétés et lignées testées, le choc thermique réduit la valeur du ratio F_v/F_m . La baisse de la valeur de ce paramètre, suite au choc et à la reprise après choc, est fonction de l'intensité du choc thermique.

En moyenne des traitements du choc thermique les valeurs du ratio F_v/F_m diffèrent significativement chez les différentes variétés. Elles varient de 0.587, moyenne de la lignée 6, à 0.695 valeur moyenne du cultivar Trémois (Tableau 13). Comparativement à la valeur maximale prise par le cultivar Trémois, le ratio F_v/F_m accuse des baisses variant de 0 à 15.54%. Ces résultats indiquent, qu'en moyenne des différents traitements, les génotypes évalués diffèrent pour la capacité de tolérance au choc thermique. Trémois est relativement le plus tolérant et la lignée 6 est la plus sensible (Figure 26).

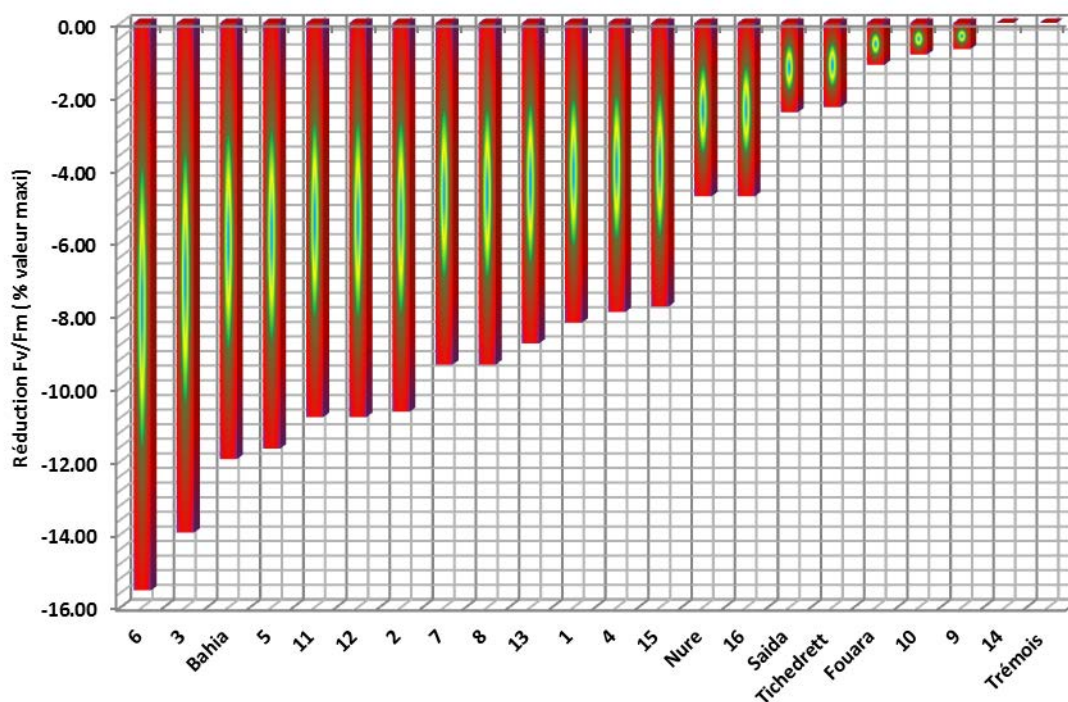


Figure 26. Réduction relative des valeurs du paramètre F_v/F_m des différentes variétés, suite à l'effet du choc thermique et après la reprise de ce choc (effet moyen variété en %valeur maximale).

L'analyse de l'interaction variété x chocs thermiques indique que les variétés répondent différemment au choc de 40°C et 45°C ainsi qu'à la reprise après le choc (Tableau 15, Figure 27). Sous choc de 40°C, la réduction des valeurs du ratio F_v/F_m est inférieure à 10% chez les lignées 1, 10 et le cultivar Trémois. Elle est supérieure à 20% de la valeur du témoin correspondant chez les lignées 5, 6 et 7 et comprise entre 10 et 20% chez le reste des variétés. Comparativement à la réponse au choc de 40°C, La réduction des valeurs du ratio F_v/F_m est plus importante sous le choc de 45°C. Cette réduction est de 45 à 50% chez les lignées 9, 10 et 14 et les cultivars Saïda, Fouara, Trémois et

Tichedrett et elle est supérieure à 50% pour le reste des lignées et variétés dont Bahia, Nure et la lignée 3 atteint une réduction de 90% (Tableau 15, Figure 27). La réduction est nulle et non significative chez l'ensemble des variétés et lignées après la reprise du choc de 40°C. Elle est inférieure à 10% chez la lignée 14 et supérieure à 20% chez les lignées 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 11, 12, 15 et la variété Bahia. Elle est située entre 10 et 20% pour le reste des lignées et variétés (7, 9, 10, 13, 16, Nure, Fouara, Saida, Trémois et Tichedrett) (Tableau 15, Figure 27).

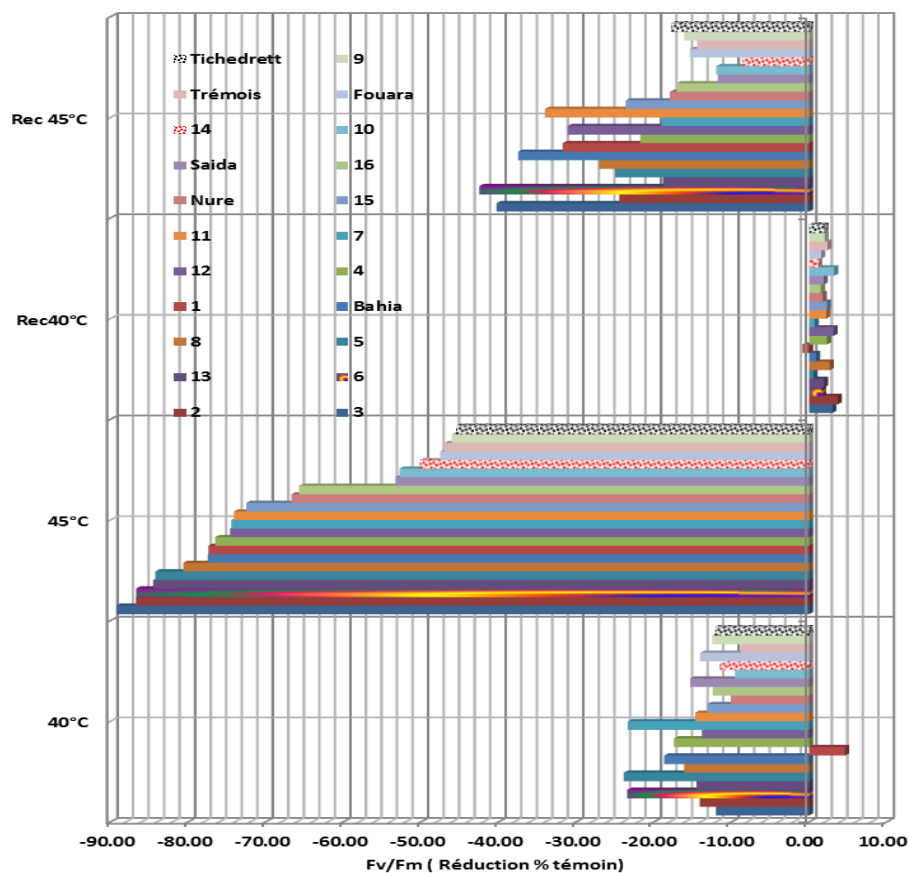


Figure 27. Réduction relative des valeurs du paramètre Fv/Fm des différentes variétés, selon l'intensité du choc thermique et après reprise du choc thermique (interaction variété x choc en % de la valeur du témoin).

Ces résultats montrent une variabilité de réponses des différentes variétés au choc thermique et suggèrent que le choc de 45°C est plus discriminant que celui de 40°C. Parmi le matériel végétal testé, les lignées 9, 10, 14 et les variétés Saida, Tichedrett, Fouara et Trémois sont tolérantes au stress de 40°C et moyennement tolérantes à celui

de 45°C. Par contre, les lignées 5, 6 et 7 sont moyennement tolérantes au choc de 40°C et très sensibles à celui de 45°C (Tableau 15, Figure 27).

5. LIAISONS ENTRE LES PARAMETRES DE LA FLUORESCENCE

L'étude des liaisons entre les différents paramètres de la fluorescence chlorophyllienne indique que F_0 est négativement lié à F_m , F_v et au ratio F_v/F_m . Ceci suggère que la réduction du ratio F_v/F_m et des paramètres F_v et F_m est due, en partie, à l'augmentation enregistrée par F_0 . L'effet de l'augmentation de F_0 , induit par le stress, est plus prononcé sur le ratio F_v/F_m , suivi de F_v et enfin F_m , vu l'importante des valeurs prises par les coefficients de corrélation de ces variables (Tableau 18, Figures 28 et 29).

Tableau 18. Corrélations linéaires entre les paramètres de la fluorescence des différentes variétés soumises au choc thermique et reprise du choc (au-dessus de la diagonale probabilité, au-dessous valeurs du r , $n-2= 108$).

	F_0	F_m	F_v	F_v/F_m
F_0		0.0000	0.0000	0.0000
F_m	-0.4695		0.0000	0.0000
F_v	-0.5403	0.9923		0.0000
F_v/F_m	-0.7187	0.8547	0.8902	

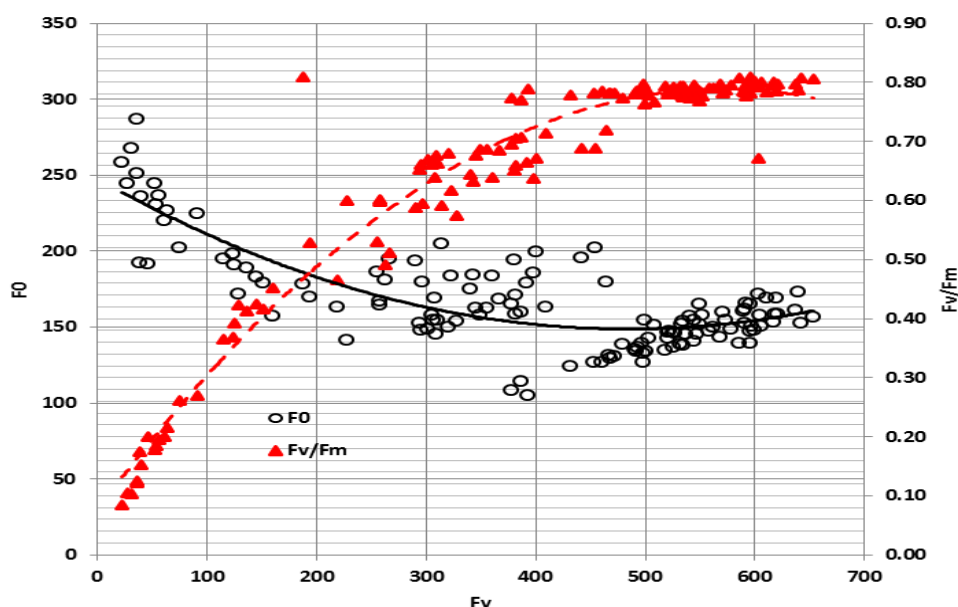


Figure 28. Relations entre les valeurs prises par le paramètres F_v et celles prises par F_0 et le ratio F_v/F_m des différentes variétés soumises au choc thermique et après reprise du choc thermique

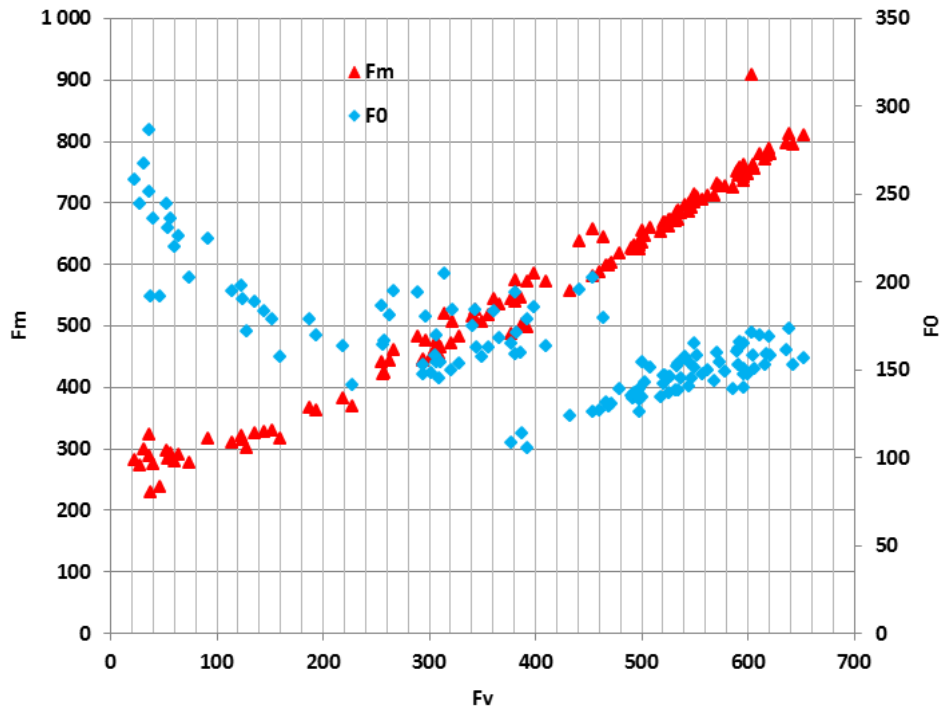


Figure 29. Relations entre les valeurs prises par le paramètre Fv et celles prises par F0 et Fm des différentes variétés soumises au choc thermique et après reprise du choc thermique.

Les trois autres paramètres Fv, Fm et Fv/Fm sont étroitement liés entre eux, indiquant que l'augmentation du ratio vient de celle de Fv qui est elle-même dépendante de la valeur prise par Fm.

La température optimale à l'activité photosynthétique chez l'orge avoisine les 20°C, alors que des températures dépassant les 30°C sont souvent enregistrées, au cours de la période des semailles et de la phase de remplissage du grain en zones arides et semi-arides. Ces seuils de température sont contraignants pour la plante qui accuse une installation difficile et des baisses de rendement en grains. La recherche des variétés, plus ou moins tolérantes à ce type de stress, est un important objectif des programmes d'amélioration de l'orge. Cette recherche est cependant rendue difficile par l'absence d'outil fiable qui permet de cribler efficacement le matériel végétal soumis à la sélection (Berry et Bjorkman, 1980).

L'appareil photosynthétique est hautement thermolabile et il est endommagé par le stress thermique bien avant que les symptômes n'apparaissent extérieurement sur la

plante ou l'organe affecté (Berry et Bjorkman, 1980). En effet, la membrane thylacoïdale et les réactions qui lui sont associées, sont très sensibles au stress thermique. Sous température optimale seule une partie de la quantité totale de la lumière absorbée par la feuille est utilisée dans le processus photosynthétique. Le reste est dissipé sous forme de chaleur latente ou réémis sous forme de fluorescence.

Le stress thermique affecte les réactions qui ont lieu au niveau de la membrane thylacoïdale et change la quantité de l'énergie absorbée qui est passée du PSII au PSI. Ce faisant, il altère la cinétique de la fluorescence chlorophyllienne (Seeman et *al.*, 1984). De ce fait, le changement de la cinétique de la fluorescence chlorophyllienne est indicateur de la réaction de l'appareil photosynthétique au stress. En effet, lorsqu'une feuille est adaptée à l'obscurité et ramenée ensuite à la lumière, le rendement de la fluorescence chlorophyllienne varie suivant une cinétique relativement complexe (augmentation rapide suivie d'une diminution lente vers un état stationnaire) due à l'activation progressive des mécanismes photosynthétiques, phénomène dit 'effet Kautsky' (Havaux et *al.*, 1988).

Ce changement reflète le statut physiologique de la plante et sa réaction à son environnement immédiat (Huang et *al.*, 2009). Selon Schreiber et *al.*, (1995). Tous les stress environnementaux (hydrique, thermique, salinité, luminosité) affectent les paramètres caractéristiques de la fluorescence chlorophyllienne. Par conséquent, la capacité d'une plante à maintenir l'appareil photosynthétique fonctionnel sous contrainte est une caractéristique de tolérance ou de résistance à ce stress.

Cette capacité est indicatrice de l'intégrité de la membrane thylacoïdale et de l'efficacité de transfert des électrons du PSII vers le PSI (Mohammadi et *al.*, 2009). L'analyse de la cinétique de la fluorescence chlorophyllienne est, de ce fait, un outil appréciable et elle a été proposée pour la sélection et le criblage des lignées tolérantes au stress. Une telle analyse permet d'évaluer l'activité de dissipation de l'énergie lumineuse

et, c'est ce qui protège l'appareil photosynthétique des effets du stress thermique (Flagella *et al.*, 1995).

Les paramètres de la fluorescence généralement mesurés sont, F_0 qui représente la fluorescence émise en absence de lumière par les molécules excitées de la chlorophylle a des antennes du PSII qui sont entièrement oxydées (non actifs), F_m qui est la fluorescence maximale obtenue suite à un flash lumineux intense qui rend tous les accepteurs d'électrons du PS II réduits (actifs) et F_v qui est la fluorescence variable qui représente la différence entre F_0 et F_m . Celle-ci mesure la capacité maximale du quenching photochimique du PS II dite aussi rendement quantique maximal.

Ce paramètre est un indicateur sensible de la performance photosynthétique des plantes non stressées prend, dans ce cas, une valeur proche de 0.85. Les faibles valeurs suggèrent l'effet négatif des stress qui endommage la capacité photosynthétique de la plante, réduisant l'activité ou le rendement quantique du PS II. F_v/F_0 qui représente le rendement photochimique maximum primaire du PS II, est un indicateur de la capacité photosynthétique foliaire. Toute augmentation de F_0 est une caractéristique d'inactivation du PSII, alors une baisse de F_m et F_v suggèrent une augmentation du processus de quenching non photochimique au niveau du centre réactionnel (Flagella *et al.*, 1995).

Cette technique a été utilisée dans la présente étude pour caractériser la réponse des plantules des lignées et variétés d'orges soumises aux chocs thermiques. Les résultats indiquent que F_0 augmente significativement sous choc thermique de 40°C chez la lignée 11 et la variété Bahia, uniquement. La reprise de ce choc est totale. Sous l'effet du choc thermique de 45°C, F_0 augmente chez l'ensemble des variétés et lignées exception de la lignée 14. La reprise de ce choc est totale chez les lignées 1, 3, 6, 8, 10, 12, 14, 15 Fouara et Nure, uniquement.

Ces résultats indiquent la présence de la variabilité génotypique de réponses, mesurée par le paramètre F_0 , au stress thermique. Ceci corrobore les résultats de Smillie et Hetherington, (1983), qui mentionnent, sous stress thermique, l'appareil

photosynthétique est endommagé induisant l'augmentation de F0 et que cet accroissement est variable selon les génotypes.

Royo et *al.*, (2000) observent des différences entre génotypes pour l'ensemble des paramètres de la fluorescence mesurés sous la contrainte hydrique au cours du remplissage du grain. Amirjani (2012) mentionne que F0 des plantules de blé soumises à la température 30/25°C (jour/nuit) n'est pas significative, par contre la température de 35/30°C, induit une augmentation significative de ce paramètre.

Li et *al.*, (2006) utilisent le contenu en chlorophylle, F0 et le rendement primaire maximum photochimique du PS II (Fv/F0) pour analyser la tolérance au stress hydrique des variétés d'orge Tadmor, Arta, Morocco9-75 et WI2291. Ces auteurs notent que ces paramètres étaient significativement affectés par le stress chez les quatre génotypes. Cependant, l'effet chez les génotypes tolérants était relativement moindre que celui observé chez les génotypes sensibles. Ces auteurs conclurent que l'appareil photosynthétique était significativement plus endommagé chez les génotypes sensibles que chez les génotypes tolérants laissant suggérer que ces paramètres sont utiles en sélection pour la tolérance à la sécheresse.

Sachant que Fm varie significativement en fonction de la combinaison choc thermique x fond génétique, les résultats enregistrés laissent apparaître que Fm diminue significativement sous choc de 40 et de 45°C et accuse des réductions de 27.78 et 42.48%, respectivement. Après reprise, la réduction est nulle pour le choc de 40°C alors qu'elle est de 25.18% sous le choc de 45°C. Globalement, les traitements du choc thermique, les variétés et lignées accusent des baisses variables du paramètre Fm. Le choc de 40°C induit une baisse significative chez l'ensemble des variétés mise à part la lignée 11 et la variété Bahia. La reprise des plantules est totale chez l'ensemble des lignées et variétés testées au choc de 40°C. Sous choc de 45°C, Fm baisse significativement chez l'ensemble des variétés et seules les lignées 4, 7, 9, 10, 11, 13,

14, 16, Tichedrett, Saida, Bahia, Fouara et Trémois, affichent la capacité de récupération au stress thermique.

Les valeurs prises par F_v montrent qu'elles varient selon l'intensité du choc thermique et le génotype. Elles baissent significativement sous l'effet du choc thermique, en moyenne, chez l'ensemble des variétés en accusant des réductions de 39.04 et 67.60%, respectivement sous le choc de 40 et de 45°C. Après reprise, la réduction est nulle après le choc de 40°C alors qu'elle est de 38.88% sous le choc de 45°C. Sous l'effet du choc thermique, les valeurs prises par le paramètre F_m varient significativement entre les variétés testées qui affichent une grande variabilité de réponses pour ce paramètre. Ainsi les chocs de 40°C et 45°C induisent une baisse significative de la valeur F_m chez l'ensemble des variétés sauf les lignées 11 et 13 pour le choc de 40°C. L'ensemble des lignées reprennent après ce choc alors qu'après celui de 45°C seules les lignées 9, 10, 14 et les cultivars Tichedrett et Saida attestent de la capacité de récupération.

Smillie et Hetherington, (1983) rapportent que le stress thermique endommage l'appareil photosynthétique induisant une réduction de la valeur F_v . F_v diminue parce que F_0 tend à augmenter. Les génotypes qui maintiennent une F_v élevée sont désirables et fait suggérer à ces auteurs d'utiliser les différences génotypiques de F_v et leur relation avec le rendement en grains de plein champ pour développer des variétés tolérantes au stress thermique.

Les valeurs prises par le ratio F_v/F_m , mesurées sous chocs thermiques de 40°C et 45°C, varient de 0.785, moyenne du témoin, à 0.67 et 0.44, valeurs moyennes des 22 lignées. La diminution des valeurs de ce ratio, de 14.64% et 43.94%, indique que le choc thermique induit des dommages à l'appareil photosynthétique. Sous l'effet du choc thermique, les valeurs du ratio F_v/F_m diffèrent significativement chez les différentes variétés et montrent que le cultivar Trémois est relativement le plus tolérant et la lignée 6, la plus sensible.

L'analyse de l'interaction indique que les variétés répondent différemment au choc thermique et à la reprise après celui-ci. Sous choc de 40°C, la baisse du ratio Fv/Fm est inférieure à 10% chez les lignées 1, 10 et le cultivar Trémois. Elle est supérieure à 20% chez les lignées 5, 6 et 7 et comprise entre 10 et 20% chez le reste des variétés. Sous le choc de 45°C, la réduction est plus importante et se situe entre 45 à 50% chez les lignées 9, 10 et 14 et les cultivars Saida, Fouara, Trémois et Tichedrett et elle est supérieure à 50% pour le reste des lignées et variétés dont Bahia et Nure. Quant à la lignée 3, elle atteint 90%.

La reprise du choc à 40°C est totale. Sous celui de 45°C, la réduction après reprise est inférieure à 10% chez la lignée 14 et supérieure à 20% chez les lignées 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 11, 12 et 15 et la variété Bahia. Les résultats présentent la variabilité de réponses des différentes variétés au choc thermique et suggèrent que le choc de 45°C est plus discriminant que celui de 40°C. Parmi le matériel végétal testé, les lignées 9, 10 et 14 et les variétés Saida, Tichedrett, Fouara et Trémois sont tolérantes au stress de 40°C et moyennement tolérantes au stress de 45°C. Par contre les lignées 5, 6 et 7 sont moyennement tolérantes au choc de 40°C et très sensibles au choc de 45°C.

Les résultats de la présente étude corroborent ceux de Mohammadi et *al.*, (2009) qui notent que le ratio Fv/Fm décline sous stress hydrique, induit par le PEG, chez le blé dur. Cette réduction suggère la photoinhibition qui résulte de l'effet du stress hydrique endommageant les centres réactionnels du PSII dont une partie devient non fonctionnelle en se dissociant du complexe de collecte de la lumière (light harvesting complex). La réduction du ratio Fv/Fm est moindre chez les géotypes tolérant le stress hydrique que chez ceux qui sont comme plutôt sensibles.

Havaux et *al.*, (1988), utilisant la fluorescence chlorophyllienne pour classer les variétés de blé selon leur capacité de tolérance à la sécheresse, notent que le rapport Fv/Fm est réduit de 25 % chez les variétés connues pour être tolérantes et de 85% chez celles qui sont très sensibles. Les géotypes intermédiaires présentent une réduction de

ce ratio de 50%. Sur cette base, ces auteurs suggèrent qu'un paramètre photosynthétique, simple à mesurer comme le rapport Fv/Fm, peut servir de base pour établir un test rapide de sélection de variétés de blé résistantes à la sécheresse.

Munns et James (2003) rapportent que les dégâts foliaires dus au sel peuvent être étudiés par la fluorescence chlorophyllienne. Ils notent que le ratio Fv/Fm est un indice sensible aux dégâts causés par la salinité. El-Hani et *al.*, (2000) proposent que la mesure du ratio Fv/Fm à 60°C peut être utilisé comme test simple et rapide pour identifier les génotypes tolérants à la sécheresse de fin de cycle caractéristique des conditions climatiques des environnements méditerranéens.

Etudiant l'adaptation du triticale à la sécheresse, Grzesiak et *al.*, (2003) trouvent de larges différences dans les valeurs prises par les paramètres de la fluorescence chlorophyllienne entre génotypes. Ils rapportent que la variation des valeurs prises par le ratio Fv/Fm était la méthode la plus efficace dans l'estimation du degré de tolérance au stress hydrique chez le triticale. Kalaji et Loboda (2007) étudiant la tolérance au froid, mentionnent que les paramètres de la fluorescence chlorophyllienne, mesurés après reprise du choc thermique des basses températures, sont un bon indicateur des génotypes tolérants et possédants la capacité d'acclimatation au froid. Amirjane (2012) rapporte des valeurs Fv/Fm de l'ordre de 0.81 chez le témoin, ces valeurs baissent significativement de 16% de la valeur du témoin, pour une température (jour/nuit) de 35/30°C.

Selon Haldimann et *al.*, (1996) ainsi que Yamane et *al.*, (2008), la baisse de la valeur de ce ratio fait suite à un effet d'un stress d'intensité élevée (luminosité, sécheresse, température élevée, basse température ou salinité) qui endommage les membranes thylacoïdales. De ce fait, toute baisse de ce ratio est indicatrice d'une réduction des possibilités de transfert d'électrons entre les quinones du PS II. Selon Jose et *al.*, (2002), les stress abiotiques causent des perturbations du statut hydrique de la plante,

réduisent la turgescence et la croissance, provoquent la fermeture des stomates et inhibent l'activité photosynthétique.

Li et *al.*, (2006) mentionnent que la réduction de F_v/F_0 et de F_v/F_m sont variables, sous stress hydrique, chez les quatre génotypes étudiés et la réduction était non significative pour Arta (1.8% pour F_v/F_m et 0.4% pour F_v/F_0) et pour Tadmor, (3.0% pour F_v/F_m et 10.7% pour F_v/F_0) alors, qu'elle était significative pour Morocco9-75 (53.3% pour F_v/F_0 et 18.7% pour F_v/F_m) et pour WI2291 (38.6% pour F_v/F_m et 11.6% pour F_v/F_0). Ces résultats indiquent l'adaptabilité au déficit hydrique d'Arta et de Tadmor comparativement à la sensibilité de WI2291 et Morocco9-75 à ce type de stress.

L'étude des liaisons dans la présente étude indique que F_0 est négativement lié à F_m , F_v et au ratio F_v/F_m , suggérant que la réduction de F_v/F_m , F_v et F_m est liée à l'augmentation de F_0 . L'effet de l'augmentation de F_0 , induite par le stress, est plus important sur F_v/F_m . Les résultats montrent aussi que F_v , F_m et F_v/F_m sont étroitement liées entre eux et indiquent que l'augmentation de F_v/F_m vient de celle de F_v qui est elle-même dépendante de la valeur prise par F_m . Ces résultats ne corroborent pas ceux rapportés par Araus et *al.*, (1998) qui mentionnent que la variation des valeurs F_v était plus associée à la variation de F_m plus qu'à celle de F_0 , suggérant l'existence possible d'un mécanisme de photoprotection chez les génotypes qui sont plus productifs sous conditions sèches. Ces auteurs rapportent aussi des liaisons significatives entre le rendement en grains d'une part et les paramètres F_m , F_v et F_v/F_m d'autre part, et proposent d'utiliser ses paramètres pour l'évaluation de l'adaptation des variétés de blé aux conditions sèches méditerranéennes. Ils concluent que la sélection indirecte pour le rendement en grains, sous conditions favorables, sur la base des paramètres de la fluorescence, pourrait s'avérer plus efficace que la sélection directe pour améliorer le rendement en grains sous conditions stressantes.

Bolhar-Nordenkamp et *al.*, (1989) ainsi que Grzesiak et *al.*, (2003) mentionnent qu'en analysant la réduction de F_v/F_m , il est important de distinguer entre l'effet de

l'augmentation de F_0 , de celui de la baisse de F_v , sur ce ratio. Parce qu'une augmentation de F_0 , qui est l'émission de la fluorescence alors que tous les centres de réactions sont ouverts (oxydés) et le quenching photochimique est minimal, est caractéristique de la destruction des centres réactionnels du PS II ou de l'incapacité de transférer l'énergie des antennes aux centres réactionnels. Par contre, une baisse de F_v , due à celle de F_m , indique une augmentation du quenching non photochimique

CONCLUSION

Les résultats de la présente étude indiquent que F_0 augmente alors que F_m , F_v et le ratio F_v/F_m diminuent significativement sous chocs thermiques de 40°C et de 45°C. Globalement, la reprise est totale sous choc de 40°C et par contre partielle sous choc de 45°C. Les variétés testées affichent une grande variabilité de réponses pour ces paramètres. La réduction des valeurs des paramètres est moindre chez les génotypes tolérants et élevée chez les génotypes sensibles. Sur la base des valeurs prises par F_v/F_m , dont la diminution suggère que le choc thermique induit des dommages à l'appareil photosynthétique, les lignées 9, 10 et 14, Saida, Fouara, Trémois et Tichedrett sont classées comme tolérantes et les variétés Bahia, Nure et les lignées 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 15, et 16 comme sensibles. Le fait que les cultivars locaux Saida, Tichedrett et Fouara soient classés comme tolérants est une indication de l'efficacité de cette technique dans le criblage pour la tolérance au stress thermique.

II. EFFET DU DEFICIT HYDRIQUE SUR L'ACCUMULATION DE LA BIOMASSE DES PLANTULES D'ORGE

L'analyse de la variance de la biomasse accumulée indique des effets stress hydrique, génotype et interaction génotype x stress hydriques significatifs (Tableau 19). Ces résultats suggèrent que la biomasse produite varie en fonction du degré du stress hydrique et des lignées.

Tableau 19. Carrés moyens de l'analyse de la variance de la biomasse accumulée (BIO, mg), l'eau utilisée (WU, g), et de l'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE, mg BIO/g H₂O) des lignées d'orges soumises au stress hydrique au stade plantule.

Source variation	ddl	BIO	WU	WUE
Stress (S)	1	7202.63**	315863**	4.269**
Génotype (G)	28	613.33*	2283*	0.084*
G x S	28	378.97**	1032**	0.044**
Résiduelle	112	128.53	285.6	0.009

Ainsi, pour les 29 lignées et variétés testées, les valeurs moyennes de la biomasse accumulée, en absence du stress et sous stress hydrique, sont respectivement de 124.1 et 108.9 g MF/pot. Ces résultats indiquent aussi que le stress hydrique induit une réduction moyenne de la biomasse accumulée de 15.2 g MF/pot pour une plus petite différence significative de 6.08 g. Cette réduction est l'équivalent de 12.3% de la valeur moyenne du traitement non stressé.

Les lignées et variétés testées présentent des différences d'aptitude génotypique à accumuler de la biomasse aérienne. En moyenne, la biomasse accumulée, sous les traitements du stress hydrique, varie de 100.5 g MF/pot, valeur moyenne de la lignée 42 à 141.0 g MF/pot, moyenne de la lignée 20, pour une plus petite différence significative de 23.0 g (Figure 30). La meilleure lignée présente une capacité d'accumulation de la biomasse de 41% plus élevée que la lignée la moins bonne. Il est intéressant de noter que les variétés témoins présentent une grande diversité de capacité de production de la biomasse aérienne. Dans ce cadre d'idées Saïda et Bahia sont les moins bonnes et Rihane présente le potentiel le plus élevé (Figure 30).

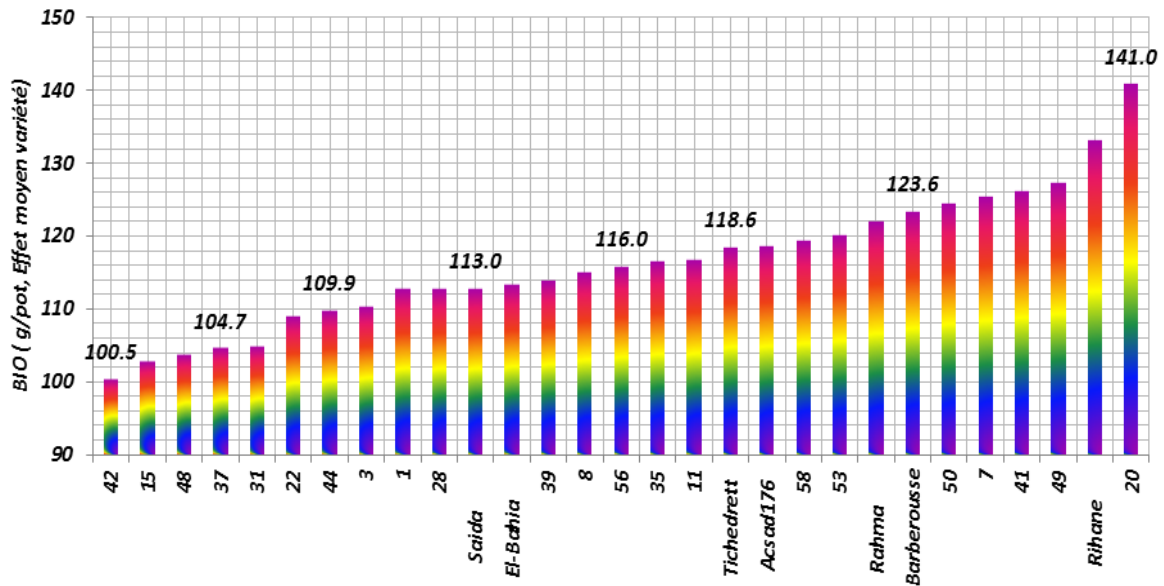


Figure 30. Valeurs moyennes de la biomasse aérienne accumulée par les différentes variétés soumises au stress hydrique (moyennes variétales des traitements stressé et non stressé).

L'analyse des écarts variétaux, entre la biomasse accumulée en absence de stress et celle produite sous stress hydrique, indique que les variétés témoins sont relativement les plus tolérantes, mise à part Barberousse. En effet ces variétés présentent des écarts de biomasse dont la valeur est inférieure à celle prise par la plus petite différence significative qui est de 18.3 g (Figure 31).

Les lignées sensibles au stress hydrique (11, 35, 41, 42, 44, 48, 50, 53, 56 et 58) présentent des réductions de la biomasse allant de 19.6 à 43.5 g MF/pot, soit l'équivalent de 15.5 à 30.8% de la moyenne du témoin non stressé. Barberousse présente une réduction de la biomasse aérienne induite par le stress hydrique de 23.5% (Figures 31 et 32). En plus des variétés Bahia, Acsad176, Rihane, Saida, Tichedrett et Rahma, les lignées qui se montrent tolérantes au stress hydrique, en minimisant la réduction de la biomasse aérienne accumulée, sont 1, 3, 7, 8, 15, 20, 22, 28, 31, 37, 39 et 49 (Figures 31 et 32).

La capacité de minimisation de la réduction de la valeur moyenne de la biomasse aérienne accumulée, mesurée par l'écart entre les moyennes de la biomasse en absence et sous stress hydriques, est positivement liée à la capacité génotypique d'accumulation

de la biomasse en absence de stress ($r_{NS_écart} = 0.6959$, $P < 0.01$) et négativement liée à la capacité d'accumulation de la biomasse sous stress hydrique ($r_{S_écart} = -0.5306$, $P < 0.01$). Ces résultats suggèrent que les variétés tolérantes, c'est-à-dire celles qui minimisent l'écart de la biomasse aérienne entre non stressé et stressé, présentent une faible capacité de production de biomasse en absence de stress, alors que les variétés sensibles se caractérisent, sous ces conditions, par un potentiel élevé.

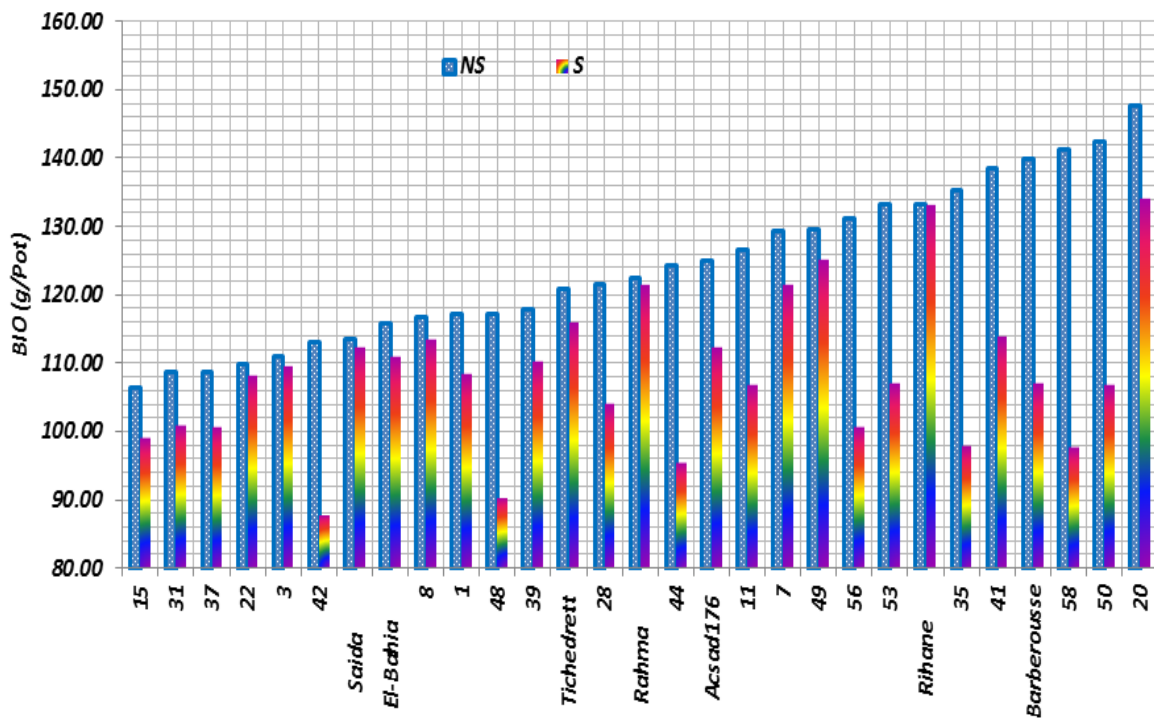


Figure 31. Moyennes de la biomasse aérienne accumulée par les différentes variétés et lignées, en absence de stress et sous stress hydriques.

La liaison entre les capacités génotypiques d'accumuler de la biomasse en absence de stress et sous stress hydrique n'est pas significative ($r_{NS_S} = 0.2394$, $P > 0.10$). Ces deux caractéristiques sont indépendantes l'une de l'autre et il est donc possible de sélectionner des lignées qui produisent plus de biomasse, avec des valeurs au-dessus de la moyenne générale, en absence comme en présence du stress hydrique. C'est le cas des lignées 7, 20, 41, 49 et du cultivar Rihane. Les lignées qui produisent peu de biomasse, avec des valeurs inférieures à la moyenne générale, aussi bien sous stress qu'en absence de stress, sont 1, 15, 22, 37, 42 et 48 (Figure 33).

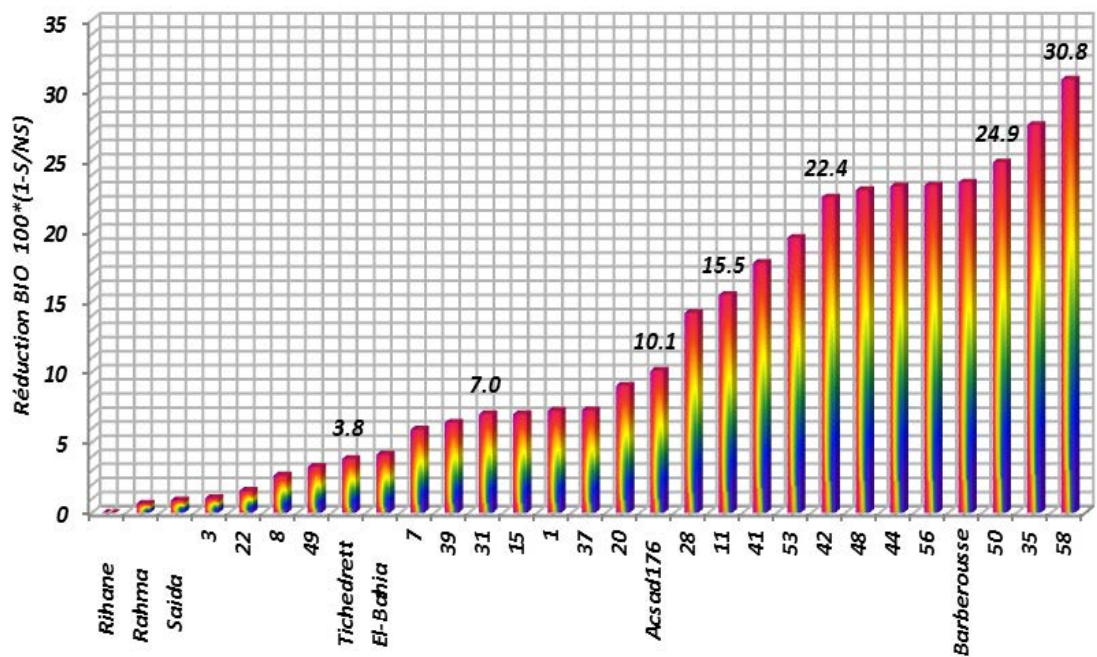


Figure 32. Réduction de la biomasse sous l'effet du stress hydrique en pourcentage $[100*(1-S/NS)]$ des différentes variétés et lignées évaluées.

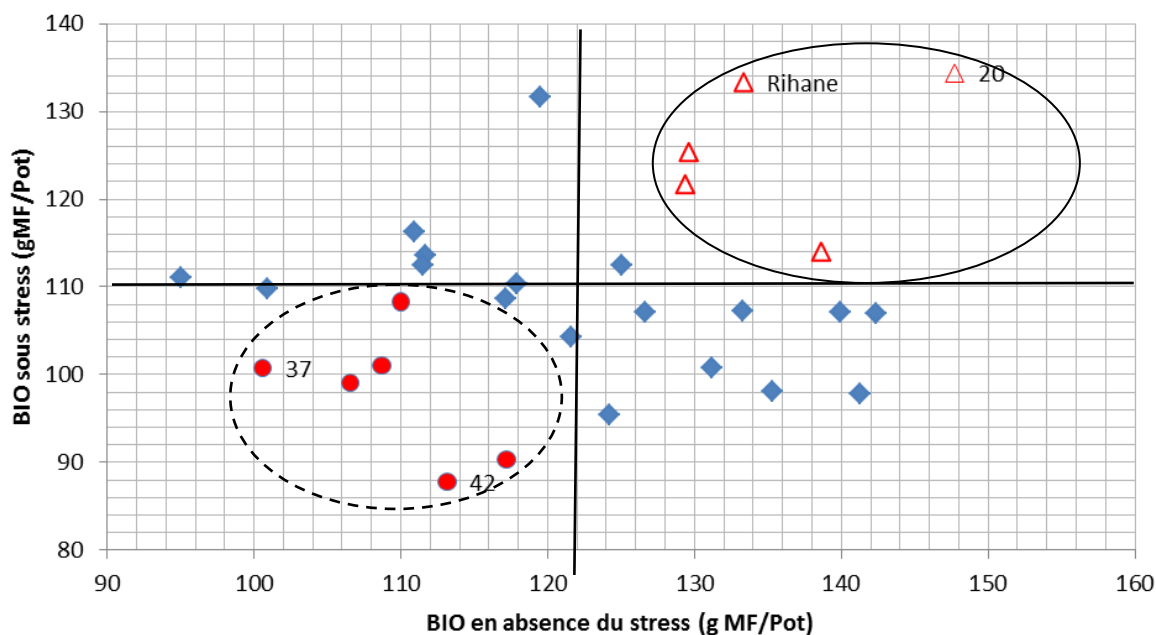


Figure 33. Liaisons entre les moyennes de la biomasse aérienne accumulée par les différentes variétés et lignées, en absence de stress et sous stress hydriques.

Les résultats de la présente étude indiquent que le stress hydrique réduit de l'accumulation de la biomasse aérienne des plantules stressées. La réduction est variable selon les génotypes évalués. Certains génotypes minimisent la réduction (de 0 à 5%) de

la biomasse sous stress, comparativement au témoin non stressé, et semblent plus adaptés au déficit hydrique. D'autres, au contraire, sont plus sensibles au stress hydrique et présentent des réductions plus importantes (de 20.0 à 30.0%). Ces résultats corroborent ceux rapportés par Tian et Lei (2007).

Ces auteurs ont réalisé une expérimentation pour déterminer l'effet du déficit hydrique et des radiations ultraviolets sur la croissance des plantules de blé tendre. Ils observent des effets significatifs de ces stress, individuellement et en combinaison, sur l'accumulation de la biomasse engendrant des réductions de 26.5% par le stress hydrique, 29.1% par le stress lumineux et 55.9% par la combinaison des deux stress.

La réduction de l'accumulation de la biomasse induite par ces stress est expliquée par la production des ROS qui causent la détérioration des pigments chlorophylliens et des protéines membranaires. En effet la concentration du peroxyde d'oxygène (H_2O_2) était plus élevée chez les plantules stressées que chez les plantules non stressées (Tian et Lei 2007).

Selon Chavez et *al.*, (2003), le déficit hydrique induit un ralentissement de la mise en place de nouveaux organes aériens et par une réduction de la croissance des organes préexistants. Ces modifications résultent d'une diminution de la division cellulaire et d'une rigidification des parois cellulaires qui croissent peu.

Des résultats similaires à ceux de la présente étude sont aussi rapportés par Karmollachaab et Gharineh (2005) qui mentionnent que le stress hydrique simulé par l'application du Polyéthylène glycole (PEG) réduit significativement la croissance et la biomasse des plantules de blé tendre à des taux de 43 à 50%. Ils indiquent aussi que la réduction de la biomasse était accompagnée par une diminution relative de 38% du contenu en chlorophylle. Le stress hydrique induit aussi une réduction de la teneur relative en eau foliaire de 16.5% et une augmentation, par un facteur de 4, des dommages causés à la membrane plasmique, mesurés par la fuite de l'électrolyte cellulaire.

Dans le même contexte Biesaga-Koscielniak et *al.*, (2014) rapportent que le stress hydrique réduit significativement la vigueur de croissance des plantules en diminuant la surface foliaire et la biomasse accumulée. Ces auteurs mentionnent que ces réductions sont dues à la baisse du taux de la croissance foliaire qui diminue de 40% et à l'assimilation nette qui est réduite de 10%. Ces auteurs notent la présence de la variabilité de réponses des différentes variétés étudiées, notamment pour le degré de réduction de la biomasse accumulée.

Certaines variétés présentent la capacité génotypique de minimiser la réduction de la biomasse et de l'assimilation nette sous stress comparativement aux valeurs de ces paramètres prises par le témoin non stressé. Les variétés sensibles présentent des baisses significatives de la biomasse accumulée sous stress hydrique. Guoxiong et *al.*, (2002) notent que la tolérance au déficit hydrique est associée à un développement racinaire relativement important et une minimisation de la baisse de la biomasse accumulée sous la contrainte hydrique.

Dans les régions semi-arides qui se caractérisent généralement par une faible humidité du sol au moment du semis, en automne, le manque d'eau affecte la germination, la levée et l'installation de la culture avec, souvent, des conséquences négatives sur le rendement final. Des différences variétales dans les pourcentages de réduction de la biomasse accumulée par les plantules de blé, soumises au stress hydrique qui a lieu au cours des semailles, sont utiles pour identifier les génotypes tolérants (Ghanifathi et *al.*, 2011 ; Baloch et *al.*, 2012).

1. EAU UTILISEE (WU)

L'eau consommée au cours de l'expérience par les différentes variétés et lignées soumises au stress hydrique présente des effets stress hydrique, génotype et interaction génotype x stress hydriques significatifs (Tableau 19). Ces résultats indiquent que l'eau consommée est variable selon les lignées et le degré de stress hydrique imposé. Les moyennes des quantités d'eau consommées, en absence et sous stress hydrique, sont

respectivement de 211.7 et 126.4 g/pot. La différence entre les deux traitements est de 85.3 g d'eau par pot, soit l'équivalent de 40.3% de la quantité consommée en absence de stress hydrique. La plus petite différence significative, dans ce cas, est de 9.9 g.

Les moyennes variétales varient de 139.0 à 213.6 g/pot, avec une plus petite différence significative de 38.00 g (Figure 34). En moyenne, pour les traitements du stress hydrique, la variété Acsad176 et les lignées 11, 31, 56 et 58 ont consommé moins d'eau comparativement aux variétés Tichedrett et Saida et les lignées 8, 20, 28, 41 et 48. Les quantités moyennes d'eau consommées sont respectivement de 143.3 contre 195.4 g/pot, (Figure 34).

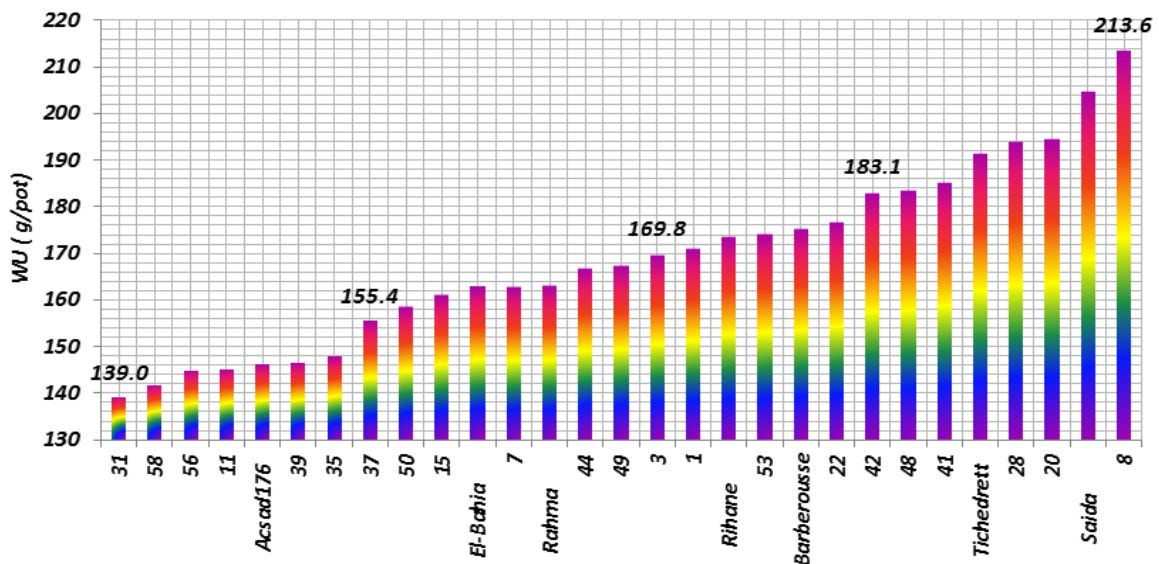


Figure 34. Valeurs moyennes des quantités d'eau consommées par les différentes variétés et lignées (effet moyen variété) au cours de l'expérience.

Pour des disponibilités en eau constantes, les première variétés et lignées citées économisent 52.1 g d'eau/pot comparativement aux secondes. Economiser l'eau est une caractéristique génotypique recherchée pour peu qu'elle ne soit pas associée à une faible capacité de production de biomasse, mais plutôt à une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau.

L'analyse de l'interaction indique que les écarts entre les quantités d'eau consommées, en absence du stress et sous stress hydriques, varient de 19.9 g à 140.9 g

d'eau par pot (Figure 35). Sous conditions de contrainte hydrique, les écarts de faibles valeurs sont indicateurs des variétés dépen-sières en eau, par contre ceux dont les valeurs sont relativement élevées sont indicateurs des variétés économes en eau.

Ainsi, en présence de la contrainte hydrique, Bahia, Tichedrett, Acsad176, Rihane et les lignées 8, 22, 28 et 50 se comportent comme des variétés dépen-sières en eau. A l'inverse, les lignées 31, 35, 41, 44, 48 et la variété Saïda se comportent comme des variétés économes (Figure 35).

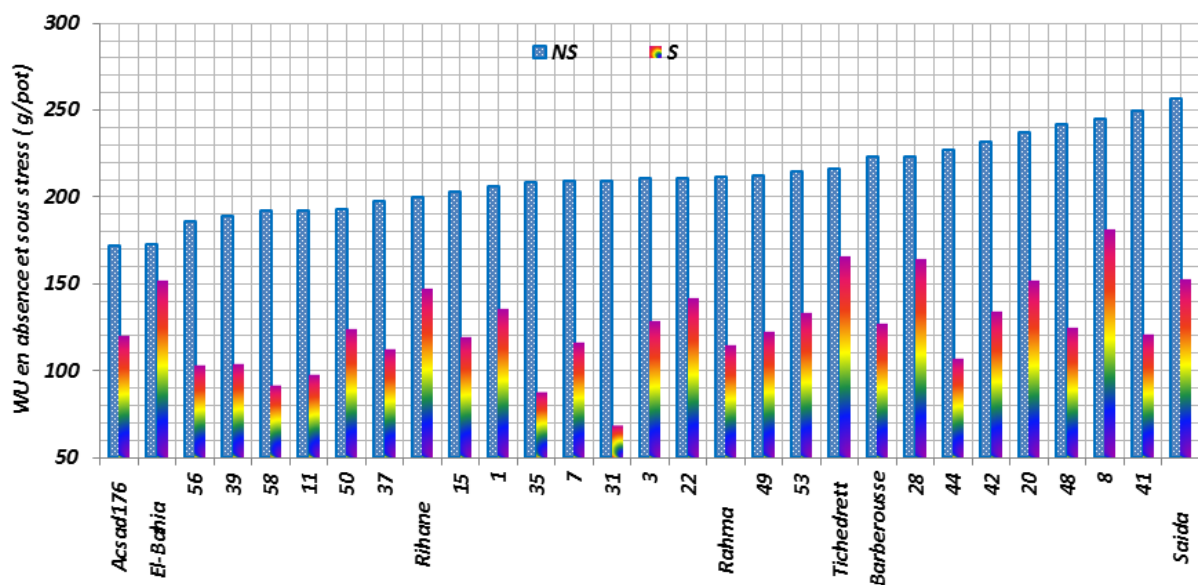


Figure 35. Moyennes des quantités d'eau consommées par les différentes variétés et lignées, en absence de stress (NS) et sous stress hydriques (S) au cours de l'expérience.

En valeurs relatives, Bahia, Tichedrett, Acsad176, Rihane et les lignées 1, 8, 22, et 28 ne réduisent leur consommation d'eau sous stress que de 26.0% en moyenne (11.5 à 34.0%) par contre, Rahma et les lignées 11, 31, 35, 41, 44, 48 et 58 réduisent, sous stress hydrique, leur consommation en eau en moyenne de 53.0% (45.6% à 67.3%) (Figures 35 et 36).

Sous stress et en absence de stress, le groupe de variétés et lignées dépen-sières en eau consomment 47.0% et 6.4% plus d'eau que le groupe de variétés et lignées économes en eau. En contrepartie, les variétés et lignées économes en eau produisent

autant de biomasse que les variétés et lignées dépensières d'eau, en absence de stress (124.7 g MF vs 120.1 g/pot, soit 4.0% de plus). Sous stress hydrique, les variétés et lignées économes en eau produisent 8.4% de biomasse en moins que les variétés et lignées dépensières en eau (104.0 g MF/pot vs 113.5 g MF/pot).

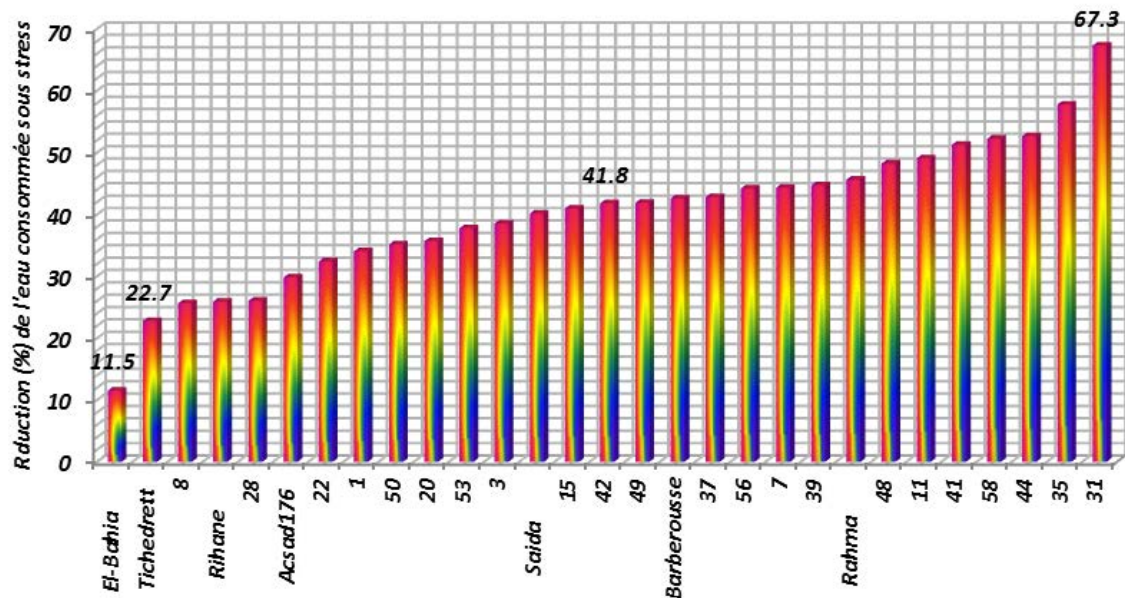


Figure 36. Réduction relative de l'eau consommée par les différentes variétés et lignées sous stress hydriques, comparativement à la consommation en absence de stress, au cours de l'expérience.

Dans ce contexte, Rizza et *al.*, (2012) mentionnent que le cultivar Ofanto consomme plus d'eau, au stade plantule, que le cultivar Capelli quoique l'humidité du sol était plus élevée sous Capelli que sous Ofanto. Sous stress et en absence de stress, Ofanto consomme 21 et 7% plus d'eau que Capelli. Malgré ces différences des quantités d'eau consommées, Ofanto produit autant de matière fraîche que Capelli, aussi bien sous la contrainte qu'en absence de la contrainte hydrique. Ceci conduit à une meilleure WUE pour produire de la biomasse chez Capelli que chez Ofanto.

2. EFFICACITE D'UTILISATION DE L'EAU (WUE)

WUE des différentes variétés et lignées présente des effets stress hydrique, génotype et interaction génotype x stress hydriques significatifs (Tableau 19). Ces

résultats indiquent que les variétés évaluées utilisent de manière différenciée l'eau consommée pour produire de la biomasse sous stress et en absence de ce dernier.

Les moyennes de WUE sont de 585.0 et 898.0 mg de MF/g H₂O, en absence et sous stress hydrique, respectivement. La différence entre les deux traitements est de 313.0 mg MF/g H₂O d'eau/pot soit, une augmentation de 53.5% de WUE mesurée sous stress comparativement à WUE mesurée en absence de stress hydrique. La plus petite différence significative est de 65.0 mg MF/g H₂O.

Une grande variabilité des valeurs WUE est présente chez les différentes variétés en absence et sous déficit hydrique (Figure 37). Globalement, l'ensemble des variétés présente une WUE sous stress plus élevée que celle exprimée en absence de stress. En absence de stress, les valeurs de la WUE varient de 436.0 (Saida) à 743.3 mg MF/g H₂O (lignée 50). Sous stress hydrique, la variation est de 625.6 (lignée 8) à 1485.4 mg MF/g H₂O (lignée 31).

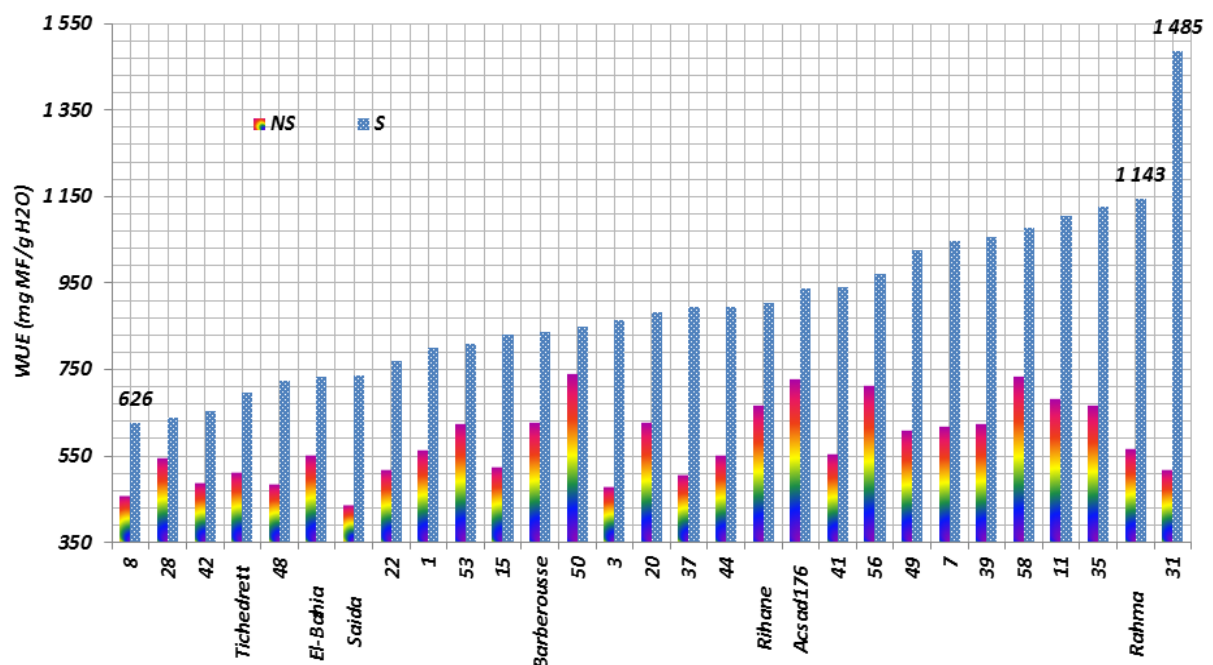


Figure 37. Moyennes de la WUE des différentes variétés et lignées, mesurées en absence de stress (NS) et sous stress hydriques (S).

En absence et sous stress, la différence entre les valeurs de la WUE varie selon les variétés (Figure 37). Elle est non significative chez les lignées 28 et 50 qui présentent des valeurs de 91.7 et 105.7 mg MF/g H₂O vu que la Ppds5% est de 160.0 mg MF/ g H₂O et significative pour le reste des variétés et lignées (Figure 37). Le groupe des variétés Bahia, Tichedrett et des lignées 8, 28, 42, 50, et 53 présentent une faible augmentation de la WUE, sous stress hydrique, avec une moyenne de 153.2 mg MF/ g H₂O.

A l'opposé, le groupe des variétés et lignées Rahma, 7, 11, 31, 35, 39 et 49 présentent des valeurs élevées de la WUE sous stress hydrique avec une moyenne du groupe de 257.7 mg MF/ g H₂O (Figure 37). Comparativement aux valeurs de la WUE mesurées en absence de stress, les augmentations les plus faibles et les plus élevées sont notées chez les groupes de variétés et lignées 28, 42, 50, 53, Acsad176, Bahia, Barberousse et dont la moyenne du groupe est de 32.8% vs 3, 7, 32, 37, 39, 41 et Rahma et dont la moyenne du groupe est de 62.3% (Figure 38).

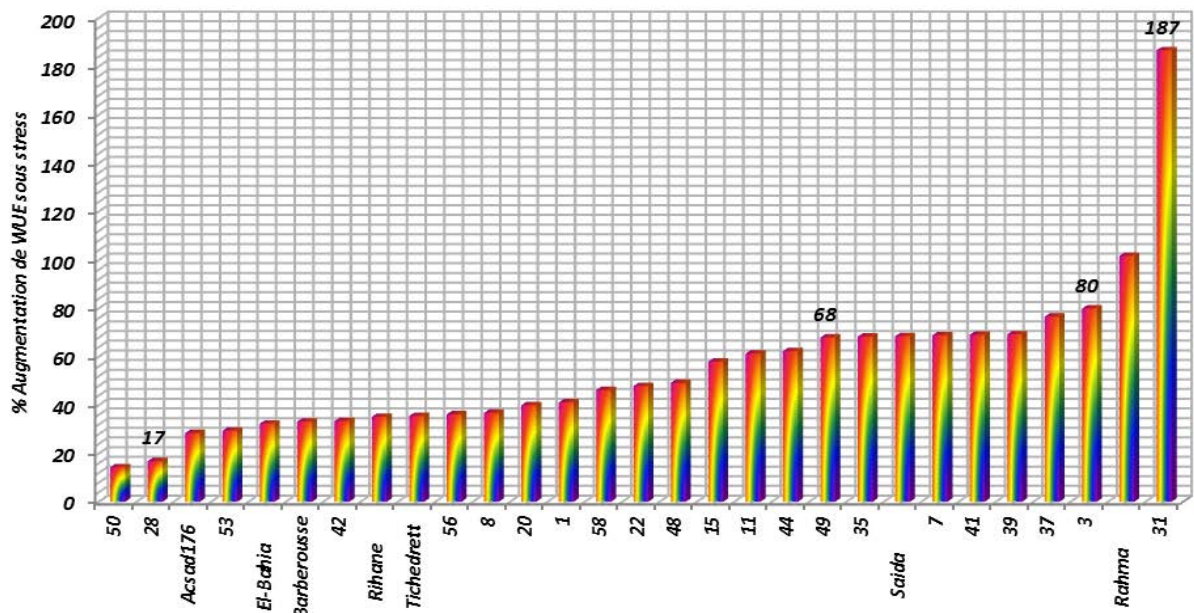


Figure 38. Augmentation relative de la WUE des différentes variétés et lignées sous stress hydrique, comparativement à la WUE mesurée en absence de stress.

Globalement, les 29 lignées et variétés testées forment trois groupes assez divergents pour les variables mesurées (Figure 39 et Tableau 20). Ces groupes

variétaux se différencient surtout par (1) la quantité d'eau consommée en présence de stress (-16.6% et -34.9% respectivement pour G3 et G1), (2) par la WUE (+22.9 et +67.9% pour respectivement G3 et G1) pour des biomasses produites assez proches en absence comme sous stress (Tableau 20, Figure 40).

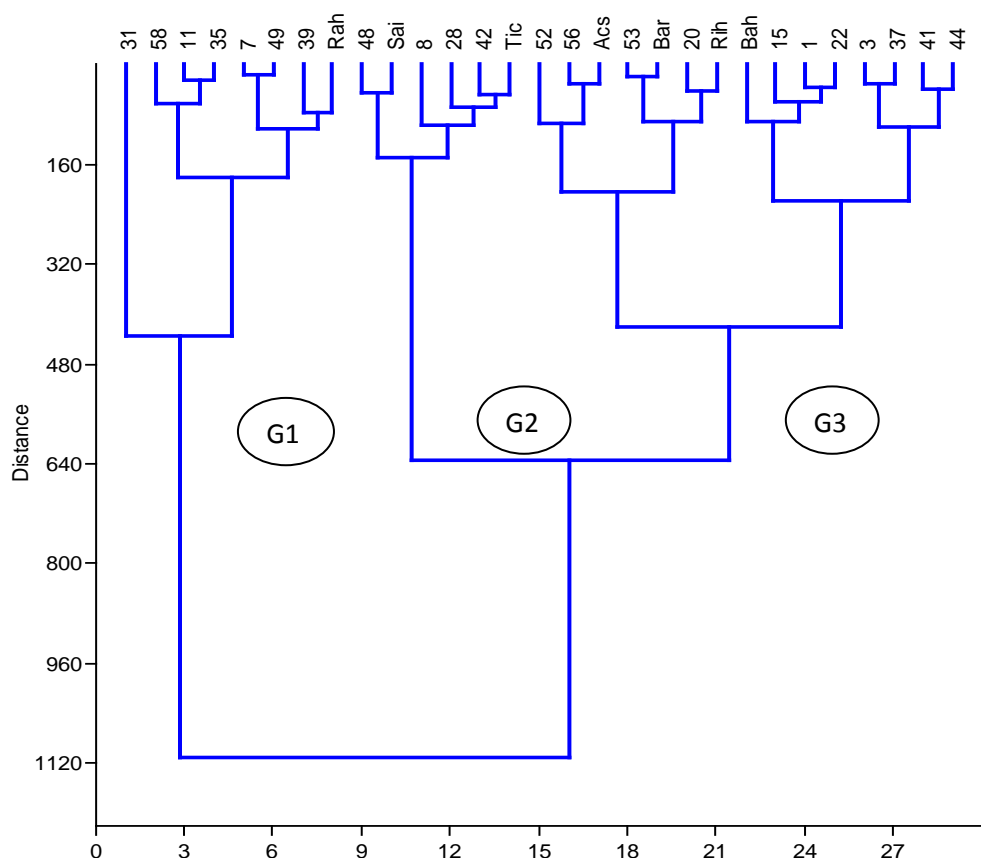


Figure 39. Groupage des lignées et variétés testées sur la base des variables mesurées.

Tableau 20. Valeurs moyennes caractéristiques des groupes de variétés divergents pour les variables mesurées.

Groupe	BIO	BIO	WU	WU	WUE	WUE
	NS	S	NS	S	S	NS
G3	123.1	110.0	206.7	128.9	860.9	600.2
G2	114.3	104.1	235.7	154.6	678.6	488.4
G1	126.0	111.6	202.8	100.6	1133.5	629.4

Bio= Biomasse ; WU= Utilisation de l'eau ; WUE= Efficacité d'utilisation de l'eau ; S= Stressé ; NS= non stressé.

G1= 7, 11, 31, 35, 39, 49, 58 et Rahma ; G2=8, 28, 42, 48, Saida et Tichedrett ; G3=1, 3, 15, 20, 22, 37, 41, 44, 50, 53, 56, Acsad176, Barberousse, Bahia et Rihane.

En effet, la biomasse produite en absence de stress varie de 114.3 g MF/pot, moyenne du groupe G2 qui est formé par les lignées 8, 28, 42, 48, les variétés Saida et Tichedrett à 126.0 g MF/pot, moyenne du groupe G1, qui est constituée des lignées 7, 11, 31, 35, 39, 49, 58 et de la variété Rahma. En présence du stress hydrique les moyennes, chez les mêmes groupes cités ci-dessus, varient de 104.1 à 111.6 g MF/pot (Tableau 20).

Le groupe 2 (G2) consomme plus d'eau en absence comme en présence du stress avec des moyennes respectivement de 235.7 et 154.6 g H₂O. Par contre, le groupe 1 (G1) consomme moins sous les deux conditions ce qui engendre une meilleure WUE. Quant au groupe 3 (G3), il occupe une position intermédiaire (Tableau 20). Il est intéressant de noter que les variétés locales Tichedrett et Saida sont dépensières d'eau.

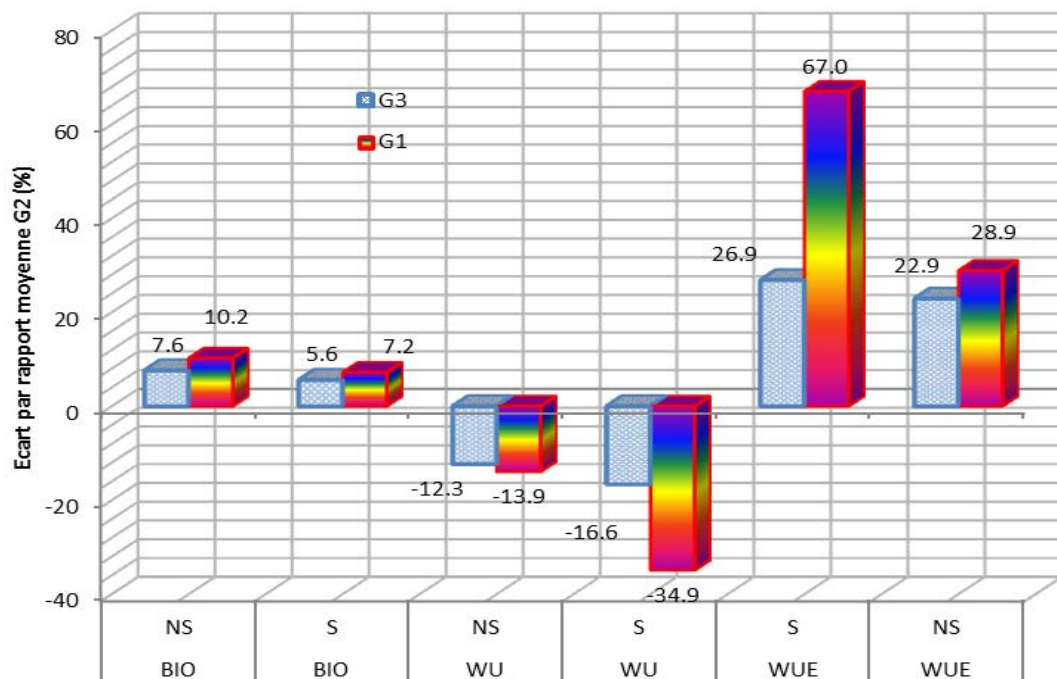


Figure 40. Ecarts (%) des variables mesurées des groupes G1 et G3, relativement aux valeurs du groupe G2.

Les résultats de la présente étude sont similaires à ceux de Biesaga-Koscielniak et *al.*, (2014) qui mentionnent que WUE augmente de 16% sous stress hydrique au stade plantule. Les valeurs élevées de WUE sont recherchées parce qu'elles sont indicatrices

des possibilités de la variété à produire des quantités élevées de biomasse avec moins d'eau comparativement aux variétés qui se caractérisent par une faible WUE. Selon Chaves et *al.*, (2003), WUE a tendance à augmenter sous conditions de déficit hydrique moyen. Sous ces conditions, la perte en eau par le feuillage est minimisée par la fermeture des stomates avec l'inconvénient d'induire la réduction de l'activité photosynthétique.

Selon Wasilewska et *al.*, (2008) la fermeture des stomates est le mécanisme signalétique qui intervient en premier dès que la plante perçoit le stress pour éviter des pertes excessives en eau. Selon Kim et Verpoorte (2010) la régulation des stomates est contrôlée par la synthèse de l'acide abscissique qui induit le transport des ions K^+ vers l'extérieur des cellules de garde. Ceci engendre la baisse de la pression osmotique, la sortie de l'eau des cellules de garde, la diminution de la turgescence suivi de la fermeture partielle ou totale des stomates.

Pour limiter la perte en eau, les plantes sont capables de maintenir la turgescence de leurs cellules, en mettant en œuvre le mécanisme de l'ajustement osmotique, grâce à l'accumulation contrôlée des composés organiques compatibles telle que la proline ou les sucres solubles. Ces métabolites assurent la stabilité des protéines et des membranes cellulaires contre l'effet de dénaturation engendré par le stress sur des fonctions cellulaires (Valliyodan et Nguyen, 2006).

Abbate et *al.*, (2004) notent qu'en conditions de déficit hydrique, WUE du blé est plus élevée. WUE est corrélée avec la fermeture partielle des stomates ce qui réduit la transpiration. Selon Lazaridou et Koutroubas, (2004), chez le trèfle (*Trifolium alexandrinum*), l'augmentation de WUE s'explique par une diminution des pertes d'eau suite à la réduction de la transpiration et de la surface foliaire.

Produire plus avec moins d'eau est une alternative recherchée dans les milieux arides et semi-arides où l'eau représente une réelle contrainte à l'amélioration des rendements. L'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE) chez les cultivars

nouvellement développés apparaît comme une caractéristique désirable pour ces régions. Krzeminska et Gorny (2003) observent, entre les stades plantules et adultes, des différences de WUE chez les génotypes d'orge conduits en pot de végétation. La baisse de la biomasse en réponse à la contrainte hydrique était moins importante chez les génotypes tolérants que chez les génotypes sensibles. La contrainte hydrique réduit la surface foliaire et, par conséquent, la capacité photosynthétique de la plante. La surface foliaire verte est affectée via la réduction des dimensions, du nombre et de la longévité de feuilles.

L'amélioration de WUE affecte positivement la biomasse accumulée pour un niveau donné d'humidité du sol utilisable. Cette amélioration peut se faire soit en réduisant la transpiration ou en augmentant l'assimilation carbonée. Hayatu et Mokhtar (2010) observent une variation de la réduction de la biomasse aérienne en réponse à la contrainte hydrique chez les génotypes de haricot (*Vigna unguiculata* L.). Sous la contrainte d'intensité modérée, la réduction était significative chez les génotypes sensibles et non significatifs chez les génotypes tolérants.

CONCLUSION

Les résultats de la présente étude indiquent que le stress hydrique réduit de l'accumulation de la biomasse aérienne des plantules stressées. La réduction est variable selon les génotypes évalués. Certains génotypes minimisent la réduction (de 0 à 5%) de la biomasse sous stress comparativement au témoin non stressé et semblent tolérantes vis-à-vis du stress hydrique. D'autres, au contraire, sont plus sensibles au stress hydrique et présentent des réductions plus importantes (de 20 à 30%). La quantité d'eau consommée est variable selon les lignées et le degré de stress hydrique imposé avec une réduction moyenne de 40.3% sous stress hydrique, variant de 26.0% chez les variétés dépendantes à 53.0% chez celles dites économes. Les variétés évaluées utilisent de manière différenciée l'eau consommée pour produire de la biomasse sous et en absence de stress et présentent une grande variabilité de WUE. Globalement, WUE est plus élevée sous stress hydrique. Les 29 lignées et variétés testées forment trois groupes

assez divergents qui se différencient surtout par (1) la quantité d'eau consommée en présence de stress (-16.6% et -34.9% respectivement pour G3 et G1 comparativement à G2) et (2) par la WUE (+22.9 et +67.9% respectivement pour G3 et G1) pour des biomasses moyennes assez proches produites en absence comme en présence de stress hydrique. Un tel comportement s'explique par des différences de conductance stomatique plus faible chez les génotypes économes en eau et plus élevée chez les génotypes dépensiers. Cette méthode, peu coûteuse et facile à mettre en œuvre, permet de cribler rapidement le matériel en ségrégation pour identifier les lignées plus aptes à faire une meilleure utilisation de l'eau disponible sous conditions de contrainte hydrique.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

La présente étude s'est fixée pour objectif d'allier trois approches complémentaires en vue de la sélection pour la tolérance à la sécheresse et aux hautes températures. La 1^{ère} approche a consisté en l'étude de la stabilité du rendement et de ses composantes de 450 épis-lignées étudiés. La 2^{ème} approche a poursuivi l'étude des mêmes caractères morpho-physiologiques mais, seulement sur 50 lignées sélectionnées des 450 et ce, durant deux années successives, basée sur le principe de la sélection directe et indirecte. Quant à la 3^{ème} approche, menée au laboratoire du C.R.A en Italie, elle s'est attachée à l'utilisation de la fluorescence chlorophyllienne pour identifier des génotypes tolérants les hautes températures et l'effet du stress hydrique sur l'accumulation de la biomasse aérienne au stade plantules.

Partant de ces données, nous avons procédé à l'identification, chez les lignées mises à expérimenter, des caractères de tolérance à la sécheresse et aux hautes températures à même d'expliquer leurs performances et stabilité. En ce qui concerne la 1^{ère} expérience l'analyse des résultats agronomiques obtenus au champ nous ont permis l'identification des caractères spécifiques de tolérance à la sécheresse et d'étayer les performances réalisées par les différentes lignées et variétés étudiées. Les résultats enregistrés ont permis de mettre en évidence les points suivants :

- L'évaluation des lignées selon les critères de rendement (hauteur, biomasse aérienne, PMG, NE, NGE, etc ...) à partir desquelles on a pu sélectionner 50 lignées et suivre leur évolution pendant deux années qui nous ont permis de déduire ce qui suit :
 - Sous conditions semi-arides, les orges à 6 rangs sont plus productives parce qu'elles présentent un rendement en grains, une biomasse aérienne, un poids des épis et un nombre de grains par m² plus élevés que les 2 rangs lesquelles dévoilent un poids de 1000 grains et un nombre d'épis par unité de surface plus élevés.
 - Les faibles liaisons entre les performances des différents caractères ciblés par la sélection, dans les différents environnements, donnent une réponse

négative ou nulle à la sélection. Sur les 50 lignées sélectionnées seulement 3 (2 à 6 rangs et 1 à 2 rangs) ont une bonne performance par rapport au meilleur témoin.

Les résultats suggèrent que pour accumuler les gènes favorables, chez la descendance, l'expression des caractères du rendement exige l'utilisation de croisement des géniteurs à 6 rangs.

Des 50 lignées, il a été sélectionné encore 22 lignées qui ont été testées, au sein du laboratoire relevant de l'Institut Expérimental de la Céréaliculture de Fiorenzuola d'Arda (Italie), pour la tolérance au choc thermique (40 et 45°C) par la mesure de la fluorescence et au stress hydrique par la détermination de RSWC, la quantité d'eau consommée et l'accumulation de la biomasse aérienne au stade plantule. Les résultats obtenus indiquent:

- F_0 augmente mais F_m , F_v et le ratio F_v/F_m diminuent significativement sous le choc des deux traitements (40 et 45°C),
- La reprise des plantules est totale sous le choc de 40°C mais partielle sous 45°C,
- Une grande variabilité des lignées et des cultivars dont certains sont tolérants aux hautes températures et d'autres sensibles, mais les variétés locales se classent parmi les tolérantes. Cela indique que la fluorescence chlorophyllienne constitue un outil potentiellement intéressant pour l'évaluation de la tolérance aux hautes ou basses températures.

Les résultats du stress hydrique quant à eux affichent, selon les génotypes, une réduction variable de l'accumulation de la biomasse aérienne des plantules stressées. Ceux qui sont tolérants, au stress hydrique, minimisent la réduction de 0 à 5% et les sensibles présentent des réductions variant de 20 à 30% par rapport aux témoins non stressés.

La quantité d'eau consommée varie, selon les lignées et le stress, de 26% chez les lignées dépensières et de 53% chez celles économes.

Les lignées et les variétés testées utilisent de manière différente la quantité d'eau consommée pour produire de la biomasse en présence et en absence de stress, présentant ainsi une grande variabilité.

Les variétés et lignées forment 3 groupes assez divergents pour les variables mesurées:

- Le groupe G1 des lignées 7, 11, 31, 35, 39, 49, 58 et de la variété Rahma produisent, en moyenne, une biomasse de 126,1g MF/pot et 111,6g MF/pot avec une consommation d'eau de 202,8g et 100,6g et une WUE de 629,4 et 1133,5 respectivement en absence et en présence de stress.

- Le groupe G2 des lignées et variétés 8, 28, 42, 48, Saida et Tichedrett présentent une biomasse de 114,3g MF/pot et 104,1g MF/pot, une consommation d'eau de 235,7g et 154,6g avec une WUE de 488,4 et 678,6, respectivement en absence et en présence de stress.

- le groupe G3 des lignées 1, 3, 15, 20, 22, 37, 41, 44, 50, 53, 56, et variétés Acsad176, Barberousse, Bahia et Rihane présentent une biomasse variant 123,1g MF/pot à 110,0g MF/pot, une utilisation d'eau allant de 206,7g à 128,9g et une efficacité d'utilisation d'eau de 600,2 à 860,9 respectivement en absence et en présence de stress .

On constate que cette dernière méthode est peu couteuse et très facile à mettre en œuvre et permet de cribler très tôt le matériel en ségrégation pour identifier les lignées aptes à faire une économie de l'eau disponible sous contrainte hydrique.

En vue de valider les résultats obtenus dans cette étude et dans le cadre de nouvelles recherches, il reste :

- Compte tenu de la complexité de sélectionner des lignées et variétés tolérantes, sur les caractères du rendement, aux conditions de la présente étude, il y a lieu d'accorder un intérêt particulier à la recherche de marqueurs moléculaires

attachés aux caractères correspondants d'autant que des résultats existent pour les céréales.

- Poursuivre, sur la base des résultats obtenus dans notre étude, la recherche de la relation qui existe entre l'efficacité de l'utilisation de l'eau, la quantité d'eau consommée et la fluorescence chlorophyllienne avec le rendement grains, sous conditions défavorables.
- Rechercher des QTL (Quantitative Traits Loci) liés aux caractères physiologiques de la tolérance à la sécheresse (Température et déficit hydrique).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abbassenne F. 1997: Etude génétique de la durée des phases de développement et influence sur le rendement et ces composantes chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). *Thèse de Magister*. INA, El Harrach.
2. 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.
3. Abbate PE, Dardanelli JL, Cantarero MG, Maturano M, Melchiori RJM, Suero EE. 2004: Climatic and water availability effects on water-use efficiency in wheat. *Crop Science* 44: 474-483.
4. Abeledo L.G., Calderini D.F., Slafer G.A. 2002: Physiological changes associated with breeding progress. In: "Barley science: recent advances from molecular biology to agronomy of yield and quality" (Slafer G.A., Molina-Cano J.L., Savin R., Araus J.L., Romagosa I., (Eds.), ISBN 1-56022-909-8, *Food Product Press*, New York, pp. 361-386.
5. Acevedo E., Ceccarelli S. 1989: Role of physiologist - breeder in a breeding program for drought resistance conditions. In: *Drought resistance in cereals*. Baker F.W.G. (Eds.), Wallington, UK, 117-140.
6. Acreche M.M., Briceño-Félix G., Martín Sánchez J.A., Slafer G.A. 2008: Physiological bases of genetic gains in Mediterranean bread wheat yield in Spain. *Europ. J. Agron.*, 28: 162-170.
7. Adjel F., Kadi Z., Bouzerzour H., Benmahammed A. 2013: Salt Stress Effects on Seed Germination and Seedling Growth of Barley (*Hordeum Vulgare* L.) Genotypes. *J. Agric. Sustain.*, 3 (2): 223-237.
8. Al hakimi A., Monneveux P., Galiba G. 1995: Soluble sugars, Proline, and Relative Water Content (RWC) as trait for Improving Drought Tolerance and Divergent selection for RWC from *T. Polonicum* into *T. durum*. Genetics and breeding. *J. Genet. Breed.*, 49: 237-244.
9. Al Khatib K., Paulsen G.M. 1984: Mode of high temperature injury to wheat during grain development. *Plant Physiol.*, 61: 363-368
10. Amirjani M. 2012: Estimation of Wheat Responses to "High" Heat Stress. *American-Eurasian J. Sustain. Agric.*, 6: 222-233.
11. Amri A., Ouammou L., Nassif F. 2005: Barley-based Food in Southern Morocco: In: Grando S. and Gormez Macpherson H. (eds.). 2005: Food Barley: Importance, Uses and Local Knowledge. *Proceedings of the International Workshop on Food Barley Improvement*, 14-17 January 2002, Hammamet, Tunisia. ICARDA, Aleppo, Syria. 22-28.
12. Annichiarico P., Perenzin M. 1994: Adaptation patterns and definition of macro-environments for selection and recommendation of common wheat - genotypes in Italy. *Plant breed.*, 113: 197-205.

13. Annicchiarico P., Abdellaoui Z., Kelkoul 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
14. Araus J.L., Amaro T., Voltas J., Nakhoul H., Nachit M.M. 1998: Chlorophyll fluorescence as a selection criteria for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *FCR*, 55: 209-223.
15. Araus J.L., Slafer G.A., Reynolds M.P., Royo C. 2002: Plant breeding and water relations in C₃ cereals: what should we breed for? *Ann. Bot. London* 89: 925-940.
16. Araus J. L., Slafer G.A., Royo C., Serret M.D. 2008: Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. *Crit. Rev. Plant Sci.* 27: 377-412.
17. Arisnabarreta S., Miralles D.J. 2008: Critical period for grain number establishment of near isogenic lines of two- and six-rowed barley. *Field Crops Res.* 107: 196-202.
18. Austin R.B., Bingham J., Blackwell J., Evans L.T., Ford M.A., Morgan C.I., Taylor M. 1980: Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *J. Agric. Sci.*, 94: 675-689.
19. Austin R.B., Ford M.A. 1989: Effects of nitrogen fertilizer on the performance of old and new varieties of winter wheat. In: *Proceedings XII Eucarpia Congress, February 1989*. Goettingen, Germany, Vortr. Pflanzenzuechtug, 16: 307-318.
20. Austin R.B. 2000: Integrated approach to breeding cereals for drought resistance. *An IAMZ CRRRA-Settat course*, 27 March-7 April, 2000.
21. Ayeneh A., Van Ginkel A., Reynolds M.P., Ammar K. 2002: Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. *Field Crops Res.*, 79:173-184.
22. 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. *Pakistan J. Agronomy*, 4: 360-365.
23. Baker N.R., Rosenqvist E., 2004: Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *J. Exp. Bot.*, 55: 1607-1621.
24. Baker N.R. 2008: Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis *in vivo*. *Ann. Rev. Plant Biology*, 59: 89-113.
25. Baloch M.J., Dunwell J., Khakwani A.A., Dennett M., Jatoi W. A., Channa S.A. 2012: Assessment of wheat cultivars for drought tolerance via osmotic stress imposed at early seedling growth stages. *J. Agr. Eng. Res.*, 50: 299-310.

26. Balota M., Payne W.A., Evett S.R., Lazar M. 2007: Canopy temperature depression sampling to assess grain yield and genotypic differentiation in winter wheat. *Crop sci.*, 47: 1518-1529.
27. Belkharouch 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.
28. Benbelkacem A. 2013: Rapport national des activités du projet INRAA-ICARDA 2012-2013. 45p.
29. Benmahammed A., Hassous K.L., Bouzerzour H. 2001: Synthèse des performances des nouvelles sélections d'orge (*Hordeum vulgare* L.) réalisées par les stations ITGC de Saida, Sidi Bel Abbés, Tiaret, Beni Slimane, Oued Smar, Khémis Miliana, Sétif et Khroub, au cours de la période 1980/81 à 1996/97. *Céréaliculture* 36, 13-20.
30. Benmahammed A., Djekoun A., Bouzerzour H., Ceccarelli S. 2004: Response to F3 bi-directional selection for above ground biomass and its effect on grain yield in F4 to F7 generation of three barley (*Hordeum vulgare* L.) cross population. *Al Awamia* Maroc, 75 : 33-39.
31. Benmahammed A., Bouzerzour H., Mekhlouf A., Benbelkacem A. 2008: Variation de la teneur relative en eau, l'intégrité cellulaire, la biomasse et efficacité d'utilisation de l'eau des variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var *durum*) conduites sous contraintes hydrique. *Recherche Agronomique INRAA*, 21 : 37-47.
32. Benmahammed A., Kribaa M., Bouzerzour H., Djekoun A. 2010: Assessment of stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) advanced breeding lines under semi arid conditions of the eastern high plateaus of Algeria. *Euphytica*, 172: 383-394.
33. Bensemmane L. 2004: Contribution à l'étude de la cinétique d'accumulation et de répartition de la matière sèche chez le blé dur (*T. durum* Desf.) sous climat méditerranéen. *Mémoire magister*, Fac. Sci. UFAS 70p.
34. 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.
35. Berry J., Björkman O. 1980: Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 31: 491-543.
36. Biesaga-Koscielniak J., Ostrowska A., Dziurka Filek M., Waligorski P., Mirek M., Koscielniak J. 2014: Evaluation of spring wheat adaptation to soil drought during seedling growth stage. *Agriculture*, 4: 96-112.
37. Bilge B., Yildirim M., Barutcular C., Genc I. 2008: Effect of CTD on grain yield and yield component in bread and durum wheat. *Not. Bot. Agrobot. Chji.*, 36(1): 34-37.

38. 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
39. Blum A. 1985: Photosynthesis and transpiration in leaves and ears of wheat and barley varieties. *J. exp. Bot.*, 36: 432-440
40. Blum A., Shipper L., Golan G., Mayer J. 1989: Yield stability and canopy temperature of wheat genotypes under drought stress. *Field Crop Res.*, 22: 289-296.
41. Blum A., Pnuel Y. 1990: Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a mediterranean environment. *Aust. J. Agric. Res.*, 41: 799-810.
42. Blum A. 1996: Crop responses to drought and interpretation of adaptation. *Plant Growth Regul.*, 20: 135-148.
43. Bolha`r-Nordenkamp H.R., Long S.P., Baker N.R., Oquist G., Schreiber U., Lechner E.G. 1989: Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Funct. Ecol.*, 3: 497-514.
44. Borrás-Gelónch G., Rebetzke G.J., Richards R.A., Romagosa I. 2012: Genetic control of duration of pre-anthesis phases in wheat (*Triticum aestivum* L.) and relationships to leaf appearance, tillering, and dry matter accumulation. *J. Exper. Botany*, 63: 69-89.
45. 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.
46. Botwright T.L., Condon A.G., Rebetzke G.J., Richards R.A. 2002: Field evaluation of early vigour for genetic improvement of grain yield in wheat. *Aust. J. Agric. Res.*, 53: 1137-1145.
47. Boukerou L., Rasmusson D.D., 1990: Breeding for high biomass yield in Spring barley. *Crop Sci.*, 30: 31-35.
48. Bouzerzour H., Benmahammed A. 1994: Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateaux of eastern Algeria. *Rachis*, 12: 11-14.
49. Bouzerzour, H., Dekhili, M. 1995: Heritabilities, gains from selection and genetic correlations for grain yield of barley grown in two contrasting environments. *Field Crop Res.*, 41: 173-178.
50. Bouzerzour H., Djekoun A., Benmahammed A., Hassous L. 1998: Contribution de la biomasse aérienne de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement en grain (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi d'altitude. *Cahiers de l'Agriculture*, 8: 133-137.
51. Bouzerzour H., Adjabi A., Benmahamed A., Hadj Sahraoui A., Harkati N. 2002: Production et adaptation des variétés de céréales en zone semi aride d'altitude. *Rev. Céréaliculture*, 37: 4-13.

52. Cattivelli L., Rizza F., Badeck F.W., Mazzucotelli E., Mastrangelo A.M. 2008: Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Res.*, 105(1-2): 1-14.
53. Ceccarelli S., Acevedo E., Grando S. 1991: Breeding for yield stability in unpredictable environment: Single traits interaction between traits architecture of genotypes. *Euphytica*, 56: 159-185.
54. Ceccarelli S. 1994: Specific adaptation and breeding for marginal conditions. *Euphytica*, 77: 205-219.
55. Ceccarelli S., Grando S., Hamblin J. 1992: Relationships between barley grain yield measured in low and high yielding environments. *Euphytica*, 64: 49-58.
56. Ceccarelli S., Grando S. 1996: Drought as a challenge for the plant breeder. *Plant Growth Regul.*, 20: 149-155.
57. Ceccarelli S., Grando S., Impiglia N. 1998: Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. *Euphytica*, 103: 307-318.
58. 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.
59. Ceccarelli S., Grando S., Maatougui M., Michael M., Slash M., Haghparast R., Rahmanian M., Taheri A., Al-Yassin A., Benbelkacem A., Labdi M., Mimoun H., Nachit M. 2010 : Plant breeding and climate changes. *J. Agric. Sci., Cambridge*, 148: 627-637
60. Chaves M.M., Pereira J.S., Maroco J., Rodrigues M.L., Ricardo C.P., Oserio M.L., Carvalho I., Pinheiro C. 2002: How do plants cope with water stress in field? Photosynthesis and growth. *Ann. Bot.*, 89: 907-916.
61. Chaves M.M., Pereira J.S., Maroco J., Rodrigues M.L., Ricardo C.P., Osorio M.L., Carvalho I., Faria T., C. Pinheiro, 2002: How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals Bot.*, 89: 907-916.
62. Chenafi H., Bouzerzour H., Aidaoui A., Saci A. 2006: Yield response of durum wheat (*Triticum durum*, Desf) cultivar Waha to deficit irrigation under semi arid growth conditions. *Asian J. plant Sci.*, 5: 854-860.
63. Clark J.M., Mc Caig T.N. 1982: Evaluation of techniques for screening drought resistance in wheat. *Crop Sci.* 22: 503-506.
64. Clark J.M., Romagosa I., Depauw R.M. 1991: Screening durum wheat germplasm for dry growing conditions: morphological and physiological criteria. *Crop Sci.* 31(3): 770-775.
65. Clark A.J., Landolt W., Bucher J., Strasser R.J. 2000: Beech (*Fagus sylvatica*) response to ozone exposure assessed with chlorophyll *a* fluorescence performance index. *Environ. Pollut.*, 109: 501-507.

66. Coleman R.K., Gill G.S., Rebetzke G.J. 2001: Identification of quantitative trait loci (QTL) for traits conferring weed competitiveness in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Aust. J. Agric. Res.*, 52: 1235-1246.
67. Cox M.C, Qualset C.O., Rains D.W. 1988: Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. Nitrogen translocation in relation to grain yield and protein. *Crop sci.*, 26: 737-740.
68. Cropstat 7.2.3. 2009: Free statistic package by *International Rice Research Institute*, IRRI, Manila, Philippine.
69. Cuesta-Marcos A., Igartua E., Ciudad F.J., Codesal P., Russell J.R., Molina-Cano J.L., Moralejo M., Szűcs P., Gracia M.P., Lasa J.M., Casas A.M. 2008: Heading date QTL in a spring × winter barley cross evaluated in Mediterranean environments. *Mol. Breeding*, 21:455-471.
70. Dakheel A.J., Nadji I., Mahalazkshmi V., Peacock J.M. 1993: Morphophysiological traits associated with adaptation of durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Aspects of Applied Biology*, 34: 297-307.
71. Dorion S., Lalonde S., Saini H.S. 1996: Induction of male sterility in wheat by meiotic-stage water deficit is preceded by a decline in invertase activity and changes in carbohydrate metabolism in anthers. *Plant Physiol.*, 111: 137-145
72. El hafid R.E., Smith D.H., Karrou M., Samir K. 1998: Morphological attributes associated with early-season drought tolerance in spring durum wheat in a Mediterranean environment. *Euphytica*, 101: 273-282.
73. Elhani S., Rharrabti Y., García del Moral L.F., Roca L.F. 2000: Evolution of chlorophyll fluorescence parameters in durum wheat as affected by air temperature. CIHEAM-IAMZ, 40: 275-277: Seminar on durum wheat improvement in the Mediterranean region: *New Challenges*, 04:12-14. Zaragoza, Spain.
74. Erroux J. 1956: Les cereals de l'Ouadi El Ajal. Bull. Soc., Histoire Naturelle Afrique du Nord, 43: 172-183.
75. Faostat. 2012: Stastical Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations.
76. FAO. 2012: <http://www.fao.org/010/ah864f/ah864f00.htm>. 2013.
77. Federer, W.T. 1958: Augmented designs with one-way elimination of heterogeneity. *Biometrics*, 17: 447-473.
78. 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.

79. 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.
80. Fischer R. A., Rees D., Sayre K. D., Lu Z. M., Condon A. G., Larque Saavedra A. 1998: Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Sci.*, 38: 1467-1475.
81. Flagella Z., Pastore D., Campanile R.G., Di Fonzo N. 1995: The quantum yield of photosynthetic electron transport evaluated by chlorophyll fluorescence as an indicator of drought tolerance in durum wheat. *J. Agri. Sci.*, 125: 325-329
82. Francia E., Rizza F., Cattivelli L., Stanca A.M., Galiba G., Tóth B., Hayes P.M., Skinner J.S., Pecchioni N. 2004: Two loci on chromosome 5H determine low-temperature tolerance in a 'Nure' (winter) × 'Tremois' (spring) barley map. *Theor. Appl. Genet.*, 108: 670-680.
83. García del Moral M.B., Jimenez-Tejada M.P., Garcia del Moral L.F., Ramos J.M., Roca de Togores F., Molina-Cano J.L. 1991: Apex and ear development in relation to the number of grains on the main-stem ears in spring barley (*Hordeum distichon*). *J. Agric. Sci.*, 117: 39-45.
84. Garcia 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 Crop Res.*, 81: 109-119.
85. García G.A., Appendino M.L., Serrago R.A., Helguera M., Vanzetti L., Lombardo L., Miralles, D.J. 2011: Variability of pre-anthesis phases as a strategy for increasing grain number in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crop Res.*, 124: 408-416.
86. Gebeyehou G., Knott D.R., Baker R.G. 1982: Relationships among duration of vegetative and grain filling phase, yield components and grain yield in durum wheat cultivars. *Crop sci.*, 22: 287-290.
87. Genty B., Briantais J.M., Baker N.R. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochim. Biophys. Acta.*, 990 : 87-92.
88. Ghanifathi, T., Valizadeh M., Shahryari R., Shahbazi H. 2011: Effect of drought stress on germination indices and seedling growth of 12 bread wheat genotypes. *Adv. Environ. Biol.*, 5: 1034-1039.
89. Gonzales A., Martin I., Ayerbe L. 2007: Response of barley genotypes to terminal soil moisture stress : Phenology, growth and yield. *Aust. J. Res.*, 58: 29-37.
90. Grando S., Macpherson H. G. 2006: Food Barley: Importance, uses and local knowledge. In *proceedings of the International Workshop on Food Barley Improvement*, 14-17 January 2002, Hammamet, Tunisia, 156 pp.

91. Grzesiak S., Grzesiak M. T., Filek W., Stabryła J. 2003: Evaluation of physiological screening tests for breeding drought resistant triticale (X *Triticosecale* Wittmack). *Acta Physiol. Plant*, 25: 29- 37.
92. Guissé B., Srivastava A., Strasser R.J. 1995: Effect of high temperature and water stress on the polyphasic chlorophyll *a* fluorescence transient of potato leaves. In: Mathis P (ed) *Photosynthesis: From Light to the Biosphere, IV*: 913–916. *Kluwer Academic Publ.* Dordrecht, Boston – London.
93. Guoxiong C., Krugman T., Fahima T., Korol A.B., Nevo E. 2002: Comparative study on morphological and physiological traits related to drought resistance between xeric and mesic *Hordeum spontaneum* lines in Israel. *Barley Genet. Newslett.*, 32: 22-33.
94. Haddad L. 2009 : Contribution à l'étude de la stabilité des rendements du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. *Mémoire de Magister*, Dépt. Agronomie, Faculté des Sciences, UFAS, 70p.
95. Hadj Youcef-Taïbi H. 2002 : Identification des caractères phénologiques et morpho-physiologiques d'adaptation à la sécheresse chez les variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et d'orge (*Hordeum vulgare* L.). Essais multilocaux dans trois zones céréalières d'Algérie. *Thèse de Magister* INA, El Harrach, 118 p.
96. 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.
97. Haldimann P., Fracheboud Y., Stamp P. 1996: Photosynthetic performance and resistance to photoinhibition of *Zea mays* L. leaves grown at suboptimal temperature. *Plant Cell and Environ*, 19: 85-92.
98. 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.
99. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P. D. 2001: PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9p.
100. 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.*, 41027-1033.
101. Harlan J.R. 1975: Our vanishing genetic resources. *Science*, 188: 618–621.
102. Havaux M., Ernez M., Lannoye R., 1988: Correlation between heat tolerance and drought tolerance in cereals demonstrated by rapid chlorophyll fluorescence tests. *J. Plant Physiol.*, 133: 555–560.

103. Hayatu M., Mukhtar F.B. 2010: Physiological responses of some drought resistant cowpea genotypes (*Vigna unguiculata* L.) to water stress. *Bajopas*, 3: 69-75.
104. Hays D.B., Do J.H., Mason R.E., Morgan G., Finlayson S.A. 2007: Heat stress induced ethylene production in developing wheat grains induces kernel abortion and increased maturation in a susceptible cultivar. *Plant Science*, 172: 1113-1123
105. Heller R., Esnault R., Lance C. 1993 : Physiologie végétale. Vol. I. Nutrition, *5ème édition*. Masson. Paris: 293 p.
106. Huang J., Zhou W., Dong W., Watson A. M., Hong Y. 2009: Directed, efficient, and versatile modifications of the Drosophila genome by genomic engineering. *Proc Natl Acad Sci USA*, 106: 8284-8289
107. Jilal, A. 2011: Assessment of genetically diverse international barley germplasm for development of food product applications. *PhD thesis*, Southern Cross University, Lismore, NSW 177p.
108. Jose A., Hernandez A., Maria S., Almansa B. 2002: Short term effects of salt stress on antioxidant systems and leaf water relations of pea leaves. *Physiol. Plant.*, 115: 251-257.
109. 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. *Advances in Environmental Biology*, 4: 30-40.
110. Kalaji H.M., Loboda T. 2007: Photosystem II of barley seedlings under cadmium and lead stress. *Plant Soil Environ*, 53: 511-516.
111. Kar P.K., Srivastava P.P., Awasthi A.K., Urs S.R. 2008: Genetic variability and association of ISSR markers with some biochemical traits in mulberry (*Morus spp.*) genetic resources available in India. *Genomes*, 4: 75-83.
112. Karmollachaab A., Gharineh M.H. 2005: Effects of silicon application on wheat seedlings growth under water deficit stress induced by polyethylene glycol. *Iran Agric. research*, 34: 31-38.
113. Karrou M., Hafid R., Smith D.N., Samir K. 1998: Roots and shoot growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early-season drought. *Agronomie*, 18: 181-186.
114. Kasarda, D. D. 2004: Grains in relation to celiac disease. *Cereal Foods World*, 46: 209-210.
115. Kim H.K, Verpoorte R. 2010: Sample preparation for plant metabolomics. *Phytochem Analysis*, 21: 4-13.
116. 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 Ceccarelli, S. and Grandó, S. (eds) 2010. *Proceedings of the 10th International Barley Genetics Symposium*, 5-10 April, Alexandria, Egypt, 39-29.

117. Komatsuda T., Pourkheirandish M., He C., Azhaguvel P., Kanamori H., Perovic D., Stein N., Graner A., Wicker T., Tagiri A., Lundqvist U., Fujimura T., Matsuoka M., Matsumoto T., Yano M. 2007: Six-rowed barley originated from a mutation in a homeo domain-leucine zipper I-class homeobox gene. *PNAS*, 104: 1424 -1429.
118. Krzemiska A., Górný A.G. 2003: Genotype-dependent variation in the transpiration efficiency of plants and photosynthetic activity of flag leaves in spring barley under varied nutrition. *J. Appl. Genet*, 44: 481-490.
119. 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.
120. Lazaridou M., Koutroubas S.D. 2004: Drought effect on water use efficiency of berseem clover at various growth stages. New directions for a diverse planet, In: *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress Brisbane, Australia*, 26 Sept-1 Oct 2004. T. Fischer, et al. (eds.).
121. Le Gouis J., Delebarre O., Beghin D., Heumez E., Pluchard P. 1999: Nitrogen uptake and utilisation efficiency of two-row and six- row winter barley cultivars grown at two N levels. *Europ. J. of Agronomy*, 10: 73-79.
122. Li R., Guo P., Baum M., Grando S., Ceccarelli S. 2006: Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agric. Sci. in China* 5: 751-757.
123. Lobell, D. B., Bonfils C., Faurès J. M. 2008: The role of irrigation expansion in past and future temperature trends. *Earth Interact.* 12, 1-11.
124. Loggini B., Scartazza A., Brugnoli E., Navari-Izzo F. 1999: Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. *Plant Physiology*, 119: 1091-1099.
125. Louvieux J. 2004: Mesure de l'efficacité d'extraits d'algues sur la vigne (*Vitis vinifera* L.), en conditions contrôlées et au vignoble, validée par la mesure de l'activité photosynthétique et les analyses chimiques. *Mémoire d'ingénieur en Agronomie* (Bio-ingénieur en Agronomie). Université Libre de Bruxelles (ULB). Belgique 221p.
126. Maxwell K., Johnson G.N., 2000: Chlorophyll fluorescence: A practical guide. *J. Experi. Botany*, 51: 659-668.
127. McMaster M.E., Munkittrick K.R., Luxon P.L., Van Der Kraak G.J. 1994: Impact of low-level sampling stress on interpretation of physiological responses of white sucker exposed to effluent from a bleached kraft pulp mil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 27: 251-264.

128. Mekhlouf A., Bouzerzour H., Bemahammed A., Hadj Sahraoui A., Harkati N. 2006: Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi- aride. *Sécheresse*, 17 (4): 507-513.
129. 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.
130. 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.
131. Meziani N., Bouzerzour H., Benmahammed A., Menad A., Benbelkacem A. 2011: Performance and adaptation of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) to diverse locations. *Adv. Environ. Biol.*, 5 (7): 1465-1472.
132. Modhej A., Behdarvandi B. 2006: Effect of heat stress after anthesis on source limitation of wheat and barley genotypes. *Proceedings of the 24th Annual Meeting of ESCB*, Dec. 13-14, Belgium, pp: 28-28.
133. Mohammadi M., Karimizadeh R.A., Naghavi M.R., 2009: Selection of bread wheat genotypes against heat and drought tolerance based on chlorophyll content and stems reserves. *J. Agric. and Social Sci.*, 5: 119-122.
134. 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.
135. Moustakas M., Ouzounidou G., Lannoye R. 1993: Rapid Screening for Aluminum Tolerance in Cereals by Use of the Chlorophyll Fluorescence Test. *Plant Breed.*, 111: 343-346.
136. Munns R., James R.A. 2003: Screening methods for salt tolerance: A case study with tetraploid wheat. *Plant Soil*, 253: 239-250.
137. Nachit M.M, Jarrah M. 1986: Association of some morphological characters to grain yield in durum wheat under Mediterranean dry-land conditions. *Rachis*, 5: 33 -34.
138. 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.
139. Negassa, M. 1985 : Patterns of phenotypic diversity in an Ethiopian barley collection and the Arussi-Bale Highland as a center of origin of barley. *Heredities*, 102: 139-150.
140. 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.

141. Nouar H., Bouzerzour H. Haddad L., Menad A. Hazmoune T. Zerargui H. 2012: Genotype x Environment Interaction Assessment in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) using AMMI and GGE Models. *Adv. Environ. Biol.*, 6: 3007-3015.
142. ONM, 2011: Office National de Météorologie : Données météorologiques de la région de Sétif 2010/2011.
143. Openstat, 2010: Free statistical software written by W.G. Miller.
144. 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.
145. Ortiz-Monasterio R.J., Sayre K.D, Rajaram S., Mahon M.M.C. 1997: Genetic progress in wheat yield and nitrogen efficiency under four nitrogen rates. *Crop Sci*, 37: 898-904.
146. 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.
147. 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
148. Passioura J.B. 1996: Drought and drought tolerance. *Plant Growth Regulation*, 20: 79-83. In: Pengyuan L., Zhu J., Lu Y. 2004: Marker-assisted selection in segregating generations of self fertilizing crops. *Theor. Appl. Genet.*, 109: 370-376.
149. Petersen R. 1976: Use and misuse of multiple comparison procedures. *Agron. J.*, 69: 205-208.
150. Pfeiffer, W.H., K. D. Sayre, M. P. Reynolds, 2000: Enhancing genetic grain yield potential and yield stability in durum wheat. *Options Méditer.*, 40: 83-93.
151. Quinn G.P., Keough M.J. 2002: Experimental Design and Data Analysis for Biologists. *Cambridge University Press*, 435-442.
152. Ralph P.J., Durako M.J., Enríquez S., Collier C.J., Doblin M.A. 2007: Impact of light limitation on seagrasses. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*350: 176-193.
153. Ramsay L., Comadran J., Druka A., Marshall D. F., Thomas W.T.B., Macaulay M., MacKenzie K., Simpson C., Fuller., Bonar N., Hayes P.M., Lundqvist U., Franckowiak J.D., Close T. J., Muehlbauer G.J., Waugh R. 2011: Genome-wide association study of quantitative resistance to southern leaf blight in the maize nested association mapping population INTERMEDIUM-C, a modifier of lateral spikelet fertility in barley, is an orthology of the maize domestication gene TEOSINTE BRANCHED. *Nature Genetics*, 43: 169-172.

154. Rebetzke G., Ellis M., Bonnett D., Richards R 2007: Molecular mapping of genes for coleoptiles growth in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.*, 114 (7): 1173-1183.
155. Reynolds M.P., Balota M., Delgado M.I.B, Amani I., Fischer R.A. 1994: Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. *Aust. J. Plant. Physiol.*, 21: 717-730.
156. Reynolds M., Trethowan R., Crossa J., Vargas M., Sayre K. 2002: Physiological factors associated with genotype by environment interaction in wheat. *Field Crops Res.*, 75(2-3): 139-160.
157. Reynolds M., Dreccer F., Trethowan R. 2007: Drought-adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. *J. Exp. Bot.*, 58, 177–186.
158. Reynolds M., Manes Y., Izanloo A., Langridge P. 2009: Phenotyping approaches for physiological breeding and gene discovery in wheat. *Ann. Appl. Biol.* 155: 309–320.
159. Richards R.A., Lukacs Z. 2002: Seedling vigour in wheat sources of variation for genetic and agronomic improvement. *Aust. J. of Agric. Res.*, 53: 41-50.
160. 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.
161. Rijsberman F. R. 2006. Water scarcity: fact or fiction? *Agricultural Water Management*, 80(1): 5-22.
162. Rizza F., Badeck F. W., Cattivelli L., Lidestri O., Di Fonzo N., Stanca A. M., 2004: Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Sci.*, 44: 2127-2137.
163. Rizza F, Ghashghaie J, Meyer S, Matteu L, Mastrangelod AM. 2012: Constitutive differences in water use efficiency between two durum wheat cultivars. *Field Crops Res.*, 125: 49-60.
164. Royo C., Abaza M., Blanco R., Garcia del Moral L.F. 2000: Triticale grain growth and morphometry as affected by drought stress, late sowing and simulated drought stress. *Austr. J. Plant Physiol.*, 27(11): 1051-1059.
165. Ruan C.J., Li H., Mopper S. 2009: Characterization and identification of ISSR markers associated with resistance to dried-shrink disease in sea buckthorn. *Mol. Breed.*, 24: 255-268.
166. Saini H.S., Sedgley M., Aspinall D. 1983: Effect of heat stress during floral development on pollen tube growth and ovary anatomy in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Aust. J. Plant Physiol.*, 10:137-44.
167. Sanchez-Monge R., Gomez L., Barber D., Lopez-Otin C., Armentia A., Salcedo G. 1992: Wheat and barley allergens associated with baker's asthma. Glycosylated subunits of the

- alpha amylase inhibitor family have enhanced IgE-binding capacity. *Biochem. J.*, 281: 401-405.
168. Schreiber U., Bilger W., Neubauer C. 1995: Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: Schulze E-D, Caldwell MM, (eds) *Ecophysiology of Photosynthesis*, 49-70. Springer Verlag: Berlin.
169. Seemann J.R., Badger M.R., Berry J.A. 1984: Variations in the specific activity of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase between species utilizing differing photosynthetic pathways. *Plant Physiol.*, 74: 791-794
170. Shahinnia F., Rezai A.M., Tabatabaei B.E. 2005: Variation and path coefficient analysis of important agronomic traits in two and six-rowed recombinant inbred lines of barley (*Horedum vulgare* L.). *Czech J. Genet. Plant Breed.*, 41: 246-250.
171. Siddique, K. H. M., Kirby, E. J. M., and Perry, M. W. 1989: Ear stem ratio in old and modern wheat varieties; relationship with improvement in number of grains per ear and yield. *Field Crops Res.*, 21: 59-78.
172. Siddique K.H.M., Belford M.W., Perry D., Tennant D. 1991: Growth development and light interception of old and modern wheat varieties in mediterranean environment. *Aust. J. Agric. Res.*, 40: 473-487.
173. Simane B., Peacock J.M., Struik, P.C. 1993: Difference in development plasticity and growth rate among drought. Resistance and susceptible cultivars of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Plant and Soil*, 157: 155-166.
174. Slafer G.A., Andrade F.H. 1989: Genetic improvement in bread wheat (*T. aestivum*) yield in Argentina. *Field Crops Research*, 21: 289-296.
175. Slafer G.A., Araus J.L., Royo C., Garcia Del Moral L.F. 2005: Promising eco-physiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments. *Ann. Appl. Biol.*, 146: 61-70.
176. Smillie, R.M., Hetherington S. 1983: Stress tolerance and stress-induced injury in crop plants measured by chlorophyll fluorescence in vivo. Chilling, freezing, ice cover, heat and high light. *Plant Physiol.*, 72: 1043-1050.
177. Soltani A., Galeshi S. 2002: Importance of rapid canopy closure for wheat production in a temperate sub-humid environment: Experimentation and simulation. *Field Crops Res.*, 77: 17-30.
178. Tian X.R., Lei Y.B. 2007: Physiological responses of wheat seedlings to drought and UV-B radiations : effect of exogenous sodium nitropruside application. *Russian Plant Physiol.*, 54: 676-682.
179. Valliyodan B., Nguyen H.T. 2006: Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 9: 189-195.

180. Van Oosterom E.J., Ceccarelli S., Peacock J.M. 1993: Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments. *J. Agric. Sci.*, 121: 307-313.
181. Wardlaw, I.F., Dawson, I.A., Munibi, P. Fewster, R. 1998: The tolerance of wheat to high temperature during productive growth. Survey procedures and general response patterns. *Aust. J. Agric. Res.*, 40: 1-13.
182. Wasilewska A., Vlad F., Sirichandra C., Redko Y., Jammes F., Valona C. 2008 : An update on abscisic acid signaling in plants and more. *Mol. Plant*, 1: 198-217.
183. Wehner T.C. 1982: Weighted selection indices for trials and segregating populations Cucurbit. *Genet. Coop. Rpt.*, 5: 18-20.
184. Worland A.J., Apendino M.L., Seyers E.J. 1994: The distribution, in European winter wheat, of genes that influence eco climatic adaptability whilst determining photoperiodic insensitivity and plant height. *Euphytica*, 80: 219-228.
185. Yamane K., Kawasaki M., Taniguchi M., Miyake H. 2008: Correlation between Chloroplast Ultrastructure and Chlorophyll Fluorescence characteristics in the leaves of Rice (*Oryza sativa* L.) Grown under Salinity. *Plant Prod. Sci.*, 11: 139-145.
186. Yang J., Zhang J., Wang Z., Zhu Q., Wang W. 2001: Remobilization of carbon reserves in response to water deficit during grain filling in rice. *Field Crop Res.*, 71: 47-55.

ANNEXE

CRA-GPG

CENTRO DI RICERCA PER LA GENOMICA
E LA POSTGENOMICA ANIMALE E VEGETALE

Fiorenzuola d'Arda 03. 10. 2011

Prot. N. 1735

03 OCTOBER 2011

TO WHOM IT MAY CONCERN

This to certify that Dr. Latifa Bensemane born at Setif, Republic of Algeria, the 01/01/1959, spent 30 days (from 09/05/2011 to 10/03/2011) working in the laboratories of CRA-GPG Genomics Research Centre, in Fiorenzuola d'Arda (PC), Italy.

Dr. Bensemane worked on analysis of drought/heat response in lines and varieties of Algerian barley. For drought stress, she carried out an experiment analyzing 30 genotypes grown in greenhouse under irrigation (95% RSWC, Relative Soil Water Content) and in stressed conditions fixing the drought stress at 45% RSWC. The stress effect has been evaluated by measuring the fresh and dry weight of the plants as well as the RWC% (Relative Water Content) of the last developed leaf.

To study the response to high temperature, Dr. Bensemane has led an experiment with 20 genotypes grown in growth chamber at the stage of first leaf and subjected to a temperature treatment at 40/45°C. The stress effects were valuated analyzing the damage at Photosystem II by measuring the chlorophyll fluorescence (Fv/Fm).

Moreover, in this period Dr. Bensemane has attended the molecular biology lab and she has learned at theoretical level the use of SSR (single sequences repeats) markers for mapping of a disease resistant gene in a segregating population of rice.

Your sincerely

The director

Dr. Luigi Cattivelli



This is a refereed journal and all articles are professionally screened and reviewed

ORIGINAL ARTICLE

Assessment of the Phenotypic Variation Within Two- And Six-rowed Barley (*Hordeum Vulgare* L.) Breeding Lines Grown Under Semi-Arid Conditions.

¹Latifa Bensemmane, ²Hamenna Bouzerzour, ²Amar Benmahammed, ³Hamou Mimouni

¹Faculty of Life and Natural Sciences, Biology Department, Mohamed Boudiaf University M'Sila, 28000 (Algeria)

²Faculty of Life and Natural Sciences, Biology and Ecology Department, University Ferhat Abbas Setif, 19000 (Algeria)

³National Institute of Agricultural Research, Sidi Bel Abbas Agricultural Research Station, 22000 (Algeria)

Latifa Bensemmane, Hamenna Bouzerzour, Amar Benmahammed, Hamou Mimouni, Assessment of the Phenotypic Variation Within Two- And Six-rowed Barley (*Hordeum Vulgare* L.) Breeding Lines Grown Under Semi-Arid Conditions.

ABSTRACT

Variation and relationships between eight barley agronomic and morphologic traits were evaluated in 306 two-rowed and 144 six-rowed barley lines. Significant differences were detected within and among group of lines for most of the measured traits. In both row types, number of grains per unit area exerted a significant and positive direct effect and with 1000-kernel weight, explained almost 99.0% of total yield variation. Two-rowed type showed high 1000-seed weight and six-rowed had better seed per spike. Principal component analysis indicated that spike number, 1000-seed weight, harvest index and seed per spike are strongly influenced by row type. Under the growth conditions experienced by the studied breeding material, six-rowed lines out yielding two-rowed entries, suggesting that selection should be directed toward this row type.

Key words: *Hordeum vulgare*, traits, variation, relationships, row type, cluster.

Introduction

Barley (*Hordeum vulgare* L.) is the second important crop grown in Algeria after durum wheat (*Triticum durum* Desf.). It is mainly used as fodder crop, with a small portion, 15 kg/person/year, utilized as human food [1]. Because of its relatively short vegetative cycle which enables it to escape terminal heat and drought stresses, barley is grown in the arid and semi-arid highland areas where durum and bread wheat could not be sown without risk and where it represents along with sheep rearing the main agricultural activity [2]. In these areas, rainfall distribution pattern and frost hazards are important factors determining observed grain yield [3,4]. Grain yield is low due to management factors, adverse

growing conditions and low yield potential of cultivars and landraces adopted. To improve grain yield and sustain the development of these marginal areas, selection of stress resistant varieties, with high yield potential, is a promising alternative. In fact, the adoption of a suitable genotype can change dramatically the production pattern of a given region. Illustrative examples are given by the adoption of the recently released bread wheat cultivar HD₁₂₂₀ and the durum wheat cultivars Waha and Boussalam in the middle plains and the northern parts of the high plateaus [5,6,7]. Even though stress tolerance is a multivariate problem, affected by several morpho-physiological characteristics interacting simultaneously, selecting stress resistant cultivars, especially with good performance under late season

Corresponding Author

Hamenna Bouzerzour, Faculty of Life and Natural Sciences, Biology and Ecology Department, University Ferhat Abbas Setif, 19000 (Algeria)
E-mail: bouzerzourh@yahoo.fr

heat and drought stresses is a major objective of barley breeding program. National barley breeders select, preferably, six-rowed barley lines with large kernel size and good above ground biomass production [8,9,10]. Yield stability and crop adaptation are sought through accurate matching of life cycle duration to moisture availability and frost avoidance [3,4,9]. Most agronomic traits related to yield potential and yield stability vary greatly according to growing conditions and source of germplasm [3,11]. Knowledge about the amount of genetic variation and relationships between traits are of important considerations for efficient utilization of germplasm sources [12,13]. National breeding program is receiving much segregating and advanced barley breeding material from Icarda. This material is made of two- and six- rowed entries. A better understanding of grain yield potential and adaptation of two- and six-rowed genotypes and of the ways their yield is obtained help in planning breeding strategies, by choosing either one or the other type and by choosing the characteristics which are to be selected within each type. The objective of the present study was to assess the phenotypic variation of some agro morphological traits within and among two and six- rowed barley breeding lines grown under semi- arid conditions.

Material and methods

Experimental Design:

450 random fertile tillers, 306 two-rowed and 144 six-rowed lines, were drawn from 10 samples harvested, each from one row 1 m long, from a segregating population grown at the National Institute of Agricultural Research (INRAA), Agricultural Research Station (ARS) of Sidi Bel Abbes (35°02'N and 00°3'W) during the 2008/09 cropping season. The original population consists of a mixture of 1600 F₂ lines, derived from a hierarchical crossing scheme made by Icarda [14]. Seeds of the 450 sampled fertile tillers were grown, the following year (2009/2010) at the Technical Institute of Field Crop (ITGC) ARS of Setif (36°12'N and 05°24'E), in an augmented design with five checks repeated three times. Each line, originating from one spike, was sown in a single 1 m long row, with 0.2 m spacing between two consecutive rows. Two local landraces, Tichedrett, Saïda, and three commercial cultivars, Barberousse, Rihane₀₃ and Fouara were included as checks. Barberousse and Rihane₀₃ are, respectively, French and Tunisian 6-rowed barley varieties. Fouara is a recently released six-rowed cultivar by ITGC, ARS of Setif. Its pedigree is Deir alla 106/Strain 205//Gerbel. ICB85. 1376. 0AP. 1AP. 2AP [15]. Data were recorded on plant height, spike weight and spike number per m², above ground biomass, grain

yield, seed number per m², and seeds per spike, 1000-kernel weight and harvest index. Plant height was measured in centimeters from the soil surface to the tip of the inflorescence of the most typical plant, per plot, excluding awns. Harvest index was calculated as the ratio between plot grain yield and plot above ground biomass. 1000-seed weight was estimated from the count and weight of an average sample of 250 kernels. Seed number produced per square meter was derived from plot grain yield and 1000-seed weight. Seed per spike was calculated as seed number divided by spike number per square meter.

Data Analysis:

The data were analyzed for basic statistics following the methods implemented in the descriptive analysis subroutine of the free statistical software Openstat [16]. Phenotypic correlation coefficients were calculated and *t*-tested according to the procedure described in Quin and Keough [17]. Stepwise regression analysis was employed to determine the best combination of variables that determinate grain yield in each row type germplasm. Variables are chosen to enter or leave the model according to the significance level of the *F* test and to the size of residual mean square of the model [18]. The path coefficient analysis was performed using phenotypic correlations to assess direct and indirect effect of the measured traits on grain yield [19, 20]. A principal component analysis (PCA) was carried out on scaled agronomic data, followed by a multivariate hierarchical clustering analysis based on the first four PCA components whose eigenvalue was greater than 1. A dendrogram was generated using Ward's minimum variance method implemented in the Past free software package [21].

Results and discussion

Phenotypic Variability Within and Between Two and Six-row Types:

A large level of phenotypic variation was observed for most of the measured traits (Table 1). Hence plant height varied from 40.0 cm to 114.0 cm in both row type barley lines. Above ground biomass ranged from 31.2 to 1260.1 g m², spike number per m² from 20.0 to 420 spikes, and grain yield from 12.0 to 680.6 g m² (Table 1). Thousand -kernel weight ranged from 30.6 to 58.4 g, the number of seeds m² from 260.0 to 15880.7 grains m², while the number of kernels per spike varied from 9.7 to 89.0 and the harvest index from 0.11 to 0.56 (Table 1). Difference between mean values of two- and six-rowed lines was not significant for plant height, number of spike m², 1000-kernel weight and harvest

Table 1: Basic statistics for eight quantitative traits of two-rowed (n= 306) and six- rowed (n= 144) barley lines.

Traits	RT	Mean value	Mean SE	Min. value	Max.value	LDS _{5%} *
PHT	2	85.5	0.61	40.0	114.0	7.48
	6	89.3	0.77	66.0	111.0	
BIO	2	573.1	14.5	31.2	1250.5	175.01
	6	843.7	26.1	97.4	1260.1	
SN	2	192.4	4.4	20.0	420.0	66.72
	6	172.2	5.7	25.0	345.0	
GY	2	211.9	5.3	12.0	512.3	65.36
	6	368.3	11.9	40.3	680.6	
TKW	2	49.9	0.28	30.6	58.4	5.34
	6	45.9	0.45	33.3	55.6	
SNM ²	2	4242.0	104.8	264.0	9572.8	1543.6
	6	8053.5	259.1	967.2	15880.7	
SS	2	22.2	0.31	9.7	55.5	7.85
	6	47.8	0.69	23.0	89.0	
HI	2	0.37	0.004	0.11	0.56	0.08
	6	0.43	0.005	0.24	0.55	

* based on the analysis of variance of the augmented design. PHT= plant height, BIO= above ground biomass, SN= spike number per m², GY= grain yield, TKW= 1000-seed weight, SNM²= seed number per m², SS= seed per spike, HI= harvest index.

index. The difference was significant for above ground biomass, grain yield, seed number per m² and seed number per spike (Table 1). The results revealed considerable variation among row types for yield, yield components, and related agronomic traits, even though the overall means per row type hide the large variability observed, which suggested that selection within each group could lead to the identification of potentially useful breeding lines. Le Gouis [12] reported significant differences between two and six-row type lines for the number of shoots which was higher for the two-row, and for the number of grains per spike, with the advantage of six-row type lines. This advantage of the six-rowed type compensate for their lower spike number per m² resulting in a higher seed number per m². According to Kolodinska-Brantestam *et al.*, [22] two-rowed cultivars had, on average, significantly higher thousand-kernel weight and volumetric weight, and later heading and maturity than six-row.

Relationships Between Traits Within Two and Six-row Types:

It is an established fact that greater the variability among the breeding material better will be the chance for further grain yield improvement. Yield is influenced by a number of characters; their influence is highly variable in direction and magnitude. Correlation coefficient analysis is useful in the identification of suitable traits to target in selection and elimination of those with undesirable correlated changes. Within the two-rowed lines, grain yield showed significant correlations with the measured traits, even though above ground biomass, spike number and seed number per m² were the most yield determinant traits (Table 2). Similar trend was observed within the six-rowed barley lines, except that the seed per spike showed no significant relationship with grain yield (Table 2). 1000-seed weight of the two-rowed group of barley lines

showed no significant relationships with plant height, harvest index and with the yield components: spike number, seed per spike and seed per m² (Table 2). In the six-rowed group of lines, thousand-kernel weight showed no significant correlation with spike number and seed number per m², but exhibited a significant and negative correlation with seed per spike. Spike fertility exhibited no significant relationship with plant height and with seed number per m² (Table 2). Le Gouis [12] reported a negative and significant correlation between 1000-seed weight and seed number per m², in both two and six-rowed barley genotypes. Under the present growing conditions, the results suggested that is, somewhat, difficult to achieve simultaneously high seed number per m² and high 1000-kernel weight in a single genotype within both groups, due to compensating effects. Forward stepwise multiple regression analysis was utilized to highlight the contribution of the measured traits to grain yield variation within each group of lines (Table 3). The first trait to be entered was seed number per m², which explained 94.3 and 89.9% of yield variation in two and six-rowed lines, respectively. With 1000-seed weight, as the second trait entering the model, nearly 99.0% of grain yield variation was explained (Table 3).

Shahinnia *et al.*, [23] reported that harvest index and biological yield explained 96.8% of the total yield variation of barley. The coefficient of regression of the seed number per m², of the two-rowed group of lines, was relatively higher than the one of the six-rowed group of lines, suggesting a stronger effect of this trait on yield variation within the two-rowed group of lines. The reverse was noted for 1000-seed weight, above ground biomass, harvest index, and seed number per spike whose coefficients of regression were relatively higher in the six-rowed barley lines (Table 3). Even though the correlation coefficient between seed number per m² and 1000-seed weight was not significant, the stepwise regression analysis showed the positive synergic

Table 2: Correlation coefficients between 8 quantitative traits of two-rowed (n= 306) and six-rowed (n= 144) barley lines.

	PHT	BIO	SN	GY	TKW	SNM ²	SS	HI
PHT		0.389**	0.219*	0.315**	0.102 ^{ns}	0.302**	0.201*	-0.182*
BIO	0.557**		0.777**	0.894**	0.206*	0.862**	0.244*	-0.223*
SN	0.416**	0.873**		0.856**	0.011 ^{ns}	0.873**	-0.083 ^{ns}	0.116*
GY	0.484**	0.923**	0.922**		0.212*	0.971**	0.337*	0.190*
TKW	0.319**	0.297**	0.106 ^{ns}	0.227*		-0.003 ^{ns}	-0.036 ^{ns}	0.014 ^{ns}
SNM ²	0.405**	0.852**	0.910**	0.948**	-0.072 ^{ns}		0.361**	0.191*
SS	-0.099 ^{ns}	-0.170*	-0.331**	-0.080 ^{ns}	-0.382**	0.051 ^{ns}		0.266*
HI	-0.07 ^{ns}	-0.059 ^{ns}	0.232*	0.301**	-0.188*	0.357**	0.262*	

Correlations of 2r lines above diagonal and of 6r lines below diagonal, ns,* and **= correlation coefficient non significant and significant at 5% level according to the t-test. . PHT= plant height, BIO= above ground biomass, SN= spike number per m², GY= grain yield, TKW= 1000-seed weight, SNM²= seed number per m², SS= seed per spike, HI= harvest index.

Table 3: Stepwise regression analysis of grain yield and agronomic traits.

Regression coefficients								
Step	Trait	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	R ²
Two-rowed barley lines (n=306)								
1	SNM ²	1.87	0.049**					0.943
2	TKW	-193.2	0.049**	3.96**				0.989
3	BIO	-184.1	0.046**	3.75**	0.020**			0.990
4	HI	-194.3	0.038**	3.07**	0.008**	116.2**		0.992
5	SS	-191.1	0.038**	3.04**	0.084**	122.3**	-0.225*	0.992
Six-rowed barley lines (n =144)								
1	SNM ²	17.5	0.044**					0.898
2	TKW	-347.6	0.045**	7.79**				0.986
3	BIO	-324.5	0.042**	7.20**	0.028**			0.987
4	HI	-373.1	0.028**	4.98**	0.160**	344.17**		0.991
5	SS	-354.7	0.028**	4.87**	0.160**	348.37**	-0.304*	0.991

*, ** = significant at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively. PHT= plant height, BIO= above ground biomass, SN= spike number per m², GY= grain yield, TKW= 1000-seed weight, SNM²= seed number per m², SS= seed per spike, HI= harvest index.

effect of both traits on grain yield variation, in both row types, suggesting that barley grain yield is a complex character, influenced by spike number, seed number per spike, and 1000-seed weight. Seed number per spike had, however, a negative effect on grain yield (Table 3). Path coefficient analysis is a statistical method which permits to identify paths through which causal factors produce an effect on the caused trait. A causal factor may exert a direct effect of its own and also exert indirect effects through other causal factors with which it is correlated. In both row types, seed number per m² exerted a high and positive direct effect on grain yield; followed by above ground biomass, 1000-seed weight and harvest index. These results suggested that proper emphasis should be given on these traits while making selection. Boukerou and Rasmusson [24] proposed to breed for high biomass as a way to enhance barley grain yield. They noted that using harvest index as indirect selection criteria, to improve grain yield, was more efficient than direct selection. Shahinnia *et al.*, [23] observed that two and six-rowed barley lines were separated by the first two functions of the discriminant analysis, with harvest index among the traits having considerable loads in the linear discriminant function; suggesting that harvest index is a discriminating trait between two- and six-rowed lines. The direct effects of plant height, spike number and seed per spike were nil (Table 4). In two-rowed lines, all the measured traits, excepted 1000-seed weight, exerted a positive and sizeable indirect

effects via seed number per m². Similar pattern of effect was observed within six-rowed lines, with the exception that 1000-seed weight and seed number per spike had no indirect effect via seed number per m². Spike number and seed number per m², in two-row lines, and the same traits with plant height and 1000-seed weight, in the six-rowed group of lines, exerted sizeable indirect effects on grain yield via above ground biomass (Table 4). Principal component analysis was conducted with two and six-rowed lines altogether. The first two components separated fairly well the two groups of lines, explaining 70.31% of total variation (Figure 1). Difference in yielding ability among lines is mainly explained by differences in seed number per m² and above ground biomass which are correlated with component 1; but differences in spike number per m², 1000-seed weight, harvest index and seed per spike, which are related to component 2, discriminate between row types (Figure 1). These results indicated that spike number, 1000-seed weight, harvest index and seed per spike are strongly influenced by row type.

The cluster analysis separated the 450 lines into three major groups (Figure 2, Table 5). Cluster one (C₁) is made of six-rowed lines, cluster two (C₂) is made of two-rowed barley lines, but cluster three (C₃) is mixture of two- and six-rowed lines. The most discriminating trait between clusters are above ground biomass, grain yield, seed number per m² and seed per spike (Table 5, Figure 2). The results of the present study indicated high phenotypic variation

Table 4: Direct (diagonal) and indirect effects of different characters on grain yield of two and six-rowed barley lines.

	PHT	BIO	SN	TKW	SNM ²	KS	HI	r _{BDF}
Two-rowed barley lines (n =306)								
PHT	0.000 ^{ns}	0.091	-0.004	0.017	0.234	-0.004	-0.018	0.315**
BIO	0.000	0.233**	-0.013	0.034	0.667	-0.005	-0.022	0.894**
SN	0.000	0.181	-0.017 ^{ns}	0.002	0.676	0.002	0.012	0.856**
TKW	0.000	0.048	0.000	0.164**	-0.002	0.001	0.001	0.212*
SNM ²	0.000	0.201	-0.015	0.000	0.774**	-0.008	0.019	0.971**
SS	0.000	0.057	0.001	-0.006	0.279	-0.021 ^{ns}	0.027	0.337**
HI	0.000	-0.052	-0.002	0.002	0.148	-0.006	0.100**	0.190*
Six-rowed barley lines (n =144)								
PHT	-0.018 ^{ns}	0.211	-0.017	0.059	0.256	0.003	-0.01	0.484**
BIO	-0.01	0.379**	-0.036	0.055	0.538	0.005	-0.009	0.923**
SN	-0.007	0.331	-0.041 ^{ns}	0.02	0.575	0.01	0.035	0.922**
TKW	-0.006	0.113	-0.004	0.186**	-0.046	0.012	-0.028	0.227*
SNM ²	-0.007	0.323	-0.037	-0.013	0.632**	-0.002	0.053	0.948**
SS	0.002	-0.064	0.014	-0.071	0.032	-0.031 ^{ns}	0.039	-0.080 ^{ns}
HI	0.001	-0.022	-0.01	-0.035	0.226	-0.008	0.149**	0.301**

*, ** = significant at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively. PHT= plant height, BIO= above ground biomass, SN= spike number per m², GY= grain yield, TKW= 1000-seed weight, SNM²= seed number per m², SS= seed per spike, HI= harvest index.

Table 5: Cluster mean values of the measured traits.

	PHT	BIO	SN	GY	TKW	SNM ²	SS	HI
Cluster ₁	89.6	822.9	169.9	336.6	46.9	7213.4	43.5	0.41
Cluster ₂	85.2	574.8	191.8	227.6	49.5	4635.5	24.7	0.40
Cluster ₃	86.8	666.1	188.2	258.0	48.8	5393.0	29.5	0.38

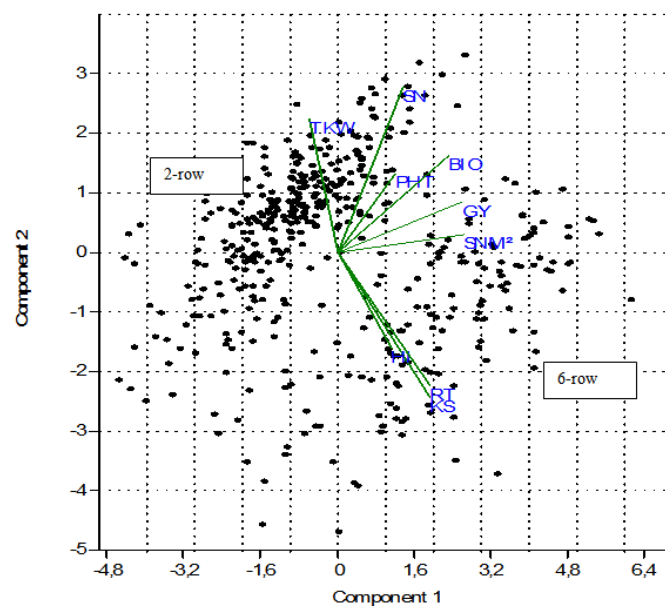


Fig. 1: PCA Biplot showing the relationships between traits within 2 and 6 rowed barley lines (47.62% variation explained by component 1 and 22.69% by component component 2). PHT= plant height, BIO= above ground biomass, SN= spike number per m², GY= grain yield, TKW= 1000-seed weight, SNM²= seed number per m², SS= seed per spike, HI= harvest index.

for most traits within and between row types. In both row types, seed number per m² and 1000-seed weight explained almost 99.0% of the total yield variation; and seed number per m² exerted a high and positive direct effect on grain yield, followed by above ground biomass, 1000-seed weight and harvest index. Positive and sizeable indirect effects of most measured traits; were noted via seed number per m² and above ground biomass, in two and six -rowed lines. Principal component analysis indicated that spike number, 1000-seed weight, harvest index and seed per spike are strongly influenced by row type.

Cluster analysis separated the studied entries into three groups, two of which were highly divergent mainly for seed per spike and 1000-kernel weight; while the third one was composed of two and six-rowed entries.

This advantage could be explained by the ability of the six-rowed type to achieve high seed number per unit area as well as high seed number per spike. These results corroborated findings of Le Gouis *et al.*, [12] who reported that, on average, six-rowed lines out yielded two-rows by 4% under favorable growing conditions and by 11% under low yielding

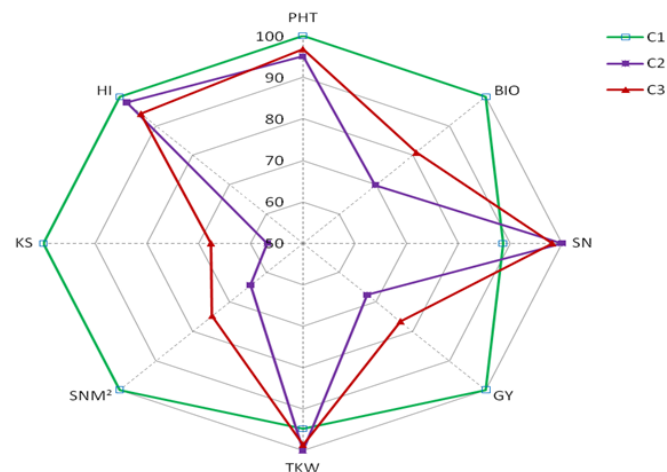


Fig. 2: Relative means of the measured traits of the three clusters formed between two and six- rowed barley.

conditions. This suggested that six-rowed were more adapted to low yielding environment. Garcia Del Moral *et al.*, [11] noted that two-rowed barley lines were more responsive to environmental changes than their six-rowed counterparts, which were more stable. In fact, these authors reported a regression coefficient value less than unity for the six-rowed lines, suggesting their better adaptation to low yield environments.

Blum [25] mentioned that differences between two and six-rowed barley genotypes in carbon exchange rate were mainly associated with differences in ear surface area and amount of awn, which were greater in six-rowed than in two-rowed barley. These adaptive traits give an advantage to the six- rowed over the two-rowed type, under semi-arid drought conditions. Le Gouis [26] suggested that greater translocation of assimilates, previously stored in vegetative parts could explain the higher yield ability of six-row genotypes. These results suggested as mentioned by Marquez-cedillo *et al.*, [27] that two-rowed barley lines are a potentially valuable germplasm source for six-row barley. Two-row x six-row crosses are usually made in an attempt to transfer desirable genes from one type to another; but under semi-arid conditions, such as those under which the present experiment was conducted, selection of six row genotypes will be preferred.

Conclusions:

A combination of statistical procedures was used to study variation and relationships between eight measured traits within and among two and six-rowed barley breeding lines. High phenotypic variation for most traits within and between row types was noted. In both row types, seed number per m² and 1000-seed weight explained almost 99.0% of the total yield variation. Seed number per m² exerted a high and positive direct effect on grain yield, followed by

above ground biomass, 1000-seed weight and harvest index. Principal component analysis indicated that spike number, 1000-seed weight, harvest index and seed per spike are strongly influenced by row type. On average, six-rowed lines out yielded two-rowed lines suggesting that six-rowed were more adapted to the low yielding environment under which the experiment was conducted and that selection should be directed toward six-rowed type.

References

1. Grando, S., H.G. Macpherson, 2005. Food Barley: Importance, uses and local knowledge. In proceedings of the International Workshop on Food Barley Improvement, 14-17 January 2002, Hammamet, Tunisia, pp: 156.
2. Bouzerzour, H., M. Dekhili, 1995. Heritabilities, gains from selection and genetic correlations for grain yield of barley grown in two contrasting environments. *Field Crops Research*, 41: 173-178.
3. Van Oosterom, E.J., S. Ceccarelli, J.M. Peacock, 1993. Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments. *Journal of Agricultural Science*, 121: 307-313.
4. Bouzerzour, H., A. Benmahammed, 1994. Environmental factors limiting barley (*Hordeum vulgare* L.) grain yield in the High Plateaus of Eastern Algeria. *Rachis*, 12: 14-19.
5. Annichiarico, P., F. Bellah, T. Chiari, 2005. Defining subregions and estimating benefits for a specific adaptation strategy by breeding programs: a case study. *Crop Sci.*, 45: 1741-1749.
6. Mekhlouf, A., H. Bouzerzour, A. Benmahammed, A. Hadj Sahraoui, A. Harkati, 2006. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse*, 17: 507-513.

7. Benmahammed, A., M. Kribaa, H. Bouzerzour, A. Djekoun, 2010. Assessment of stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) advanced breeding lines under semi arid conditions of the eastern high plateaus of Algeria. *Euphytica*, 172: 383-394.
8. Bouzerzour, H., A. Djekoun, A. Benmahammed, K.L. Hassous, 1998. Contribution de la biomasse aérienne de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement grain (*Hordeum vulgare* L.) en zone d'altitude. *Cahiers de l'Agriculture*, 8: 133-137.
9. Kadi, Z., F. Adjel, H. Bouzerzour, 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.
10. Menad, A., N. Meziani, H. Bouzerzour, A. Benmahammed, 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 & Technology* (Université Chlef) sous presse.
11. Garcia del Moral, L.F., M.B. Garcia del Moral, L. Molina-Cano, G.A. Slafer, 2003. Yield stability and development in two- and six-rowed winter barleys under Mediterranean conditions. *Field crops research*, 81: 109-119.
12. Le Gouis J., O. Delebarre, D. Beghin, E. Heumez, P. Pluchard, 1999. Nitrogen uptake and utilisation efficiency of two-row and six-row winter barley cultivars grown at two N levels. *Eur. J. Agron.*, 10: 73-79.
13. Ceccarelli, S., E. Acevedo, S. Grando, 1991. Breeding for yield stability in unpredictable environments: Single traits, interaction between traits, and architecture of genotypes. *Euphytica*, 56: 169-185.
14. Ceccarelli, S., 2008. Plant breeding and climate change. In Ceccarelli, S. and Grando, S. (eds) 2010. *Proceedings of the 10th International Barley Genetics Symposium*, 5-10 April 2008, Alexandria, Egypt, 16-29.
15. Benmahammed, A., K.L. Hassous, H. Bouzerzour, 2001. Synthèse des performances des nouvelles sélections d'orge (*Hordeum vulgare* L.) réalisées par les stations ITGC de Saida, Sidi Bel Abbés, Tiaret, Beni Slimane, Oued Smar, Khémis Miliana, Sétif et Khroub, au cours de la période 1980/81 à 1996/97. *Céréaliculture*, 36: 13-20.
16. Openstat, 2010. Free statistical software written by W.G. Miller.
17. Quinn, G.P., M.J. Keough, 2002. *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. Cambridge University Press, pp: 557.
18. Draper, N.R., H. Smith, 1981. *Applied regression analysis*. 2nd edition. Wiley series in probability and mathematical statistics. John Wiley & Sons. N.Y., pp: 709.
19. Dewey, D.R., R.H. Lu, 1959. A correlation and path coefficient analysis of components of crested wheat grass seed production. *Agro. J.*, 51: 515-518.
20. Garcia del Moral, L.F., J.M. Ramos, M.B. Garcia del Moral, P. Jimenez-Tejada, 1991. Ontogenetic approach to grain production in spring barley based on path-coefficient analysis. *Crop Sci.*, 31: 1179-1185.
21. Hammer, O., D.A.T. Harper, P.D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4: 9.
22. Kolodinska-Brantestam, A., R. von Bothmer, I. Rashal, M. Gullord, S. Martynov, J. Weibull, 2008. Variation of agronomic traits in nordic and baltic spring barley. In Ceccarelli, S. and Grando, S. (eds) 2010. *Proceedings of the 10th International Barley Genetics Symposium*, 5-10 April 2008, Alexandria, Egypt, 39-29.
23. Shahinnia, F., A.M. Rezai, B.E. Sayed Tabatabaei, 2005. Variation and path coefficient analysis of important agronomic traits in two- and six-rowed recombinant inbred lines of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Czech J. Genet. Plant Breed.*, 41: 246-250.
24. Boukerou, L., R.C. Rasmusson, 1990. Breeding for high biomass yield in spring barley. *Crop Science*, 30: 31-35.
25. Blum, A., 1985. Photosynthesis and transpiration in leaves and ears of wheat and barley varieties. *Journal of experimental botany*, 36: 432-440.
26. Le Gouis, 1993. Grain filling and shoot growth of two-row and six-row winter barley varieties. *Agronomie*, 13: 545-552.
27. Marquez-Cedillo, L.A., P.M. Hayes, A. Kleinhofs, W.G. Legge, B.G. Rossbagle, K. Ato, S.E. Vilrich, D.M. Wesenberg, 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.

تهدف هذه الدراسة كمرحلة أولى الى تقييم الاختلافات الظاهرة في المؤشرات الزراعية المستعملة لتقييم الكفاءة و التأقلم في الشعير ذو خطين و ستة خطوط تحت الظروف شبه الجافة لتمييز الأصناف الكفوة و المتأقلمة. تمت هذه الدراسة خلال الموسمين 2010/2009 و 2011/2010 باستخدام 450 سنبلة لسلاسلات من الجيل الثالث و 50 سلالة من الجيل الرابع و خمسة أصناف كشواهد وفق التصميم التجريبي المتصاعد. أظهرت النتائج تغيرات معتبرة في قيم المؤشرات المدروسة في كل من سلاسلات الشعير ذات الخطين و ستة خطوط. تشير النتائج أن الانتخاب المباشر أكثر فعالية من أجل تحسين المردود مقارنة بالانتخاب غير المباشر الأحادي و المتعدد المؤشرات، في حين الإثنيين معا يوضحان مدى تأقلم سلاسلات الشعير ذات ستة خطوط. يصعب تحديد المؤشر الأكثر فعالية في الانتخاب و ذلك للاختلاف في الزمان و المكان. تتمثل الاستراتيجية الأمثل من أجل تحسين المردود و التأقلم في تجميع أكبر عدد ممكن من الجينات الملائمة في السلاسلات الناتجة عن التصلبات أباء تنتمي للشعير ذو الستة خطوط. كمرحلة ثانية، العمل المستعمل فيها و الذي تمت دراسته في إيطاليا من أجل اختبار مدى فعالية الاختبارات المبكرة على شتلات من الشعير من أجل التمييز بين السلاسلات المحتملة و الحساسة لكل من الصدمة الحرارية باستعمال تقنية الاستشعاع في 16 سلالة و 5 أصناف كشاهد، و الإجهاد المائي من خلال تقدير تغيرات فعالية استعمال الماء لإنتاج الكتلة الحيوية في 22 سلالة و 7 أصناف. أظهرت النتائج استجابات مختلفة لكل من الأصناف و السلاسلات المختبرة بالنسبة لجميع المؤشرات المدروسة (F0, Fv, Fm, Fv/Fm, WUE et Bio). أظهرت الأصناف المحلية قدرات تحمل معتبرة للصدمة الحرارية. مكنت كمية الماء المستهلكة من تحديد و تمييز الأصناف و السلاسلات المسرفة و المقتصدة، هذه الأخيرة حسنت من فعالية استعمالها للماء بحوالي 68% من أجل إنتاج كمية كتلة حيوية مساوية للكمية الناتجة في حالة غياب الإجهاد. عموما تظهر هذه الدراسة أن مثل هذه الاختبارات غير مكلفة و سهلة الاستعمال و تسمح بانتخاب سريع لسلاسلات مقاومة و في مراحل نمو جد مبكرة.

الكلمات المفتاحية: الشعير، شبه جاف، الإجهاد المائي، الاستشعاع، صدمة حرارية.

Résumé général

L'objectif de cette étude est, dans un 1^{er} temps, d'évaluer la variabilité phénotypique des caractères agronomiques impliqués dans la performance et l'adaptation, chez les orges (*Hordeum vulgare* L.) à 2 et à 6 rangs, sous conditions semi- arides et de caractériser les géotypes performants et adaptés. L'expérimentation a été réalisée, en 2009/2010, 2010/2011, sur 450 épis-lignées F3 et 50 lignées F4 et 5 témoins, dans un dispositif expérimental augmenté. Les résultats montrent une variabilité appréciable au sein des deux populations (2 et 6 rangs) pour l'ensemble des variables mesurées. Pour améliorer le rendement en grains, la sélection directe s'est montrée plus efficace que celle indirecte mono et multi caractères mais les deux ont une réponse qui confirme l'adaptation des orges à 6 rangs. Mais il est difficile de prévoir le caractère qui a le plus d'effet en sélection au cours d'une année ou dans un lieu donné. Néanmoins la stratégie suggérée, pour améliorer le rendement et l'adaptation et accumuler les gènes favorables chez les descendants, se base sur l'utilisation en croisements des géniteurs à 6 rangs. Dans un 2^{ème} temps, un travail réalisé en Italie portant sur l'efficacité des tests précoces sur plantules dans la distinction des géotypes tolérants et sensibles, au choc thermique par la mesure de la fluorescence sur 16 lignées et 5 témoins et au stress hydrique par l'efficacité d'utilisation d'eau pour production de biomasse sur 22 lignées et 7 cultivars. Les résultats ont montré que les variétés testées présentent des réponses variables pour tous les paramètres mesurés (F0, Fv, Fm, Fv/Fm, WUE et Biomasse). Les cultivars locaux sont parmi les tolérants au choc thermique. La quantité d'eau consommée a permis de sélectionner les géotypes dépensiers et économes, ces derniers améliorent la WUE d'environ 68% pour une même biomasse accumulée en absence de stress. Ces tests sont peu coûteux, faciles à mettre en œuvre et permettent de trier et d'identifier les lignées tolérantes eu stade plantule.

Mots clés : *Hordeum vulgare*, semi-aride, stress hydrique, fluorescence, choc thermique.

Abstract

The objective of this study is, in a first time, to assess the phenotypic variability of the agronomic traits involved in yield performance and adaptation of 2-rowed and 6-rowed barley (*Hordeum vulgare* L.), under semi-arid condition; and to depict high yield potential and adapted genotypes. The experiment was conducted in 2009/2010 and 2010/2011, in an augmented design by using 450 F3 fertile tillers, 50 F4 lines and 5 checks. The results show a significant variability in both barley populations (2-row and 6-row barley) for all of the measured variables. To improve grain yield, direct selection was more effective than indirect single and multi-traits selection, nevertheless both have a response that confirms the adaptation 6-row barley type. However, it is difficult to predict a selection trait that has the greatest effect in yield within one year and/or in a specific location. Nevertheless, the suggested strategy to improve the yield performance, adaptation and to accumulate favorable genes in the off spring, is based on the use of 6-row barley genotypes in the crossing blocks. In a second time, a study was performed in Italy in order to study the effectiveness of early seedling tests to discriminate the tolerant and the susceptible genotypes to thermal shock by measuring the fluorescence of 16 lines and 5 checks; and water stress by the mean of water use efficiency for biomass production in 22 lines and 7 cultivars. The results showed that the varieties tested exhibit different responses to the parameters measured (F0, Fv, Fm, Fv/Fm, WUE and biomass). Local cultivars appear among the tolerant genotypes to thermal shock. The amount of water consumed was used to select the inefficient genotypes and the efficient ones; the efficient genotypes improve WUE by around 68% for the same biomass accumulated without stress. These tests are less expensive, easy to implement and allow to identify tolerant lines at seedling stage.

Key words: *Hordeum vulgare*, semi-arid, water stress, fluorescence, thermal shock.