



DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

N°...../SNV/2020

THÈSE

Présentée par

KARKOUR Larbi

Pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière : **AGRONOMIE**

Spécialité : **PRODUCTION VÉGÉTALE**

THÈME

**Développement par dihaploïdisations de nouveaux cultivars d'orge
(*Hordeum vulgare* L.) tolérants à la sécheresse dans les régions semi-arides
d'Algérie.**

Soutenu publiquement le 25/02/2021

DEVANT LE JURY

Président	HAFSI Miloud	Pr. UFA Sétif 1
Directeur	FENNI Mohammed	Pr. UFA Sétif 1
Co-directeur	BENBELKACEM Abdelkader	Dir Rech INRAA/UR Constantine
Examineurs	MEKHLOUF Abdelhamid	Pr. UFA Sétif 1
	GUENDOZ Ali	MRA. INRAA/UR Sétif
	FELLAHI Zine El Abidine	MCA. UMEE. Bordj Bou Arréridj

Remerciements

Louange à « Allah » qui m'a guidé et inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait jamais aboutit.

Mes grands remerciements s'adressent au Professeur **Fenni Mohammed** a accepté d'encadrer ce travail, malgré ses multiples charges, tout le long de ces années d'études. Je le remercie pour son aide, sa patience, ainsi que ses conseils précieux qui ont conduit à l'achèvement de ce travail. Je lui exprime ici ma grande reconnaissance pour son encadrement et accompagnement depuis mon ingéniorat jusqu'à mon doctorat.

Mes sincères remerciements s'adressent au Monsieur **Benbelkacem Abdelkader**, Directeur de Recherche à l'INRAA/UR Constantine d'avoir acceptée d'être co-directeur de thèse, qui m'a beaucoup aidé dans la réalisation de ce travail et de m'avoir prêté aide et assistance pour finaliser le document, je le remercie de sa disponibilité pour m'éclairer de ses compétences.

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude, mes remerciements et mon profond respect aux membres du jury :

Professeur **Hafsi Miloud**, de l'Université de Sétif1 qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider ce jury. Je le remercie aussi de m'avoir toujours encouragé et conseillé.

Professeur **MEKHLOUF Abdelhamid**, de l'université Sétif1 qui m'a fait l'honneur d'être membre de ce jury et a pris sur son temps pour lire, examiner et juger ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

Dr **Guendouz Ali**, MRA à l'INRAA/UR Sétif qui m'a honoré en acceptant d'examiner ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma haute considération.

Dr **Fellahi Zine El Abidine**, MCA à l'université de Bordj Bou Arreridj qui m'a fait l'honneur d'accepter de participer a mon jury. Qu'il trouve ici l'expression de ma haute considération.

Je remercie également Dr **Ramla Dalila**, de l'INRA d'Alger, qui m'a beaucoup aidé dans la réalisation de ce travail et de m'avoir fourni la semence des lignées d'orge.

Mes sincères remerciements s'adressent à tous les membres de station de l'ITGC de Sétif, d'El khroub et du CNCC de Sétif pour le soutien et l'aide apportés lors de la mise en place des essais d'évaluations.

Je remercie également l'ensemble du personnel de laboratoire de culture *in vitro* du centre de recherche en biotechnologie de Constantine (CRBt).

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je clos enfin ces remerciements en dédiant cette thèse de Doctorat à mes parents, mon épouse, mes enfants et à tous les membres de ma famille, particulièrement à ma Mère que j'ai eu la chance d'avoir à mes côtés, qui m'a soutenu et qui a toujours cru en moi.

KARKOUR Larbi

Liste des tableaux

Tableau 1 : Production mondiale d'orge en millions de tonne de 2011 à 2016.	8
Tableau 2 : Production des céréales et d'orge en Algérie de 1900 à 2016.	10
Tableau 3 : Composition des solutions nutritives utilisées pour l'irrigation.	26
Tableau 4 : Milieux de culture utilisés.	30
Tableau 5 : Analyse de la variance pour quatre paramètres d'androgène de trois cultivars d'orge.	33
Tableau 6 : Réponse androgène de trois génotypes d'orge en culture d'anthères	35
Tableau 7 : Effets de différents prétraitements (La valeur moyenne \pm ES) sur les quatre paramètres androgéniques.	38
Tableau 8 : Bilan général de la production de lignées haploïdes doublées (HDs)	44
Tableau 9 : Liste des génotypes utilisés (4 variétés parentales et 66 lignées haploïdes doublés).	51
Tableau 10 : Analyse de la variance de quinze caractères agronomiques pour soixante-six lignées haploïde double (HDs) d'orge et quatre parents évalués à deux sites (El-khroub et Sétif).	60
Tableau 11 : Valeurs moyennes des quinze caractères agronomiques dans 66 lignées haploïdes doubles (HDs) et leurs 4 parents évalués à la station d'El-khroub et Sétif.	63
Tableau 12 : Valeurs moyennes, coefficient de variation (%) de douze caractères pour 66 lignées doubles haploïdes (HDs) d'orge et leurs parents évalués dans deux régions (Constantine et Sétif).	67
Tableau 13 : Corrélations inter- caractères mesurées chez 66 lignées haploïdes doubles (HDs) d'orge et leurs parents évalués dans deux régions (El-khroub et Sétif).	71
Tableau 14 : Valeur propre, pourcentage cumulé et coefficients de corrélation des douze caractères mesurés chez les populations de l'haploïdes doublées d'orge et leurs parents avec les quatre axes de l'analyse en composantes principales.	74
Tableau 15 : Liste des génotypes utilisés (4 variétés parentales et 58 lignées haploïdes doublés).	87
Tableau 16 : Description des environnements expérimentaux.	88
Tableau 17 : Carrés moyens de l'analyse de la variance du rendement grain mesuré par environnement.	90
Tableau 18 : Les lignées d'orge double haploïde (HDs) les plus performantes et les quatre parents pour le rendement en grains (q/ha) évalués dans trois environnements.	92
Tableau 19 : Analyse de variance combinée pour les données de rendement en grains de cinquante-huit lignées haploïde double (HDs) d'orge et quatre parents évalués à trois environnements.	93

Liste des figures

Figure 1 : Épis d'orges à deux et à six rangs.	5
Figure 2 : Inflorescence, fleur et pièces florales d'orge (<i>Hordeum vulgare</i> L. cv. Cork).	5
Figure 3 . Architecture d'une plantule d'orge au stade juvénile.	6
Figure 4 . Architecture d'une plante d'orge au stade adulte.	6
Figure 5 : Schéma de l'amélioration conventionnelle, et par Haploïde double, chez l'orge. À partir d'un croisement F1.	14
Figure 6 : Méthodes d'obtention de HD chez les céréales qui ont recours à la culture in vitro	16
Figure 7 : Protocole de production d'HDs par la culture d'anthères.	29
Figure 8 : Structures morphogénétiques obtenues en androgenèse.	32
Figure 9 : Taux d'induction (%) de la culture d'anthères par génotype (tous prétraitements confondus).	37
Figure 10 : Taux régénération (%) de la culture d'anthères par génotype (tous prétraitements confondus).	37
Figure 11 : Effet du prétraitement au froid sur le taux d'induction (Ti%) et la régénération (Tr%) androgénique pour les trois génotypes.	40
Figure 12 : dispositif expérimental au niveau de l'ITGC El-khroub.	53
Figure 13 : dispositif expérimental au niveau de l'ITGC Sétif.	53
Figure 14 : Pluviométrie et températures moyennes des 35 dernières années et celles de la dernière campagne enregistrées sur le site ITGC de Sétif.	58
Figure 15 : Pluviométrie et températures moyennes des 35 dernières années et celles de la dernière campagne enregistrées sur le site ITGC d' El-khroub.	58
Figure 16 : Représentation des variables mesurées sur le plan formé par les axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales.	75
Figure 17 : Représentation graphique des classes dans le plan factoriel 1-2, obtenu à partir des données des deux sites.	76
Figure 18 : Représentation graphique des classes dans le plan factoriel 1-3, obtenu à partir des données des deux sites.	78
Figure 19 : Groupage des différentes populations d'haploïdes doublées (HDs) d'orge et leurs parents sur la base des douze caractères mesurés.	80
Figure 20 : GGE biplot représentant les vecteurs d'environnement (génotype et GEI) pour montrer les similitudes entre les environnements - test dans la discrimination des génotypes.	96
Figure 21 : GGE biplot représentant le classement des environnements en fonction de la représentativité et la capacité discriminante.	98
Figure 22 : GGE biplot représentant les génotypes performants dans chaque sous-région "which-won-where".	101
Figure 23 : GGE biplot représentant le classement des génotypes en fonction de la performance et de la stabilité.	103
Figure 24 : GGE biplot représentant la localisation du génotype idéal.	104
Figure 25 : Comparaison des performances des génotypes sur le site E Rmada (2018/2019)	105
Figure 26 : Comparaison des performances des génotypes sur le site E Sétif (2017/2019)	106
Figure 27 : Comparaison des performances des génotypes sur le site E Constantine (2017/2019).	106
Figure 28 : GGE biplot représentant l'ordre des environnements - test par rapport à la performance du génotype « I ».	107

Liste des abréviations

%: Pourcentage

ANOVA : Analysis of Variance

CRBT : Centre de recherche en Biotechnologie Constantine.

HDs: Haploïdes doublées

E: Environnement

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

G : Génotype

G*E : Interaction génotype*Environnement

ha: hectare

ICARDA: International Centre of Agricultural Research in Dry Areas

INRAA : Institut National des Recherches Agronomiques

IR : Indice de récolte.

ITGC : Institut Technique des Grand Culture.

MADR : Ministère de l'agriculture et du développement rural

mm : millimètre

MS : matière sèche

Mt : million de tonnes

NE/m² : Nombre d'épis par mètre carré

NG/E : Nombre de grains par épi

NG/m² : Nombre de grains par mètre carré

NP/m² : Nombre de plants par mètre carré

OAIC : L'Office National Interprofessionnel des Céréales.

ONM : office national de météorologique

PMG : Poids de mille grains

PPDS : la plus petite différence significative

qx : Quintaux

RDT : Rendement grains

G1 :Groupe1

G2 :Groupe2

G3 :Groupe3

Df =Ddl degré de liberté

SS=SCM somme des carrés des écarts

MS=CME carré moyen des écarts

ملخص

في الجزائر، يعتبر مردود محاصيل الشعير منخفض وغير مستقر، حيث يتدخل استخدام التشكيل الجيني بشكل مفيد في تكوين أصناف جديدة. أظهر اختبار الاستجابة باستخدام زراعة المنابر لثلاثة أصناف من الشعير : Igrï، Tichedrett و Saida183 ، والتي خضعت للمعاملة الأولية بالبرودة 4 م⁰ (في الظلام) لمدة 7 إلى 14 يومًا و 21 إلى 28 يومًا، أن الصنف والمعاملة الأولية بالبرودة عند 4 م⁰ المسبقة كان لها تأثير كبير على معاملات التشكيل الجيني. حيث لوحظ أن أفضل معدل إنتاج النباتات الخضراء في الصنف Igrï (34.41%) و في الصنف Tichedrett (21.25%) ، ولاحظنا أيضا أن المعاملة الأولية بالبرودة 4 م⁰ لمدة 21 إلى 28 يومًا أفضل من المعاملة الأولية لمدة 7 الي 15 يومًا في معدل تكوين الجنين و إنتاج النباتات الخضراء. في سياق الحصول على سلالة أحادية الصيغة الصبغية (HDs) عن طريق زراعة المنابر، تم استخدام هجن الجيل الثاني (F2) ، الناتجة من التهجين بين صنفين محليين وصنف مستورد. تم استزراع ما مجموعه 1260 منبر، مما أعطي 15.16% معدل متوسطي للتكوين الجيني، تم أيضا إنتاج تسعة وعشرين (29) نبتة من هجين Tichedrett × Express وثلاثة عشر (13) من هجين Saida183 × Express. على الرغم من أن النباتات الخضراء الناتجة منخفضة نسبيًا، إلا أنها تشير إلى أن هجين Tichedrett × Express استجاب بشكل أفضل من هجين Saida183 × Express. وتم تقييم ستة وستين (66) سلالة أحادية الصيغة الصبغية (HDs) من الشعير بالإضافة إلى الأصناف الأبوية ب 12 صفات زراعية ، الذي تم تنفيذه علي مستوي محطتين تجريبيتين ITGC (سطيف و فسنطينه)، يكشف تحليل التباين عن تأثير كبير في التركيب الوراثي و التفاعل النمط الوراثي مع البيئة لجميع الصفات المقاسة ، باستثناء مساحة الورقة والوزن النوعي للأوراق، أظهر هذا التحليل أيضًا تأثيرًا بيئيًا معنويًا لجميع الخصائص المدروسة باستثناء عدد السنبال لكل متر مربع، طول الصفا للسنبلة ووزن النوعي للأوراق ، يبرز تحليل المكون الرئيسي (ACP) والتصنيف الهرمي التصاعدي (CHA) ثلاث مجموعات ومن بين هذه المجموعات نجد مجموعة تتميز بأعلى قيم مؤشر المحاصيل، ووزن 1000 حبه والمردود الحبي، والتي تتكون من السلالات: HD10، HD11، HD38، HD39، HD46، HD126 و HD119 التي تعتبر الأفضل لتحسين الإنتاجية. أظهر تحليل GGE-biplot لثمانية وخمسين (58) سلالة (HDs) بالإضافة إلى الأصناف الأبوية، أن أداء السلالات HD35، HD74، HD49 و الصنف الأبوي Exito كان ضعيفاً في جميع مواقع التقييم، وتم تحديد السلالات HD52، HD94، HD98، HD92، HD84 و HD90 على أنها متكيفة ومستقرة مع مستوى جيد من الإنتاج والسلالة (Tichedrett x Express) HD52 باعتبارها السلالة الأكثر ملائمة والأقرب إلى النمط الجيني "مثالي" من حيث الإنتاج والاستقرار.

الكلمات المفتاحية: الشعير، التشكيل الجيني، قدره، استقرار، شبه جاف.

Résumé

En Algérie, les rendements de la culture d'orge sont instables et de faibles niveaux, et l'utilisation d'haploïde intervient très avantageusement dans la création variétale. L'essai de la réponse andro-génétique de trois cultivars d'orge : Saida183, Tichedrett et Igri, soumis à deux prétraitements au froid à 4°C pendant 7 à 14 jours et 21 à 28 jours a montré que le génotype et les prétraitements des épis au froid à 4°C ont eu un effet significatif sur les paramètres d'androgenèse. Le meilleur taux de régénération des plantes vertes a été observé chez le génotype Igri (34,41%) et Tichedrett (21,25%), et le prétraitement des épis à 4°C pendant 21 à 28 jours produit plus de cals et de plantes régénérées que le prétraitement au froid pendant 7 à 14 jours. Des lignées en ségrégation (F2) ont été utilisées pour la production de lignées haploïdes doublées (HDs) par culture d'anthères, un total de 1260 anthères a été mis en culture donnant un taux d'induction moyen de néoformations de 15,16%, l'hybride Tichedrett × Express a mieux répondu que l'hybride Saida183× Express avec 29 plantules régénérées et 13 plantules respectivement. Les 66 lignées haploïdes doublées (HDs), issues de la culture d'anthères à partir d'hybrides Tichedrett × Express, Tichedrett ×Plaisant et Tichedrett ×Exito et leurs parents, ont été évaluées pour leurs caractères agronomiques dans deux stations expérimentales d'ITGC (Sétif et Constantine). L'analyse de la variance révèle un effet significatif du génotype et de l'interaction génotypes x environnement pour l'ensemble des caractères mesurés, hormis la surface foliaire et le poids spécifique foliaire. Cette analyse révèle également un effet environnemental significatif pour tous les caractères étudiés sauf le nombre des épis par m², la longueur des barbes et le poids spécifique foliaire. L'analyse en composantes principales (ACP) et la classification hiérarchique ascendante (CHA) font ressortir trois groupes dont le plus intéressant est caractérisé par les valeurs les plus élevées de l'indice de récolte, poids 1000 grains et rendement en grains ; cependant, il est constitué des lignées : HD10, HD11, HD38, HD39, HD46, HD126 et HD119 qui sont les meilleures pour améliorer la productivité. L'analyse du GGE biplot au sein de 58 lignées (HDs) indique que les lignées HD49, HD74, HD35 et le génotype Exito performant médiocrement sur l'ensemble des sites d'évaluations, et les lignées HD52, HD94, HD98, HD92, HD84 et HD90 sont identifiées comme étant des lignées adaptées et stables avec un bon niveau de rendement, et la lignée HD52 (Tichedrett x Express) comme étant la lignée la plus favorable et la plus proche du génotype «idéal» en termes de potentiel de rendement et de stabilité.

Mots clefs : Orge, Haplo-diloïdisation, Performance, Stabilité, Semi-aride.

Abstract

In Algeria, barley crop yields are unstable and low levels, haploid plants production is a very useful technique for plant improvement as to create new varieties. The androgenetic responses of three genotypes barley (*Hordeum vulgare* L.): Saida183, Tichedrett and Igri, were observed after a 4°C cold pre-treatment of the spikes for 7-14 days and 21-28 days. This work made it possible to show that the genotype and the pre-treatment of the spikes in the cold at 4°C had a significant effect on the androgenesis parameters, The best rate of regeneration of green plants was observed in Igri (34,41%) and the Tichedrett genotype (21,25%), we noticed that pretreatment of the spikes at 4 °C for 21-28 days produced more calli and regenerated plants than the cold pretreatment for 7-14 days. In the context of obtaining doubled haploid lines (HDs) by androgenesis, segregating lines (F2) were used, A total of 1260 anthers was cultured giving an average induction rate of 15,16%, the Tichedrett × Express hybrid responded better than the Saida183 × Express hybrid, 29 lines were obtained from Tichedrett × Express hybrid and 13 lines from Saida183× Express hybrid. 66 doubled-haploid barley lines derived from F2 hybrids of 3 bi-parental single crosses, between the local variety Tichdrett and three variety (Express, Plaisant and Exito) were evaluated for their agronomic traits, at two experimental stations (ITGC Sétif and Constantine). Pooled analysis of variance across environments indicated the presence of highly significant genotype and genotype x locations interaction effect for all traits except leaf area and specific weight leaf, highly significant environment effect for all characters studied, except spikes number per m² and Awns length. Principal component analysis (PCA) and ascending hierarchical classification (CHA) brings out three groups a most interesting group characterized by the highest values of harvest index, thousand grains weight and Grain yield, however it is made up of the lines: HD10, HD11, HD38, HD39, HD46, HD126 and HD119 which are the best for improving productivity. The GGE biplot analysis in 58 lines (HDs) and their parents indicates that the HD49, HD74, HD35 lines and the Exito genotype perform poorly on all the evaluation sites, the HD52, HD94, HD98, HD92, HD84 and HD90 lines are identified as being adapted and stable lines with a good level of yield and the HD52 line (Tichedrett x Express) as being the most favorable line and closest to the genotype «Ideal" in terms of yield potential and stability.

Keywords: Barley, Haplo-diloïdisation, Performance, Stability, Semi-arid.

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I- Revue bibliographique	
1. Généralités sur l'orge.....	4
1.1. Présentation botanique.....	4
1.2. Croissance et développement	6
1.3. Importance et utilisation de l'orge.....	7
1.3.1 La production mondiale de l'orge.....	7
1.3.2. Culture de l'orge en Algérie.....	8
1.4. Contraintes auxquelles fait face la culture en Algérie.....	10
1.4.1. Un environnement caractérisé par divers stress abiotiques.....	10
1.4.2. Les stress biotiques.....	11
1.4.3. La contrainte variétale.....	12
2. Amélioration variétale.....	12
3. L'obtention d'haploïdes doublés.....	14
3.1. Présentation.....	14
3.2. Intérêts de produire des haploïdes doublés.....	15
3.3. Les techniques d'obtention d'HD.....	15
3.3.1. Méthode des croisements interspécifiques.....	17
3.3.2. Méthode de culture d'anthères.....	17
3.3.3. Méthode de culture de microspores isolées.....	18
3.4. Les facteurs influençant l'embryogenèse pollinique chez l'orge.....	19
3.4.1. Condition de culture des plantes-mères.....	19
3.4.2. La position de l'épi sur la talle.....	19
3.4.3. Le stade de récolte des épis.....	20
3.4.4. Le prétraitement des épis.....	20
3.4.5. Les milieux de culture.....	20
3.4.6. Les régulateurs de croissance.....	21
3.4.7. L'effet du génotype.....	22
Chapitre II. Réponse d'androgénique de trois cultivars d'orge	
Résumé.....	23

Introduction.....	24
1. Matériel et méthodes.....	25
1.1 Matériel végétal.....	25
1.2 Conditions de croissances des plants donneurs.....	25
1.3 Stade de prélèvement des épis	26
1.4 Prétraitement des épis, mise en culture des anthères et régénération de plantes	27
1.5 Acclimatation et pépinières d'observations des lignées HD1.....	28
1.6 Analyses statistiques et traitement des données.....	31
2. Résultats et discussion.....	31
2.1. Capacité d'androgènes des trois génotypes.....	32
2.1.1. Effet du génotype.....	34
2.1.2. L'effet de prétraitement des épis au froid.....	38
2.2. Bilan général de la production de lignées haploïdes doublées (HDs).....	41
3. Conclusion.....	46

Chapitre III. Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

Résumé.....	47
Introduction.....	48
1. Matériel et Méthodes.....	49
1.1. Description du site expérimental.....	49
1.2. Matériel végétal.....	50
1.3. Dispositif expérimental.....	50
1.4. Suivi et notations.....	54
1.5. Méthodes d'analyse statistique.....	55
2. Résultats et discussion.....	56
2.1. Caractéristiques climatiques des sites expérimentaux.....	56
2.1.1. Station de l'ITGC Sétif	56
2.1.2. Station de l'ITGC El-khroub.....	57
2.2. Comportement variétal.....	59
2.2.1. Effet le facteur génotype et l'environnement.....	59
2.2.2. Interaction environnement x génotypes.....	63
2.2.3. Corrélation entre les caractères.....	70
2.2.4. L'analyse en composantes principales (ACP).....	72

2.2.5. Les résultats obtenus par la classification hiérarchique ascendante	79
3. Conclusion.....	81

Chapitre IV : Analyse de l'interaction génotype x milieux du rendement des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge : application de modèle GGE-biplot.

Résumé.....	83
Introduction.....	84
1. Matériel et Méthodes.....	85
1.1. Matériel végétal.....	86
1.2. Dispositif expérimental.....	86
1.3. Analyse statistique.....	88
2. Résultats et discussion.....	90
2.1. Performances de rendement en grain des génotypes par environnement.....	90
2.2. Analyses de l'interaction $G \times E$ pour le rendement en grain.....	92
2.3. Etude de l'interaction $G \times E$ par le modèle GGE biplot.....	94
2.3.1 Décomposition de l'interaction $G \times E$	94
2.3.2. L'analyse GGE biplot.....	94
2.3.3 Discrimination et représentativité des sites d'évaluation.....	95
2.3.4. Définition des sous-régions et identification du meilleur génotype par zone	98
2.3.5. Performance, stabilité génotypique et le génotype idéal.....	101
2.3.6. Performance des génotypes par site.....	104
2.3.7. Classement des environnements bases sur la performance du génotype idéal	107
3. Conclusion.....	108
Conclusion générale.....	110

Références bibliographiques

Annexe

Introduction générale

Introduction générale

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est l'une des premières céréales domestiquées, représentant 5,5 à 6% de la production mondiale de céréales et 11,5 à 12% de la production de céréales secondaires (Pal *et al.*, 2012; Kumar *et al.*, 2013 ; Kumar *et al.*, 2014). En 2013, la superficie totale cultivée dans le monde a atteint 49,14 millions d'hectares, avec une production de 143 millions de tonnes métriques (FAO Stat, 2015).

En Algérie, l'orge (*Hordeum vulgare* L.) est la deuxième céréale en importance après le blé dur (Benmahammed, 2004). Cette culture joue un rôle important dans l'équilibre de l'économie algérienne, elle est susceptible de contribuer à l'accroissement de la production fourragère, en particulier dans les zones semi-arides où elle montre une adaptation par rapport aux autres céréales. Sa zone de culture se situe dans les étages bioclimatiques semi-arides à arides (Ait Abdallah *et al.*, 2010) aux conditions sévères et défavorables, caractérisées par des hivers froids, une pluviosité faible et irrégulière (entre 150 et 500 mm), des hautes températures, des vents chauds (sirocco) en fin de cycle et des gelées printanières tardives. Ces conditions ont une influence négative sur le niveau et la stabilité des rendements qui oscillent entre 11,06 qx/ha en années sèches et 27 qx/ha en années pluvieuses pour la période allant de 2000 à 2013 (MADR, 2014).

L'impact de ces conditions sévères et les stress qu'elles impliquent sur cette culture sont aggravés par une gamme variétale annuellement cultivée peu diversifiée. En effet, en plus du nombre de variétés homologuées et autorisées à la production relativement faible (19 variétés en 2004 et 28 en 2015), Selon Ait-Abdallah *et al.*, 2010, seules six variétés sont utilisées dans le circuit de production, cinq sont recommandées à la production et dix ont été retirées du circuit. Celle-ci comprend dix variétés introduites et quatre variétés issues de la sélection nationale.

Dans les régions à conditions de culture défavorables, Un moyen de lutte efficace et durable contre cette contrainte serait la création de cultivars offrant une plus grande tolérance à la salinité et la sécheresse. Malheureusement, les génotypes d'orge qui offrent le plus de résistance sont à faible type agronomique et cette résistance repose sur plusieurs gènes (Mesfin *et al.*, 2003). Cependant, la création de variétés tolérantes ou résistantes dotées de bonnes caractéristiques agronomiques nécessiter plusieurs cycles de sélection, chacun débutant avec un croisement et se terminant avec la sélection des descendants les plus performants. Ce processus exige de nombreuses années d'efforts car, avant de pouvoir sélectionner les descendants les plus performants, il faut assurer la fixation du paquet

génétique des progénitures au cours de plusieurs autofécondations successives (Laroche, 1997). Partant de ce constat, il devient important pour le sélectionneur d'utiliser les voies et moyens possibles pour réduire la durée du cycle de sélection.

La production de nouveaux cultivars de céréales à l'aide des techniques d'haplo-diploïdisation est en pleine expansion. En effet, ces techniques ont une répercussion importante dans le secteur agricole. Elles offrent la possibilité d'accélérer les programmes de sélection (Bonjean, 1995 in Laroche, 1997). Chez l'orge, la production rapide d'un matériel homogène dont les caractères génétiques sont fixés et stables caractérise les techniques d'haplo-diploïdisations. Cette caractéristique offre de très grands espoirs, car les délais nécessaires à la production de nouveaux cultivars de céréales fixées ou de nouvelles lignées fixées peuvent être raccourcis de deux à quatre années par rapport aux délais requis par les techniques conventionnelles.

Les techniques d'haplo-diploïdisation permettent de créer de nouvelles variétés fixées directement à partir d'hybrides F1 ou F2, ou à tout autre stade de sélection d'un programme d'amélioration (Xu, 1990). Une population de plantes haploïdes doublées (HDs) homozygotes, représentative de la variabilité des gamètes parentaux, peut être régénérée en un cycle seulement à partir des gamètes d'un individu hétérozygote (Bonjean, 1995 in Laroche, 1997). La culture d'anthères est une technique d'haplo-diploïdisation permettant de simplifier et de raccourcir les délais nécessaires à la production de nouveaux cultivars d'orge. Plus particulièrement, la maîtrise des méthodes conduisant à l'obtention des plantes haploïdes doublées chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) est un objectif d'une importance capitale pour l'état algérien en vue de l'amélioration variétale de cette espèce.

Il est important de mettre à profit ces avancées et de développer l'utilisation de tels outils en les intégrant aux méthodes classiques. Ceci permettra d'accroître l'efficacité des procédures d'obtention de nouvelles ressources recherchées pour les zones défavorables et variables : des génotypes à meilleurs niveau de stabilité et de rendement.

La présente contribution a pour objet d'étudier :

- la réponse androgénique de trois variétés d'orge : Saida, Tichedrett et Igri, sous les effets de deux prétraitements des épis au froid à 4°C et l'utilisation des lignées en ségrégation (F2), pour un essai d'obtention d'haploïdes doublés (HDs) par culture d'anthères.

- Évaluation des lignées d'haploïdes doublées (HDs) d'orge à six rangs, issues de la culture d'anthères et leurs parents, pour leurs caractères agronomiques, sur deux sites dans des conditions pluviales des zones semi-arides algériennes.
- L'analyse de l'interaction Génotype x Environnement par l'application de la technique de GGE biplot au sein d'une population d'haploïdes doublés (HDs).

En général ce manuscrit est divisé en quatre chapitres distincts, le chapitre I est une revue bibliographique qui présente la culture de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) et son amélioration génétique par les méthodes haplo-diploïdisation. Le chapitre II est entièrement consacré à l'étude de la capacité d'androgenèse de trois cultivars d'orge sous l'effet de deux prétraitements des épis au froid à 4°C et l'utilisation des lignées en ségrégation (F2), issues de croisements entre deux variétés locale cvs. Tichedrett, Saida182 et la variété introduite cvs. Express, pour un essai d'obtention d'haploïdes doublés (HDs) par culture d'anthères. Le chapitre III évalue les lignées d'haploïdes doublées (HDs) d'orge et leurs parents, pour leurs caractères agronomiques, sur deux sites dans des conditions pluviales des zones semi-arides algériennes. Le chapitre IV analyse l'interaction Génotype x Environnement en utilisant la méthode graphique GGE biplot. Enfin une conclusion générale, portant sur les résultats obtenus à partir des différents chapitres réalisés, suivies de la liste de références bibliographiques.

Chapitre I : Revue bibliographique

Chapitre I. Revue bibliographique

1. Généralités sur l'orge (*Hordeum vulgare* L.)

1.1. Présentation botanique

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est une espèce diploïde ($2n=14$), qui possède sept paires de chromosomes (Thomas et Pickering, 1988), et autoféconde, qui appartient à la famille des *Poaceae*. Plante herbacée, annuelle, domestiquée depuis plus de 10 000 ans, elle serait la plus ancienne céréale cultivée (Saisho et Purugganan, 2007). On distingue deux sous-espèces, selon que l'épi porte deux ou six rangées de grain (Mazoyer et al., 2002). Chez l'orge à deux rangs, *H. vulgare*ssp. *distichum*, chaque nœud du rachis compte trois épillets dont un seul est fertile et produit une graine. L'alternance de nœuds d'un côté et de l'autre du rachis produit un épi à deux rangs. Chez l'orge à six rangs, *H. vulgare*ssp. *hexastichum*, les trois épillets de chaque nœud contiennent des fleurs fertiles ce qui donne naissance à trois rangées de grains de chaque côté du rachis (Figure1). Vu l'importance de ce caractère en agriculture, cette variation a été définie récemment. Le gène principal qui détermine si une orge sera à deux rangs ou à six rangs est *Vrsl* et il a été cloné par Komatsuda et al. (2007). Cette même équipe avait cartographié le gène *Vrsl* sur le chromosome 2 et a démontré que la protéine codée par ce dernier empêche le développement des épillets latéraux. Une orge qui porte l'allèle dominant (*Vrsl*) se caractérise par un épi à deux rangs. Une orge à six rangs est porteuse de l'allèle récessif (*vrsl*) qui comporte une mutation et qui occasionnera la perte de fonction de la protéine codée. On peut également classer l'orge en fonction de son cycle végétatif, c'est-à-dire selon qu'elle est semée à l'automne ou au printemps. L'orge d'hiver a un cycle végétatif de 210 à 270 jours, pour une somme de 1900 à 2000 degrés-jours (Moule, 1980) avec un zéro de germination proche de 0°C. Le cycle végétatif de l'orge de printemps varie entre 90 et 150 jours, suivant le génotype, le climat et la latitude, ce qui correspond à une somme de 1500 à 1700 degrés-jours.

La fleur d'orge est constituée d'un verticille de trois anthères, chacune constituée d'une anthère fixée au filet, et d'un ovaire surmonté de deux stigmates plumeux (Figure 2) (Jestin1992 ; Von Bothmer et al. 1995). L'anthère représente l'organe reproducteur mâle de la fleur qui produit les grains de pollen. La floraison débute vers le tiers supérieur de l'épi puis s'étend à l'épi entier. L'orge est le plus souvent autogame, c'est à dire que les anthères émettent une grande partie de leur pollen dans leur fleur d'origine, induisant une autopollinisation (Nuutila et al., 2000) .



Figure 1 : Épis d'orges à deux et à six rangs. (Esteves, 2014).

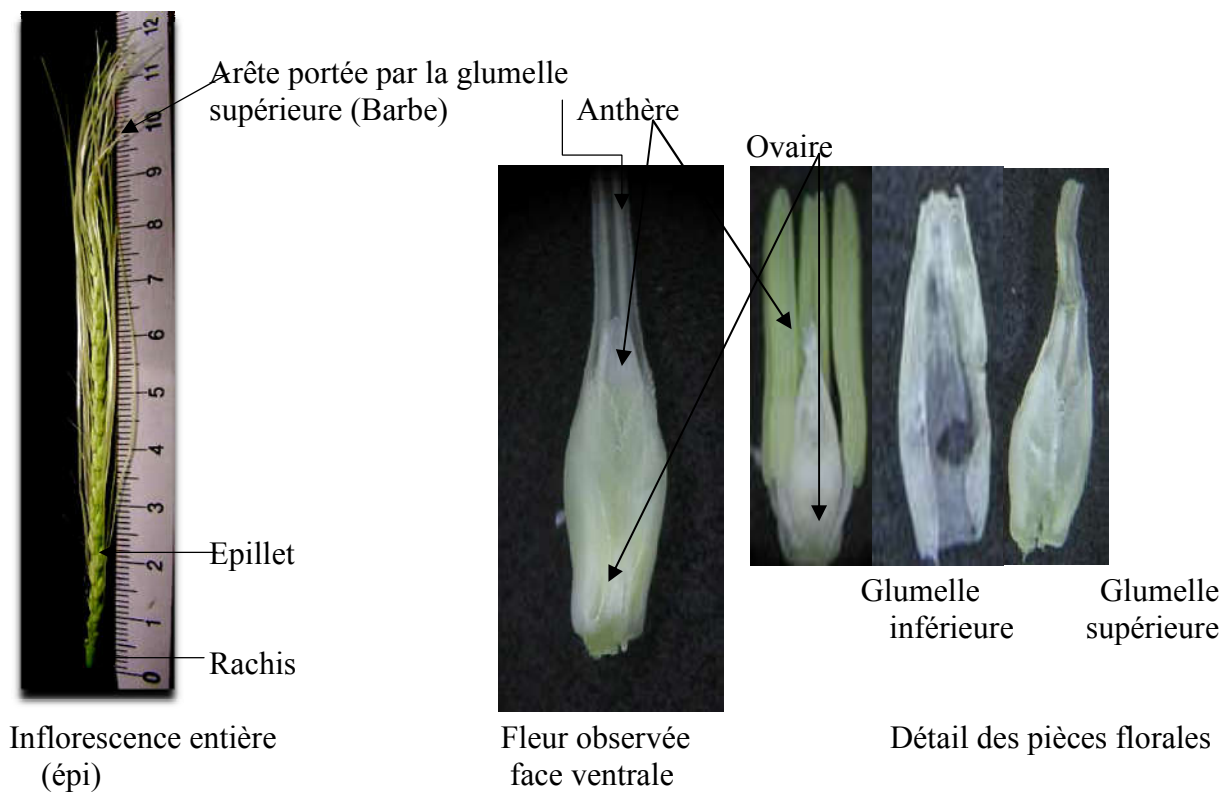


Figure 2 : Inflorescence, fleur et pièces florales d'orge (*Hordeum vulgare* L. cv. Cork) (Jacquard, 2007).

1.2. Croissance et développement de la plante

La plantule lève en 5-6 jours après la germination. Des tiges sont produites sur la pousse principale jusqu'à l'initiation florale (Figure 3). Au stade herbacé, elle se distingue principalement des autres céréales par un feuillage vert clair, la présence d'une ligule très développée, des oreillettes glabres, et un fort tallage herbacé (Boulal et *al.*, 2007). Le nombre de tiges par plante est influencé par la densité de plantation, le cultivar et les facteurs du milieu : une seule plante forme généralement 1-6 tiges, mais de faibles densités peuvent multiplier plusieurs fois ce nombre. Le moment de l'initiation florale varie selon le cultivar, mais en général l'orge fleurit plus tôt que le blé. Espèce de jours longs à réaction quantitative, l'orge fleurit plus tôt lorsque la photopériode est plus longue ; mais la sensibilité photopériodique diffère d'un cultivar à l'autre, allant de très sensible à pratiquement insensible. Les fleurs s'autofécondent largement, mais la pollinisation croisée peut atteindre les 10%. Le grain mûrit en 10-20 jours. L'orge peut mûrir dans une courte saison de 3-4 mois (Figure 4), ce qui est moins long que la durée requise pour les autres céréales importantes (Belay et Brink, 2006).

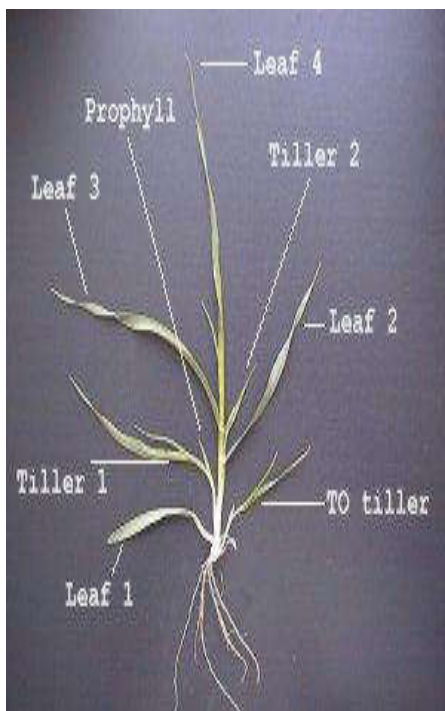


Figure 3. Architecture d'une plantule d'orge au stade juvénile



Figure 4. Architecture d'un plant d'orge au stade adulte

(<http://oregonstate.edu/instruct/css/330/five/BarleyOverview.htm>)

1.3. Importance et utilisation de l'orge

A l'échelle mondiale et par ordre d'importance, l'orge est utilisée en alimentation du bétail, pour le maltage (notamment en brasserie) et en alimentation humaine. Dans les régions tropicales et subtropicales, c'est surtout pour l'alimentation humaine qu'elle est produite. En Ethiopie et en Erythrée, la plus grande partie de l'orge en grains sert à confectionner un pain local qui ressemble à une crêpe ; mais on en fait aussi bien des bouillies et des soupes que des boissons alcoolisées (Ceccarelli et Grando, 2006).

De nos jours, et particulièrement dans les pays de l'Europe de l'Est, la farine d'orge est généralement mélangée à celle du blé et d'autres céréales pour la fabrication de galettes et de pain. En Amérique du Nord et en Europe de l'Ouest, 20-25 % seulement de la production est utilisée directement pour la préparation de farine destinée à la confection de pain et d'autres mets pour l'alimentation humaine. Environ 45-50 % de la production annuelle d'orge est utilisée pour l'alimentation animale (Ceccarelli et Grando, 1996).

En Algérie, la culture d'orge était très importante car l'orge était destinée à l'autoconsommation humaine et servait de complément fourrager pour les troupeaux dans les régions steppiques (Hakimi, 1993). Actuellement, l'orge est utilisée dans l'alimentation humaine selon les régions sous formes de galette, de couscous et de soupe (Rahal-Bouziane et Abdelguerfi, 2007). C'est une espèce fourragère importante par sa production en vert, en foin (en association avec d'autres espèces), en ensilage et par son grain et sa paille (Belaid, 1986). Dans toutes les régions, du nord au sud, elle reste l'une des plus importantes sinon la plus importante ressource fourragère (Boulal et *al.*, 2007).

1.3.1. La production mondiale de l'orge

L'orge constitue la quatrième céréale cultivée au niveau mondial après le maïs, le blé et le riz (Schulte et *al.*, 2009). Sur une moyenne des 50 dernières années, le Canada en est le 3^{ème} producteur mondial, derrière la Russie et l'Allemagne (FAO, 2017).

Pour la campagne 2015-2016, la production mondiale d'orge est estimée à 148.3 millions de tonnes, La production est en recul par rapport aux campagnes précédentes ; cette diminution est due en partie à la réduction de la superficie emblavée (-10%), mais aussi à une baisse de rendement due aux aléas climatiques dans certaines régions (Tableau1). L'Union européenne est de loin le principal producteur d'orge, avec près de 90 millions de tonnes ou

72.7% du total. Les plus gros exportateurs d'orge sont l'Union européenne, l'Australie et le Canada. Les plus grands importateurs sont l'Arabie saoudite, la Chine et le Japon.

Tableau 1 : Production mondiale d'orge en millions de tonne de 2011 à 2016 (FAO, 2017).

Pays	2011 (Mt)	2012 (Mt)	2013 (Mt)	2014 (Mt)	2015 (Mt)	2016 (Mt)
Fédération de Russie	16,9	14,0	15,4	20,4	17,5	18,0
Allemagne	8,7	10,4	10,3	11,6	11,6	10,7
Canada	7,9	8,0	10,2	7,1	8,2	8,7
France	8,8	11,3	10,3	11,7	13,1	10,3
Ukraine	9,1	6,9	7,6	9,0	8,3	9,4
Turquie	7,6	7,1	7,9	6,3	8,0	6,7
Australie	8,0	8,2	7,5	9,2	8,6	9,0
Autre	65,2	66,3	74,2	69,1	72,8	68,4
Production totale	132,2	132,2	143,4	144,5	148,3	141,3

1.3.2. Culture de l'orge en Algérie

L'orge est une espèce très adaptée aux systèmes de cultures pratiqués en zones sèches. Cette adaptation est liée à un cycle de développement plus court et à une meilleure vitesse de croissance en début du cycle. La culture de l'orge s'insère bien dans les milieux caractérisés par une grande variabilité climatique où elle constitue avec l'élevage ovin l'essentiel de l'activité agricole (Bouzerzouretal., 1998 ; Abbas et Abdelguerfi, 2008).

En Algérie, La culture de l'orge est pratiquée essentiellement sur les Hauts plateaux (Monneveux et Bensalem, 1993 ; Benmahammed, 2004 et Kadi, 2012). Prés de (35%) de la

superficie céréalière est consacrée à la culture de l'orge qui est concentrée entre les isohyètes 250 et 450 mm (Menad et *al.*, 2011). Confrontée à des contraintes d'ordre climatiques et techniques, la production algérienne d'orge est faible et surtout variable dans l'espace et le temps (Bouzerzour et Benmahammed, 1993).

L'orge est la deuxième céréale cultivée après le blé dur, sur les 115 années (1901-2016), la moyenne de rendement de l'orge stagne à une valeur de 9.54 qx/ha. Elle varie en fonction des années de 1.3 qx/ha (1945) et 17.61qx /ha (2009). Le suivi de l'évolution de la production met en évidence l'importance des fluctuations inter annuelles. La production se caractérise par une grande variabilité allant de 1.9 millions de quintaux en 1966 à 22,3 millions quintaux et 9,2 millions quintaux en 2009 et en 2016 respectivement (Tableau 2).

Cependant, ces dernières années, la production nationale de l'orge a progressivement augmentée car plusieurs programmes et projets ont été mis en place pour l'amélioration de la production de l'orge. Depuis 2009, l'Algérie est devenue auto-suffisante en production d'orge. L'Office National Interprofessionnel des Céréales (OAIC) a été autorisé par le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural à exporter une partie de la production record d'orge de 2009. C'est la première fois, depuis 1970, que l'Algérie se positionne sur le marché international pour écouler sa production (Anonyme, 2010). En revanche, la récolte céréalière de 2014 et 2016 (Tableau 2) a été affectée par une baisse importante de la production d'orge. Cette réduction de production est due à nombreux facteurs : l'abandon de la culture de l'orge par les agriculteurs au profit du blé, l'insuffisance et l'irrégularité de la pluviométrie, le faible potentiel des variétés cultivées et surtout les maladies parasitaires qui provoquent chaque année des pertes considérables du rendement.

Tableau2 : Production des céréales et d'orge en Algérie de 1900 à 2016 (ITGC, 2002 et FAO, 2017).

Années	Production 10 ⁶ qx			Superficie 10 ⁶ ha	Rendement qx/ ha
	Total	Orge	%	Orge	Orge
1901-1910	19,2	9,2	47,9	1,4	6,6
1920	18,2	7,9	43,4	1,3	6,1
1930	16,8	7	41,7	1,1	6,4
1940	17,8	6,9	38,8	1,2	5,7
1950	17,8	5,6	31,5	1	5,6
1960	14,8	7,8	52,7	1,3	6
1970	21,3	4,42	20,8	0,7	5,88
1980	18,3	4,96	27,1	0,8	6,00
1990	18,8	7,20	38,3	1,0	7,02
2000	16,2	7,80	48,1	0,8	8,76
2010	34,9	10,98	31,5	0,8	13,43
2011	37,3	12,58	33,7	0,9	14,76
2012	51,4	15,92	31,0	1,0	15,45
2013	49,1	14,99	30,5	0,9	16,69
2014	34,6	9,39	27,2	0,8	11,86
2015	34,3	10,31	30,0	0,8	12,84
2016	34,8	9,20	26,4	0,7	13,02
Moyenne	26,80	8,95	35,33	0,97	9,54

1.4. Contraintes auxquelles fait face la culture en Algérie

1.4.1. Un environnement caractérisé par divers stress abiotiques

La superficie agricole totale ne représente que 3 % de la superficie totale du pays (FAO, 2005). Cette sole se situe principalement en zone semi-aride, entre les isohyètes 300 et 600 mm, où elle est menée exclusivement en régime pluvial (Smadhi et Zella, 2009).

Trente-cinq (35%) de cette superficie est consacrée à la culture d'orge qui est installée dans les zones les plus défavorables, là où les précipitations varient entre 250 et 450 mm (Menad et *al.*, 2011). De plus, en raison de sa position géographique et de ses caractéristiques

climatiques, l'Algérie est vulnérable aux changements climatiques. Ainsi, plus de perturbations spatiales et temporelles des précipitations sont à craindre en raison de ces changements. A ces perturbations, s'ajoute une augmentation des températures, qui est attendue à hauteur de 1°C d'ici 2020 et de 2°C d'ici 2050 (Sahnoune et *al.*, 2013). L'aggravation de ces conditions climatiques aura plus d'impact négatif sur l'état des céréales et impliquera une aggravation du faible niveau et de l'instabilité des rendements.

Les stress abiotiques d'origine climatique, hautes et basses températures, et le manque d'eau, affectent fortement le niveau des rendements. La sécheresse est la contrainte la plus limitant, elle impacte négativement le rendement de la plupart des espèces cultivées en région aride, semi-aride et même en région humide pouvant subir un manque d'eau non structurel. Dans un tel environnement, la culture céréalière est fortement compromise en raison des effets combinés des contraintes climatiques caractérisées par :

- Un stress hydrique, lié à l'irrégularité de la quantité et de la distribution des précipitations (Mekliche et *al.*, 2013),
- De longues périodes de sécheresse (Sahnoune et *al.*, 2013),
- Des températures hivernales basses, des gelées printanières et de hautes températures de fin de cycle (Chenafi, 2006 ; Benmahammed et *al.*, 2010),

1.4.2. Les stress biotiques

Les stress biotiques sont à l'origine de pertes moyennes de rendement dans le monde pouvant s'élever jusqu'à 30 % (Friedt, 2011). Champignons, virus, nématodes et bactéries représentent les quatre plus importants groupes de pathogènes. La première place étant occupée par les champignons en raison de leur expansion et de l'ampleur des effets qu'ils occasionnent sur les plantes (Timothy et Steffenson, 2011). Ainsi, le "*Fusarium head blight (FHB)*" peut provoquer sur les cultures d'orge une perte de rendement dépassant les 40% (Perkowski et *al.*, 1995). La "Rouille des feuilles (*Puccinia hordei*)" induit, en conditions expérimentales, une réduction du rendement variant avec le niveau du pathogène de 31,5 à 36,5%, les auteurs de ces mêmes expérimentations, Ochoa et Parlevliet (2007), ont également conclu que des niveaux importants de résistance étaient nécessaires pour prévenir des dommages importants de rendements. Ainsi, l'amélioration de la résistance de l'orge aux maladies est un objectif important à l'échelle mondiale et les programmes construits autour de cet objectif iront en s'intensifiant (Friedt, 2011).

1.4.3. La contrainte variétale

L'impact des conditions de culture sévères et des différents stress est aggravé par une gamme variétale annuellement cultivée peu diversifiée. En 2015, le catalogue variétal compte vingt-huit (28) variétés homologuées et autorisées à la production (CNCC, 2015). Selon Ait-Abdallah et *al.*, 2010, seules six variétés sont utilisées dans le circuit de production, cinq sont recommandées à la production et dix ont été retirées du circuit (Annexe 1). Celle-ci comprend dix variétés introduites et quatre variétés issues de la sélection nationale. Trois de ces variétés, Saïda 183, Tichedrett et El Bahia sont constituées de matériel génétique d'origine locale. Les deux variétés locales, Saïda 183 et Tichedrett, demeurent très largement utilisées et couvrent plus de la majeure partie de la sole réservée à cette espèce (Ceccarelli et *al.*, 2011). Elles sont très appréciées des agriculteurs, pour leur bonne adaptation aux conditions de faibles pluviométries, en dépit de leurs faibles potentiels de production, de leurs sensibilités au froid et aux maladies. Si la non-adoption, par les agriculteurs, des variétés introduites peut s'expliquer, à moindre importance, par une faiblesse du système de vulgarisation, elle demeure essentiellement liée à leur faible potentiel d'adaptation aux conditions sévères et défavorables de production. En effet, l'augmentation de la productivité au niveau national passe obligatoirement par la diversification et la mise à la disposition des paysans de ces zones défavorables, de nouvelles ressources caractérisées par une adaptation, une stabilité et un gain génétique. Il est établi que l'obtention de telles variétés est conditionnée, pour les environnements défavorables, par l'utilisation d'un cultivar local et par la mise en œuvre du processus de sélection dans l'environnement même pour lesquelles ces nouvelles obtentions sont destinées (Ceccarelli et *al.*, 1998; Ceccarelli et *al.*, 2004).

2. Amélioration variétale

L'amélioration génétique a de tout temps, que cela soit de façon inconsciente ou consciente, été menée pour satisfaire aux besoins de l'homme. En 2011, Gallais définit l'amélioration génétique comme "la science ou l'art de la création de populations homogènes, appelées variétés" et qui "correspond à l'ensemble des opérations qui permettent de passer d'un groupe d'individus, n'ayant pas certaines caractéristiques au niveau recherché, à un groupe reproductible, la variété, apportant un progrès sur certains caractères". Deux conditions président à sa réalisation : l'existence d'une variabilité ainsi que son maintien (hybridations et mutations), et la capacité de détecter et de promouvoir la reproduction de l'individu recherché (Planchenault, 2012).

En ce qui a trait à l'amélioration génétique de l'orge, il faut considérer premièrement que le type de variété rencontrée est la lignée pure, et les principaux objectifs de sélection sont l'augmentation du rendement et de la qualité (Bingham et *al.*, 2012). Ensuite, l'orge étant une espèce autogame. L'amélioration des plantes peut se faire par la sélection généalogique qui permet d'éliminer efficacement les génotypes sans intérêt. Cette méthode est cependant problématique car elle oblige à réaliser de nombreux croisements destinés à fixer les caractères d'intérêt. Certains descendants peuvent exprimer des gènes de façon transitoire à cause des phénomènes de dominance et récessivité, ainsi que des interactions entre allèles et gènes différents. La descendance doit être examinée et étudiée pour ne retenir que les plantes les plus intéressantes. Un long travail d'épurations successives est donc nécessaire avant d'obtenir une nouvelle variété (Kahn, 1997 in Jacquard, 2007).

L'homozygotie confère la stabilité et l'uniformité phénotypique, et rend ainsi prévisible le comportement agronomique des lignées. Une homozygotie élevée est exigée pour l'enregistrement de nouveaux cultivars (Devaux et Pickering, 2005), et elle permet, en même temps, de réduire la fréquence d'allèles indésirables pendant la phase de sélection. Parmi les mécanismes naturels, l'autofécondation est la voie qui conduit à l'homozygotie le plus rapidement : dans la progéniture d'un individu hétérozygote (issu d'un croisement contrôlé), elle augmente en moyenne de 50 % à chaque génération. Or, sous un schéma d'amélioration conventionnelle, entre six et huit générations d'autofécondation sont nécessaires pour atteindre un niveau d'homozygotie quasi-totale (par exemple, > 98 %).

C'est dans ce contexte que les techniques d'haploïdisation offrent un bénéfice important pour l'amélioration génétique chez l'orge, puisqu'elles permettent d'obtenir des génotypes complètement homozygotes en quelques mois (Forster et *al.*, 2007; Asif, 2013). Ce bénéfice se traduit autant par le raccourcissement de la durée du cycle d'amélioration que par une totale homozygotie des lignées haploïdes-doublées (HD) (Dunwell, 2010 ; Germanà, 2011) (Figure 5).

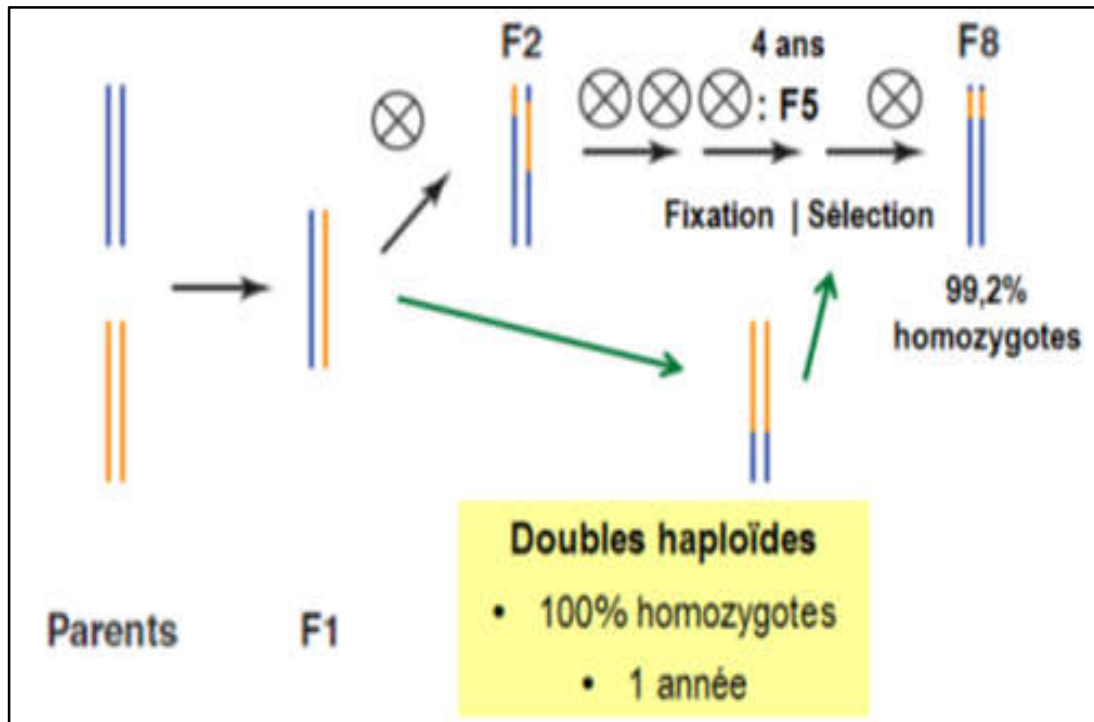


Figure 5: Schéma de l'amélioration conventionnelle, et par Haploïde double, chez l'orge. À partir d'un croisement F1. (Adapter par Chan, 2010 cite par Esteves, 2014)

3. L'obtention d'haploïdes doublés (HDs)

3.1. Présentation

Les premiers résultats sur l'haploïdisation ont été publiés en 1964 à la suite des travaux de Guha et Maheshwari sur *Datura* sp. C'est une technique grandement utilisée dans le domaine de l'amélioration des plantes. Elle constitue aujourd'hui la ligne de mire de plusieurs laboratoires de recherche agronomique à travers le monde. Un haploïde doublé (HD) est une plante haploïde dont le stock chromosomique a été doublé via une endomitose ou après traitement par un agent mitotique dont le plus courant est la colchicine (Bonjean 1995). Le dédoublement des chromosomes chez les plantes haploïdes peut survenir spontanément ou bien être induit artificiellement. Les plantes obtenues sont homozygotes, donc leur génotype et leur phénotype se confondent. Les plantes haploïdes peuvent exprimer des caractères récessifs, dont l'expression est habituellement masquée par l'hétérozygotie, et présenter de nouveaux phénotypes (Horlowet *al.* 1992 ; Brar et Khush, 1994 ; Kichereret *al.* 2000). De plus, les caractères d'intérêt sont fixés dès la première génération puisque les plantes HD présentent un génome homozygote pour tous les caractères (Powell et *al.* 1992).

3.2. Intérêts de produire des haploïdes doublés (HDs)

L'haplo-diploïdisation est considérée comme l'une des biotechnologies susceptibles d'apporter une contribution très significative à l'amélioration des plantes. L'haplo-diploïdisation est non seulement une méthode de fixation rapide des recombinants mais également une méthode très utile pour augmenter l'efficacité de la sélection. L'avantage le plus important de l'haplo-diploïdisation est le gain de temps (Touraev et *al.* 2001 ; Thomas et *al.* 2003). Chez les céréales, la production de semences à partir d'haploïdes doublés est possible en quelques mois (Pickering et Devaux 1992), alors que les méthodes de sélections généalogiques classiques nécessitent sept à huit ans de sélection pour disposer d'une lignée pure homozygote.

L'haplo-diploïdisation est donc une technique rapide de production de lignées pures, réalisée en une seule étape au lieu de plusieurs générations (Thomas et *al.* 2003). Elle facilite la sélection et permet d'observer l'expression aussi bien des gènes récessifs que des gènes dominants.

Outre leur intérêt en amélioration génétique, les plantes HD peuvent avoir une grande valeur également dans le cadre d'études génétiques fondamentales. Par exemple, les populations de lignées HD sont extrêmement utiles pour identifier et cartographier des marqueurs moléculaires liés à des gènes d'intérêt tels que le rendement, la qualité, et la résistance aux maladies (Gallais, 1990 ; Graner, 1996 ; Hussain et *al.*, 2012).

Les haploïdes doublés (HDs) trouvent aujourd'hui des applications potentielles dans de très nombreux programmes de recherches, en particulier chez les céréales à paille. Les techniques de culture *in vitro* sont souvent utilisées pour produire dans un premier temps des plantes haploïdes puis pour régénérer des lignées haploïdes doublées, qui demeurent en principe génétiquement stables au cours du temps (Powell et *al.*, 1992). Ceci offre une plus grande sécurité dans l'évaluation des effets environnementaux et la possibilité de répéter une expérience de manière réellement comparative sur plusieurs années.

3.3. Les techniques d'obtention d'HD

L'objectif principal de la production de HD est d'obtenir des lignées pures, 100% homozygotes, en une seule génération. La Figure 6 illustre des méthodes d'obtention de HD chez les céréales. Des haploïdes peuvent être induits via la culture *in vitro* d'anthers ou de microspores (androgénèse), d'ovules ou d'ovaires (gynogénèse), via des croisements

interspécifiques et en utilisant du pollen irradié (Forster et *al.*, 2007). La technique du pollen irradié et la gynogenèse n'ont pas connu de succès dans un contexte de production à grande échelle, tandis que les méthodes basées sur l'androgenèse et la méthode de croisements distants présentent une efficacité beaucoup plus grande, et sont les plus utilisées au présent en production commerciale de HD (Esteves, 2014).

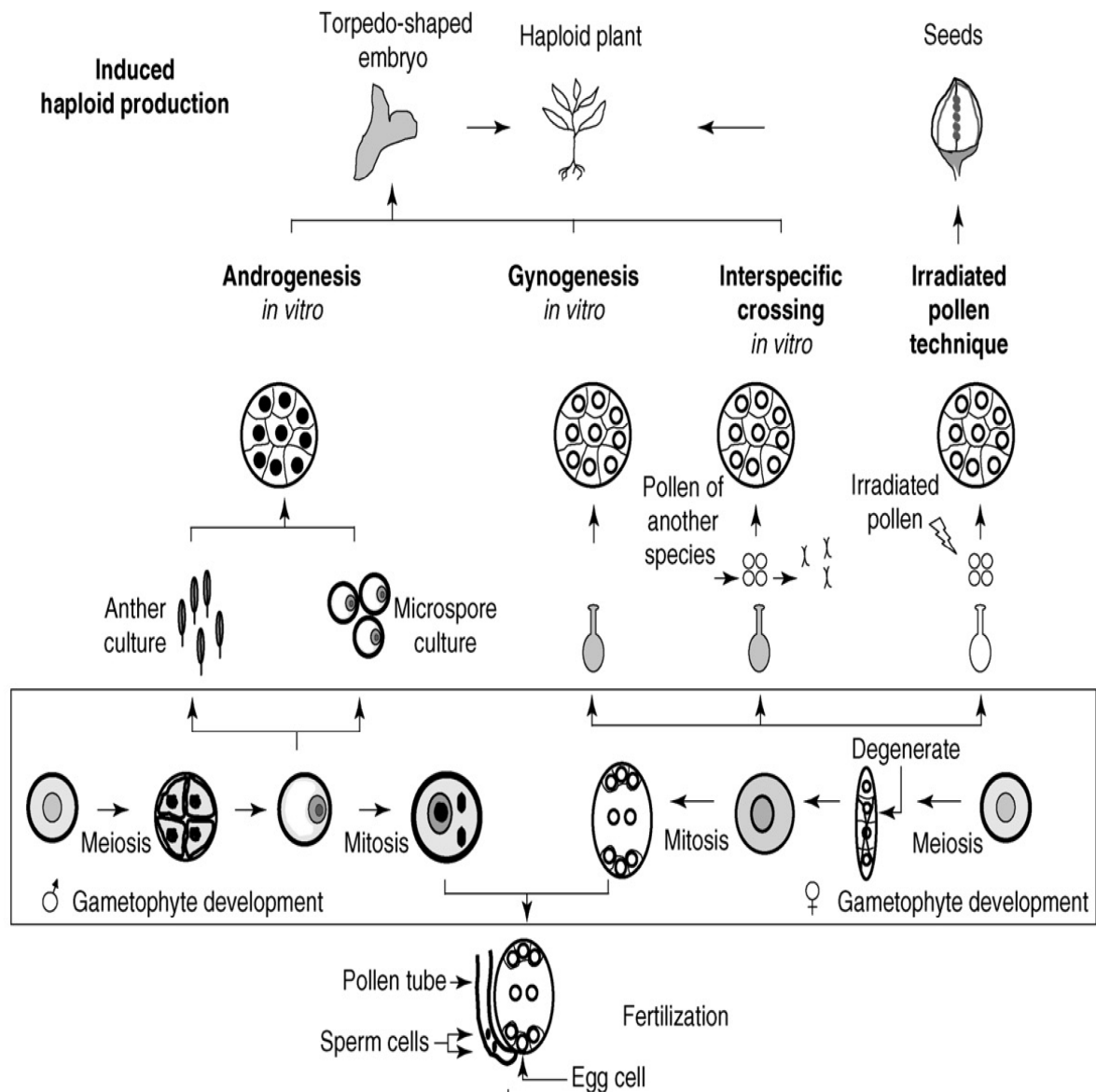


Figure 6: Méthodes d'obtention de HD chez les céréales qui ont recours à la culture *in vitro* (adapté de Forster et *al.*, 2007).

Pour (Esteves, 2014) chez l'orge, les plantes HDs sont efficacement obtenues par trois méthodes :

- 1) À partir de croisements interspécifiques avec le *Hordeum bulbosum* L.
- 2) Par, culture de microspores isolées ou
- 3) Par culture d'anthères.

3.3.1. Méthode des croisements interspécifiques

Cette méthode est basée sur le sauvetage par culture *in vitro* d'embryons immatures issus de croisements interspécifiques. Chez l'orge, le croisement est réalisé entre *H. bulbosum*, qui sert de parent mâle et *H. vulgare* L., qui sert de parent femelle (Devaux 2003). Après fécondation, les chromosomes de *H. bulbosum* sont éliminés au cours du développement embryonnaire, ce qui conduit à l'obtention d'une plante haploïde (Kasha et Kao 1970). Ces embryons haploïdes seront cultivés *in vitro* afin qu'ils complètent leur développement normal. Ensuite, ils seront traités à la colchicine pour doubler leur complément chromosomique et retrouver la condition diploïde qui leur permettra ainsi de devenir des plantes fertiles à maturité (Devaux and Kasha, 2009). Au total, selon les deux génotypes parentaux ainsi que les conditions environnementales, entre 10-30 % des fleurs pollinisées peuvent former des HD (Houben et *al.*, 2011). Il reste que la méthode *bulbosum* peut être appelée à jouer un rôle, en particulier chez les génotypes qui s'avèrent récalcitrants à la production des HD par la voie de l'androgenèse (Kahani et *al.*, 2012).

3.3.2. Méthode de culture d'anthères.

Depuis peu, il est considéré que les techniques de culture d'anthères et de culture de microspores isolées dominent la création de cultivars chez l'orge (Devaux and Kasha, 2009). Parmi ces deux techniques, jusqu'à récemment c'est la culture d'anthères qui a été la plus fréquemment utilisée pour la production de HD à cause de sa simplicité, sa rapidité, et sa plus faible demande en équipement (Jähne et Lörz. 1995 ; Mirzaei et *al.*, 2011).

Essentiellement, un protocole de culture d'anthères consiste d'abord à cultiver les plantes mères dans de conditions optimales de nutrition minérale, illumination, température et humidité. Ensuite, une fois l'épiaison commencée, les tiges sont récoltées contenant des épis dont les anthères contiendraient des microspores à un état précis du développement, le stade uninucléé moyen ou tardif. Avant de les mettre en culture *in vitro*, une phase de stress leur sera appliquée (Devaux et Kasha, 2009).

Cette phase de stress, aussi appelée « prétraitement » (Hoekstra et *al.*, 1997), s'avère un facteur clé pour commuter la voie morphogénétique en cours, qui amènerait les microspores à former des grains de pollen, vers l'embryogenèse gamétique et donc la régénération *in vitro* de plantes (Touraev et *al.*, 2001).

Chez l'orge, les types de stress les plus couramment utilisés en culture d'anthères sont : un prétraitement au froid (« cold shock », Devaux et Kasha, 2009) ou un choc osmotique avec une privation de nutriments (Hoekstra et *al.*, 1993 ; Cistué et *al.*, 1994). Dans le premier cas, des tiges fraîchement récoltées sont généralement entreposées à 4 °C pour une durée de 28 jours (Hunter, 1988), tandis que dans le second cas, le prétraitement consiste à incuber les épis dans une solution de mannitol 0,30-0,70 M à 26-28 °C pendant 3-4 jours (Hoekstra et *al.*, 1993; Cistué et *al.*, 1994).

Après le prétraitement, dans des conditions stériles, les anthères sont extraites et placées dans un milieu dit « d'induction » comme, par exemple, le FHG mis au point par Hunter (1988) ou le BAC3 (Szarejko and Kasha, 1991), et incubées à 26-28 °C à l'obscurité. Entre 3 et 5 semaines plus tard, les embryons de plus de 1 mm de taille sont transférés vers un milieu dit « de régénération », qui comportera des composantes minérales et organiques égales ou semblables au milieu d'induction, sauf pour une réduction du sucre et, surtout, des régulateurs de croissance (Devaux et Kasha, 2009).

Ensuite, les embryons en phase de régénération sont exposés à une illumination douce, et une fois que les plantules ont atteint le stade 3-4 feuilles, elles peuvent être transférées dans un terreau pour démarrer la phase *ex vitro*. Éventuellement, une phase d'acclimatation, dans une chambre humide pendant 4-8 jours, pourrait s'imposer afin de réduire la mortalité des plantes.

3.3.3. Méthode de culture de microspores isolées

La culture de microspores isolées est très semblable à la culture d'anthères. En effet, une étape préliminaire est nécessaire durant laquelle les microspores sont mécaniquement extraites des anthères. De plus, des étapes de rinçage des microspores sont requises dans le bon déroulement de ce protocole. Cette technique est tout particulièrement utilisée chez l'orge, puisque cette céréale a montré les meilleurs taux de régénération par rapport à la culture d'anthères (Li et Devaux, 2005). Cette technique d'obtention d'haploïdes doublés a donc un fort potentiel dans les programmes de sélection variétale. Mais, elle fait face à un

problème majeur avec l'albinisme. En effet, chez certains croisements, ce phénomène peut être observé chez 100 % des plantes régénérées.

3.4. Les facteurs influençant l'embryogenèse pollinique chez l'orge

Malgré les progrès réalisés ces dernières années dans le cadre de l'optimisation de la culture d'anthères, un certain nombre de paramètres influencent fortement l'efficacité de la technique. Parmi ceux-ci, mentionnons les conditions de culture des plantes, le stade de récolte des épis, le prétraitement des épis, la position de l'épi sur la plante, les milieux de culture et l'effet du génotype.

3.4.1. Conditions de culture des plantes-mères

En culture d'anthères, les conditions de croissance des plantes-mères influencent très fortement l'efficacité de la technique (Ouyang *et al.*, 1987 ; Simmonds, 1989). Pour obtenir de meilleurs épis au bon stade de développement, les plantes doivent être cultivées dans les meilleures conditions de croissance. L'arrosage et l'apport des éléments nutritifs doivent être faits de façon rigoureuse. Les conditions de croissance agissant sur la physiologie de l'anthère influencent considérablement la réponse des microspores (Cistué *et al.*, 2003 ; Szarejko, 2003). Les températures habituellement utilisées en serre ou en cabinet de croissance pour l'orge varient entre 12 et 15 °C (Hou *et al.*, 1994) avec une réduction possible de 6 à 8 °C pendant la nuit (Kintzios et Fischbeck, 1994).

Les travaux de Ritala *et al.* (2001) sur l'orge rapportent que l'horloge annuelle peut avoir une influence sur la culture d'anthères. Il a été observé une variation saisonnière importante de la capacité de régénération. D'après Jacquard *et al.* (2006), chez les cultivars Igri et Cork, de meilleurs résultats sont obtenus quand les anthères sont mises en culture de janvier à juillet plutôt que d'août à décembre.

3.4.2. La position de l'épi sur la talle

La provenance de l'épi (issu du maître brin ou des talles secondaires) peut être une source de variation non négligeable. Les travaux de Dunwell *et al.* (1987) sur les génotypes d'orge Dissa et Sabarlish ont révélé des différences significatives entre les deux cultivars quant à leur aptitude à l'androgenèse suivant le rang de récolte de l'épi. Le cultivar Dissa était plus sensible à la réactivité des anthères suivant l'ordre de récolte des épis que le cultivar Sabarlis. Jacquard *et al.* (2006) se sont penchés sur l'impact de la position de l'épi sur la

régénération en culture d'anthères d'orge. Il ressort de leurs travaux que l'épi issu de la deuxième talle permet une augmentation substantielle de la proportion de plantes vertes régénérées de 16 % chez le cultivar Igri jusqu'à 1800 % pour le cultivar Cork.

3.4.3. Le stade de récolte des épis

Le succès en culture d'anthères dépend fortement du stade de récolte des épis qui doit être ajusté en fonction du génotype. Chez l'orge, la réponse des anthères à l'induction de cals et à la régénération de plantes est fortement liée au choix des microspores au stade uninucléé médian (Sunderland *et al.*, 1979). Ce stade constitue un repère pour plusieurs laboratoires qui travaillent dans le domaine de la culture d'anthères chez l'orge (Hoekstra *et al.*, 1992 ; Kintzios et Fischbeck, 1994 ; Laroche, 1997).

3.4.4. Le prétraitement des épis

À propos de la phase de prétraitement, tout comme en culture des anthères (CA), un prétraitement adéquat est nécessaire pour qu'une fraction de la population des microspores soit amenée à modifier son programme morphogénétique initial pour démarrer l'embryogenèse gamétique. Le facteur déclencheur de cette réorientation du développement est le stress (Jähne and Lörz, 1995; Touraev *et al.* 1997; Oleszczuk *et al.*, 2006). On trouve une grande diversité d'agents stressants qui ont été appliqués avec succès sur des tiges, épis et aussi sur des microspores isolées chez l'orge. Parmi ceux-ci, notons le froid, la chaleur, la privation nutritionnelle et certaines substances chimiques (Davies et Morton, 1998 ; Roberts-Oehlschlager et Dunwell, 1990 ; Ziauddin *et al.*, 1990; Li *et al.*, 1995; Li et Devaux, 2001; Zheng *et al.*, 2001). Comme en CA, les méthodes les plus utilisées sont le « choc de froid » (Jähne-Gartner and Lörz, 1999) et le « choc osmotique » (Ziauddin *et al.*, 1992 ; Hoekstra *et al.*, 1992), ce dernier étant parfois combiné avec celui du froid (Hoekstra *et al.*, 1997 ; Caredda *et al.*, 1999).

3.4.5. Les milieux de culture

Ils jouent un rôle essentiel dans le processus de culture *in vitro* en général. La composition des milieux de culture est un facteur supplémentaire intervenant dans la réussite de l'embryogenèse pollinique. La culture d'anthères ou de microspores peut se réaliser sur des milieux liquides ou solides (Kao *et al.* 1991 ; Luckett et Smithard 1992, 1995 ; Rimberia *et al.*, 2005).

Chez l'orge, le milieu FHG mis au point par Hunter (1988) est le plus souvent utilisé en culture d'anthères et de microspores (Cistué et *al.*, 1995 ; Cistué et *al.*, 1999 ; Savaskan et *al.*, 1999 ; Lazaridou et *al.*, 2005). Il diffère du milieu de Linsmaier et Skoog (LS) (1965) par l'absence du chlorure de cobalt, l'ajout de 750 mg/L de glutamine et une diminution de 10 fois de la concentration de nitrate d'ammonium. Le milieu FHG diffère également du milieu MS par le remplacement du saccharose par du maltose ; aussi, la concentration de nitrate d'ammonium a été réduite et de la glutamine a été ajoutée (Hunter, 1988).

D'autres milieux de culture sont également utilisés dans le cadre de la production d'haploïdes doublés dont : le milieu N6 (Razdan, 2002 ; Orshinsky et Sadasivaiah, 1994), le milieu C17 (Arzani et Darvey, 2001), le milieu 190-2 (Briside *et al.*, 1997), le milieu W14 (Puolimatka et Pauk, 2000), le milieu B5 (Cossette, 1982), le milieu BAC3 (Cai *et al.*, 1992) et le milieu C3 (Jacquard et *al.*, 2003).

3.4.6. Les régulateurs de croissance

En culture d'anthères, les régulateurs de croissance ou phytohormones jouent un rôle essentiel dans l'embryogenèse, l'organogenèse et la morphogenèse. Les auxines et les cytokinines sont les plus recommandées (Dodds et Roberts, 1985). Chez les céréales, en culture d'anthères, les milieux de cultures sont le plus souvent supplémentés avec quatre principales auxines : acide indole-3-acétique (AIA), acide naphthalène acétique (ANA), acide phénylacétique (PAA) et acide 2,4 dichlorophénoxyacétique (2,4-D), à des concentrations s'échelonnant de 0.5 à 2 mg/L (Devaux, 2005). Chez l'orge, les auxines ont été employées à basse concentration plus que chez toutes les autres espèces. Dans certains cas, l'auxine a été complètement omise en laissant la BAP (une cytokinine) comme unique régulateur de croissance (Kihara et *al.*, 1994).

Chez l'orge, en culture d'anthères, la kinétine ou la BAP sont le plus souvent utilisées à des doses allant de 0.1 à 1 mg/L (Cai et *al.*, 1992). Les travaux de Cai et *al.* (1992) rapportent que dans le milieu BAC3, la combinaison d'auxine ANA (2 mg/L) et de cytokinine BAP (1 mg/L) permet d'obtenir une meilleure formation d'embryoïdes que l'emploi d'auxine 2,4-D combiné avec la zéatine ou la BAP. Le traitement sans hormones a atteint un niveau de production de cals semblable aux autres combinaisons de régulateurs de croissance qui avait été utilisées, mais la capacité de régénération des cals était de beaucoup inférieurs.

3.4.7. L'effet du génotype

L'effet du génotype sur la régénération des HD a souvent été considéré comme déterminant (Kasha et *al.*, 2001; Oleszczuk et *al.*, 2006; Rajcan et *al.*, 2011; Muñoz-Amatriain et *al.*, 2009; Kahrizi et Mirzaei, 2012). Par exemple, les orges du type printemps sont souvent caractérisées par une réponse moins favorable à l'androgénèse que celles du type automne (Lu et *al.*, 2008; Torp et Andersen, 2009; Devaux et Kasha, 2009). En ce qui a trait à l'albinisme, malgré l'existence de plusieurs études et d'une expérimentation approfondie, ce désordre est toujours limitant pour la production de HD par androgénèse (Devaux et Pickering 2005 ; Atanassov et *al.*, 2009). Larsen et *al.* (1991) ont étudié l'impact des gènes nucléaires sur la régénération de plantes vertes en culture d'anthères en effectuant 22 croisements réciproques et un croisement simple entre trois variétés à haute capacité de régénération et quatre variétés à faible capacité de régénération. L'effet du génotype a eu un impact significatif sur la formation d'embryons et la production de plantes vertes : il représentait respectivement 62 et 76% de la variation totale. Par rapport aux orges à deux rangs, celles à six rangs présentent une plus haute fréquence d'albinisme en production de HD (Cistué et *al.*, 1999; Marchand et *al.*, 2008); cette proportion est parfois si forte que seulement des plantes albinos sont régénérées (Weyen, 2009).

Chapitre II : Réponse d'androgénique de trois cultivars d'orge

Résumé

La technique d'obtention des haploïdes et/ou haploïdes doublés par culture *in vitro* d'anthères est déterminée par nombreux facteurs. Ces travaux présentent la réponse androgénétique de trois cultivars d'orge (*Hordeum vulgare* L.): Saida183, Tichedrett et Igri, soumis à deux prétraitements au froid à 4°C pendant 7 à 14 jours et 21 à 28 jours. Ce travail a permis de montrer que le génotype et les prétraitements des épis au froid à 4°C ont eu un effet significatif sur les paramètres androgénèses. Le taux d'induction le plus levées obtenu à partir du génotype Igri et le plus faible obtenu à partir du génotype Saida183. Les taux de régénération enregistrés pour les trois cultivars sont 34,41% pour le cultivar Igri suivie par le cultivar Tichedrett avec 21,25% et 14,5% pour Saida183. Le prétraitement des épis à 4°C pendant 21à28 jours a permis de produire plus de cals et/ou embryons et des plantes régénérer que le prétraitement au froid pendant 7 à 14 jours. Dans le cadre de l'obtention des lignées haploïdes doublées(HDs) par culture *in vitro* (CIV) d'anthères (androgénèse), des lignées en ségrégation (F2), issues de croisements entre deux variétés locale cvs. Tichedrett, Saida182 et la variété introduite cvs. Express, ont été utilisés dans un essai d'obtention d'haploïdes doublés (HDs) par culture d'anthères. Un total de 1260 anthères a été mis en culture donnant un taux d'induction moyen de néoformations de 15,16% à savoir, 16% à partir de l'hybride Tichedrett × Express et 14,11 % à partir de l'hybride Saida183× Express. Un total de quarante-deux plantules a été régénéré. Vingt –neuf plantules ont été obtenues à partir de l'hybride Tichedrett × Express et treize à partir de l'hybride Saida183× Express. Le pourcentage de plantules vertes obtenues à partir de l'hybride Tichedrett × Express est de 68,97%, le pourcentage d'albinos est de 31,03% alors que 46,15% de plantules vertes et 53,85% de plantules albinos ont été obtenues à partir de Saida183× Express. Sur treize plantules placées en acclimatation, neuf (69,23%) plantes fertiles ont été récoltées à partir de Tichedrett × Express et trois (60%) à partir de Saida183× Express. Bien que les plantules vertes obtenues demeurent relativement bas, ils indiquent néanmoins que l'hybride Tichedrett × Express a mieux répondu que l'hybride Saida183× Express.

Mots clefs : Androgénèse, Prétraitement, Orge, Saida, Tichederett.

Introduction

L'amélioration des plantes peut se faire par la sélection généalogique qui permet d'éliminer efficacement les génotypes sans intérêt. Cette méthode est cependant problématique car elle oblige à réaliser de nombreux croisements destinés à fixer les caractères d'intérêt. Un long travail d'épurations successives est donc nécessaire avant d'obtenir une nouvelle variété (Bouatrous, 2013). La production de nouveaux cultivars de céréales à l'aide des techniques d'haplodiploïdisation est en pleine expansion. En effet, ces techniques ont une répercussion importante dans le secteur agricole. Elles offrent la possibilité d'accélérer les programmes de sélection (Bonjean, 1995 in Laroche, 1997). Chez l'orge, la technologie des "haploïdes doublés" (HD), permet de diminuer la durée des cycles de sélection, en diminuant le temps nécessaire à la fixation des caractères et à la multiplication des génotypes intéressants. Elle permet l'obtention de plantes homozygotes pour l'ensemble du génome sans introduction de matériel génétique exogène (Jacquard, 2007).

Le processus d'androgénèse est généralement décomposé en trois étapes : le prétraitement, ou la phase d'induction d'embryons ; la phase de culture, qui consiste dans le développement embryons en microspore ; la phase de régénération permettant le développement d'embryons androgénique en plantules haploïde.

Malgré les progrès réalisés ces dernières années dans le cadre de l'optimisation de la culture d'anthères, un certain nombre de paramètres influencent fortement l'efficacité de la technique. Parmi ceux-ci, mentionnons. les conditions de culture des plantes (Ouyang et *al.*, 1987; Simmonds 1989 ; Ritala et *al.*, 2001; Cistué et *al.*, 2003; Szarejko, 2003 ; Jacquard et *al.*, 2006), le stade de récolte des épis (Hoekstra et *al.* 1992; Kintzios et Fischbeck 1994; Laroche, 1997), le prétraitement des épis (Sunderland et *al.*,1984 ; Chlyah et Saidi ,1991 ; Kruczkowska et *al.* 2002), la position de l'épi sur la plante (Dunwell et *al.*, 1987 ; Jacquard et *al.*, 2006), les milieux de culture (Cistué et *al.*, 1995 ; Cistué et *al.*, 1999 ; Savaskan et *al.*, 1999 ; Lazaridou et *al.* 2005) et l'effet du génotype (Foroughi-Wehr et Mix, 1979; Luckett et Smithard, 1992).

Le but de cette étude consistera donc à mettre en évidence l'importance du génotype et de facteurs physiques, à savoir, d'une part, la réponse androgénique de quelques variétés d'orge : Saida183, Tichedrett et Igri, et d'autre part, un prétraitement des épis au froid à 4°C

pendant 7 à 14 jours et 21 à 28 jours, et en fin, des lignées en ségrégation F2 ont été utilisées pour la production de lignées haploïdes doublées (HDs).

1. Matériel et méthodes

1.1 Matériel végétal

L'aptitude androgénique a été évaluée chez les deux variétés populations locales d'orge (*Hordeum vulgare* L.) à six rangs, (cvs. Tichedrett et Saida183) et la variété à deux rangs, d'origine Espagnole, (cv.Igri), ayant une bonne aptitude à l'androgenèse (Castillo et al., 2001 ; Kruczkowska et al.2002).

Les variétés Tichedrett et Saida183 sont rustique, résistante à la sécheresse, peu productive et sensible aux maladies et la variété Express, d'origine française, qui a un potentiel de rendement élevé et sensibles à la sécheresse (Ramla et al., 2013). En vue de l'obtention de nouvelles lignées d'orge (*Hordeum vulgare* L.), des hybrides (F2), issues de croisements entre deux variétés locale cvs. Tichedrett, Saida183 et la variété Express, ont été utilisés dans un essai d'obtention d'haploïdes doublés (HDs) par culture d'anthères.

1.2 Conditions de croissances des plants donneurs

Des grains des parents et hybrides TE (Tichedrett x Express) et SE (Saida183x Express) en F2, ont été semés (deux semis échelonnés) ; après stérilisation, les grains sont placés dans des boîtes de Pétri de 10cm de diamètre, tapissées de papier filtre humide stérile, ils sont mis à germer à la température ambiante du laboratoire. Lorsque leur coléoptile atteint 3 à 4 cm de long, les plantules obtenues sont individuellement mises en pot dans un mélange de terreau/terre franche (1v/1v) et placées dans un phytotron où règnent une photopériode de12h et une température alternative de 16°C le jour et 10-15 °C la nuit. Ces plantules sont arrosées une fois par semaine avec une solution nutritive SN1 (Tableau 3). Au stade trois talles, les plantes sont transplantées dans des pots de 15 cm de diamètre a raison de deux plantes /pot et placées de nouveau dans une serre semi-contrôlée (photopériode 16h et température 25°C le jour et 18°C la nuit) au niveau du centre de recherche en biotechnologie de Constantine (CRBt) (Figure7 a), où elles sont arrosées deux fois par semaine avec l'eau et une solution SN2 (Tableau 3).

Tableau 3 : Composition des solutions nutritives utilisées pour l'irrigation (Mansouri et *al.*, 2015).

	Macroéléments	Dose (g/L)	Macroéléments	Dose (g/L)
	Solution Nutritive 1	MgSO ₄ . 7H ₂ O	0,300	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O
Ca (NO ₃) ₂ . 4H ₂ O		0,650	KH ₂ PO ₄	0,130
KNO ₃		0,400	MgSO ₄ . 7H ₂ O	0,490
NH ₄ H ₂ PO ₄		0,130	KNO ₃	0,500
FeSO ₄ . 7H ₂ O		0,050		
Micro-éléments		Dose (mg/L)	Micro-éléments	Dose (mg/L)
KI		0,050	MnSO ₄ . 4H ₂ O	1,530
H ₃ BO ₃		0,400	ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,220
MnSO ₄ . 4H ₂ O	1,500	CuSO ₄ . 5H ₂ O	0,079	
ZnSO ₄ . 7H ₂ O	0,600	H ₃ BO ₃	0,286	
Na ₂ MoO ₄ . H ₂ O	0,015	Na ₂ MoO ₄ . H ₂ O	0,025	
CuSO ₄ . 5H ₂ O	0,001	Fe-EDTA	36,700	
CoCl ₂ . 6H ₂ O	0,001	Ca (NO ₃) ₂ . 4H ₂ O	1,180	

1.3 Stade de prélèvement des épis

Les talles sont récoltées en fonction des stades de leurs microspores. Ainsi, avant que la fécondation n'ait lieu et lorsque, la majorité des microspores (Figure7 b) sont au stade uni nucléé médian à tardif (Jähne-Gärtner et Lörz, 1999 ; Szarejko, 2001 et 2003 ; Cistué et *al.*, 2003), les prélèvements des talles portant les épis destinés à la culture anthères sont faits. Ce prélèvement est réalisé à l'aide du repère morphologique « R » (Figure7 c), distance entre les

deux dernières feuilles (Mordhorst et Lörz, 1993 ; Szarejko, 2001 ; Cistué et *al.*, 2003) correspondant aux stades requis des microspores. La valeur de ce repère a été déterminée lors de cet essai. Elle était comprise dans l'intervalle entre 4 et 6 cm.

1.4 Prétraitement des épis, mise en culture des anthères et régénération de plantes

Le prélèvement des anthères, leur mise en culture, l'induction des cals et/ou embryons ainsi que la régénération des plantules androgènes ont été réalisés selon les procédures décrites par Szarejko (2001).

Les talles sont prélevées avec l'épi enfermé dans sa gaine foliaire, puis enroulées dans du papier aluminium, dans la hotte à flux laminaire stérile, les épis extraits des talles effeuillées et écourtées, puis stérilisées par aspersion à l'éthanol 70% (Mordhorst et Lörz, 1993 ; Jähne-Gärtner et Lörz, 1999 ; Castillo et *al.*, 2000 ; Cistué et *al.*, 2003) ont été placés dans des boîtes de Pétri contenant une goutte d'eau distillée stérile et soumis à un pré traitement (Figure 7b) au froid (4 °C). Les épis ont subi par la suite deux prétraitements (P1 et P2) afin de sélectionner le plus approprié permettant de changer le développement gamétophytique en développement sporophytique. Elles sont ensuite placées dans un réfrigérateur (Figure 7b) à l'obscurité.

P1: prétraitement au froid à 4°C pendant 7 à 14 jours.

P2: prétraitement au froid à 4°C pendant 21 à 28 jours.

Pour la mise en culture des anthères, après le prétraitement au froid à 4°C, et dans des conditions stériles sous la hotte à flux laminaire (Figure 7e), les épis sont d'abord débarrassés de leurs barbes. Ils sont ensuite désinfectés par immersion dans l'éthanol 70% pendant 5 minutes, et suivie de trois rinçages (3 minutes pour chaque bain) à l'eau distillée stérile (Figure 7f). Les glumes et glumelles sont alors éliminées stérilement. Pour des raisons d'homogénéité, les deux épillets de la base de l'épi et les deux épillets du sommet de l'épi ont été éliminés, seules les anthères des épillets localisées au centre de chaque épi ont été prélevées, les anthères sont extraites et placées dans un milieu dit « d'induction » contenu dans les boîtes de Pétri (Ø 100 mm), à raison de 30 à 40 anthères par boîte selon la taille d'épi (Figure 7g). Le milieu d'induction (Tableau 4) utilisée est conforme à ceux de Jacquard et *al.* (2006) avec cependant deux modifications : le remplacement de la thiamine-HCL par les vitamines FHG et l'agarose par du phytigel (3g/l). Les boîtes ensemencées sont scellées avec du film étirable, et incubées à 26-28 °C à l'obscurité.

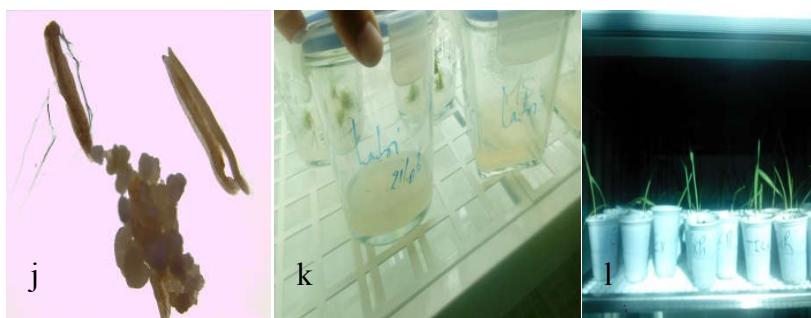
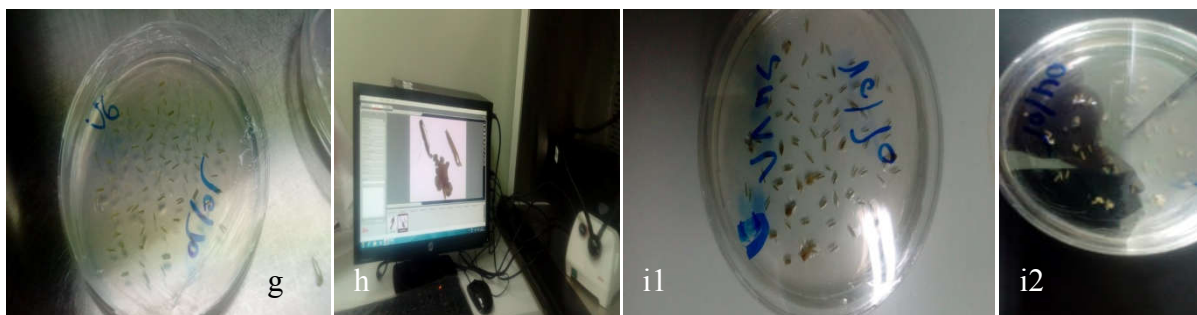
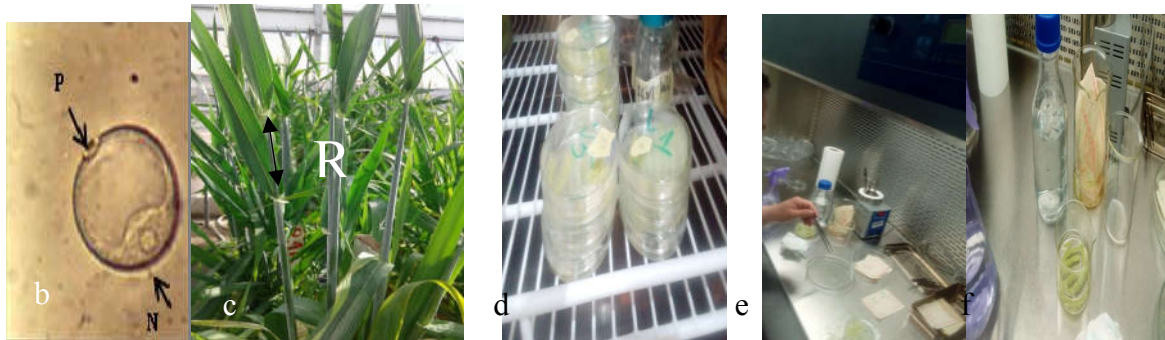
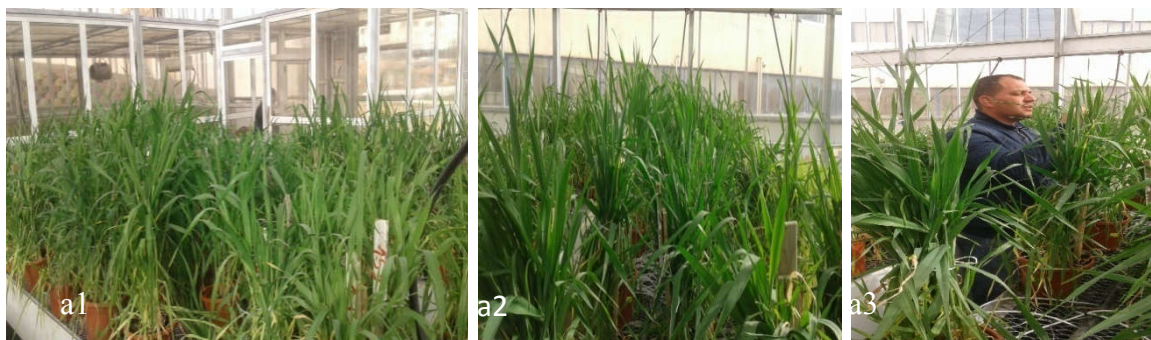


Tableau 4: Milieux de culture utilisés (à partir des milieux de Jacquard et *al.*, 2006).

Composantes	Milieu d'induction	Milieu de régénération (MS basal)
		Macro-éléments mg /L
NH ₄ NO ₃	1650	1650
KNO ₃	1 900	1 900
CaCl ₂ .2 H ₂ O	440	440
MgSO ₄ .7 H ₂ O	370	370
KH ₂ PO ₄	170	170
	Micro-éléments mg /L	
KI	0,83	0,83
H ₃ BO ₃	6,2	6,2
MnSO ₄ .4 H ₂ O	22,3	22,3
ZnSO ₄ .7 H ₂ O	8,6	8,6
Na ₂ MoO ₄ .2 H ₂ O	0,25	0,25
CuSO ₄ .5 H ₂ O	0,025	0,025
CoCl ₂ .6 H ₂ O	0,025	0,025
	Iron source mg /L	
FeNa.EDTA	40	---
Na 2 EDTA	---	37,26
FeSO 4 ·7H 2 O	---	27,8
	Vitamines et organiques mg /L	
Thiamine.HCl	0,4	0,1
Pyridoxine.HCl	---	0,5
Ac. Nicotinique	---	0,5
Glycine	---	2
	Hormones mg /L	
BAP	1mg/l	0,4mg/l
NAA	2mg/l	---
Glutamine	0,75g/l	---
myo-Inositol	0,1g/l	0,1g/l
	Carbon sources g /L	
Maltose	100	---
Mannitol	32	---
Sucrose	---	20
	Gelling agent g/L	
Agar Noble	10g/L	---
Phytigel	---	3 g/L
pH	5,8	5,8

1.6 Analyses statistiques et traitement des données

L'analyse statistique a porté sur la comparaison des différents traitements à l'aide d'une analyse de variance par le logiciel XLSTAT v13.01 (XLSTAT) (addin Soft, New York, USA), suivie d'une comparaison des moyennes (Test de Fisher (LSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95%), et cela pour les deux facteurs (génotype et prétraitement). Cette analyse est portée sur l'ensemble des paramètres mesurés lors de l'androgenèse.

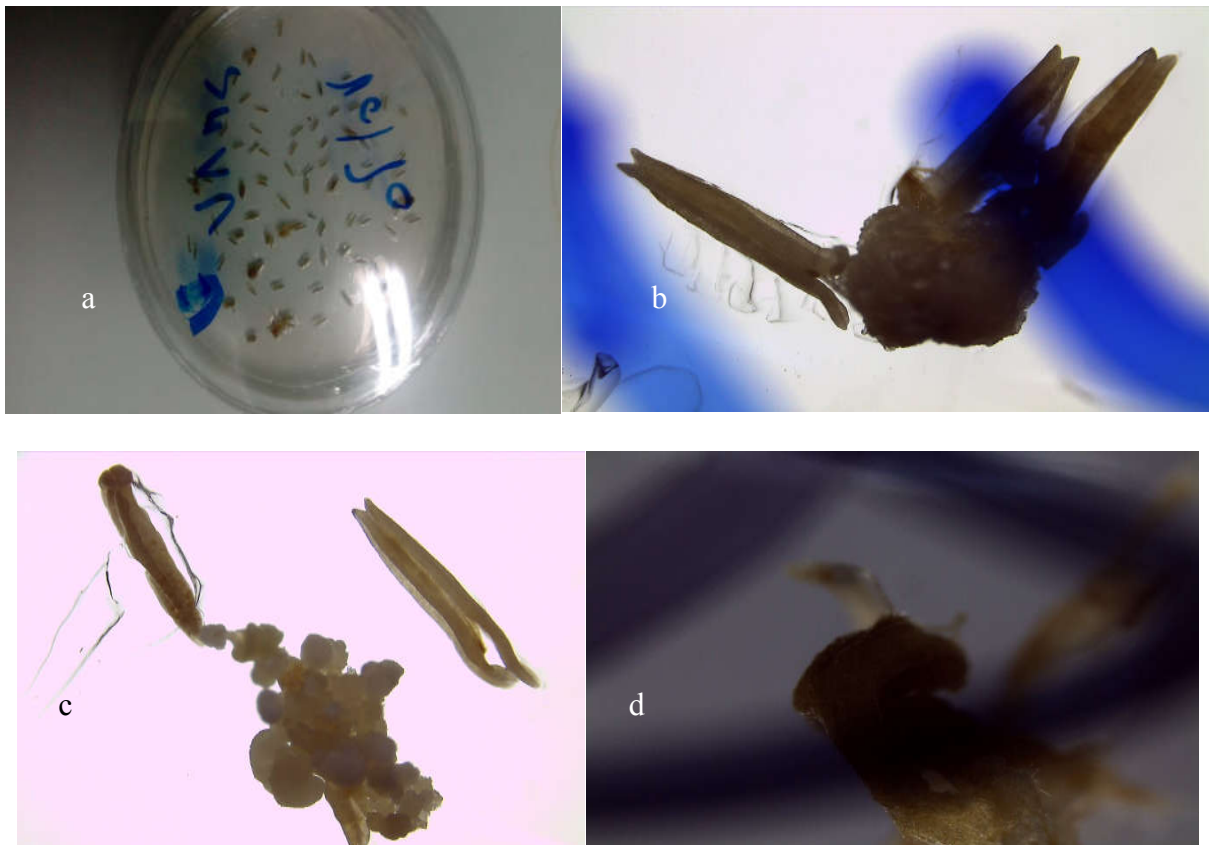
Dans ce travail les paramètres enregistrés comme marqueurs de l'androgenèse sont les suivants :

- Nombre total d'anthères mises en cultures (NAC);
- Nombre d'anthères réactives (NAR), nombre d'embryons produits, nombre total d'anthères callogènes et/ou embryogènes dénombrées pendant 15 jours, à partir des premiers embryons et/ou cals apparus (pour chaque lot de boîtes de même date d'incubation);
- Taux d'induction (Ti%) = nombre d'anthères réactives (callogènes et/ou embryogènes) sur le nombre des anthères mises en culture x 100 ;
- Nombre de plantes régénérées (NPR) ;
- Taux de régénération (Tr%) = nombre total de plantes obtenues (chlorophylliennes et albinos) sur le nombre d'anthères réactives x 100 ;
- Nombre de plantes vertes régénérées (NPV)
- Pourcentage (PV%) de plantes vertes régénérée = Nombre de plantes vertes régénérées sur nombre de plantes régénérées x 100 ;
- Nombre de plantes vertes acclimatées (PVA) ;
- Nombre de plantes fertiles (PF).

2. Résultats et discussion

L'objectif de cette expérience était de comparer la réponse androgénique de quelques variétés d'orge : Saida, Tichedrett et Igri, sous les effets de deux prétraitements des épis au froid à 4°C pendant 7 à 14 jours et 21 à 28 jours, et en fin, des lignées en ségrégation F2 des deux hybrides (Tichedrett × Express et Saida183 × Express) ont été utilisées pour la production de lignées haploïdes doublées (HDs) par culture d'anthères.

La réponse androgénique de chacun des trois génotypes et des deux hybrides (Tichedrett × Express et Saida183 × Express) a été mesurée en comptant les nombre d'anthères réactives, taux d'induction, nombre de plantes régénérées et le taux de régénération.



Une analyse de la variance a été effectuée sur chacune de ces variables et un résumé est présenté dans le Tableau 5. Dans cette expérience, les génotypes et les prétraitements des épis au froid ont été sources de variance significatives pour au moins une des variables. Comme prévu, le génotype avait un impact très significatif ($P < 0,001$) sur les nombre d'anthères réactives, taux d'induction et nombre de plantes régénérées en plus d'avoir un impact significatif ($P < 0,05$) sur le taux de régénération. Surtout, les prétraitements des épis au froid à 4°C ont eu un effet significatif sur tous les paramètres, cet effet allant de ($P < 0,05$) pour le taux de régénération, à très significatif ($P < 0,001$) pour les nombre d'anthères réactives, taux d'induction et le nombre de plantes régénérées. Enfin, Aucun impact significatif de interaction entre Génotypes* Prétraitement au froid (4°C) sur les paramètres mesurés a été observé.

Tableau 5 : Analyse de la variance pour quatre paramètres d'androgène de trois cultivars d'orge.

Sources de variations	DDL		NAR	Ti%	NPR	Tr%
Génotypes		CM	82,292	673,021	14,000	814,437
	2	F	83,451	31,624	24,585	3,802
		Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,042
Prétraitement au froid (4°C)		CM	18,375	226,874	5,042	1419,542
	1	F	18,634	10,660	8,854	6,627
		Pr > F	0,000	0,004	0,008	0,019
Génotypes* Prétraitement au froid (4°C)		CM	1,125	40,196	0,167	331,983
	2	F	1,141	1,889	0,293	1,550
		Pr > F	0,342	0,180	0,750	0,239
Erreur	18	CM	0,986	21,282	0,569	214,210

CM : Carré moyen ; DLL= degré de liberté ; NAR : Nombre d'anthères réactives ; Ti% : Taux d'induction ; NPR : Nombre de plantes régénérées ; Tr% : Taux de régénération.

2.1.1. Effet du génotype

La variabilité observée dans la réponse des génotypes à la culture d'anthères demeure un problème particulièrement important. La fréquence d'induction de cals, d'embryons et la formation de plantes vertes sont souvent fonction du génotype. D'après Lazar *et al.* (1984), trois principaux paramètres déterminent la différence dans la réponse des génotypes : le nombre d'embryons et de cals obtenus à partir des anthères cultivées, la proportion des cals ou des embryons régénérant des plantes, et la proportion de plantes vertes régénérées. Chez le blé, les travaux de Andersen *et al.* (1987) sur un large matériel végétal venant de diverses régions du monde (l'Europe, la Russie, l'Amérique du Nord, l'Asie et l'Afrique) ont permis de mettre en évidence l'influence du génotype et de l'environnement sur la fréquence de régénération de plantes vertes. Les deux facteurs contribuent respectivement 42.5 et 34.9 % de la variation totale.

Dans ce travail l'effet du génotype a été bien marqué pour tous les paramètres androgénétiques. Ceci se traduit par des valeurs moyenne (\pm ES) d'anthères réactives obtenus, soit $8,250 \pm 0,351$ pour le cultivar Igri, $3,875 \pm 0,351$ % pour le cultivar Tichedrett et $2,000 \pm 0,351$ pour Saida183 (Tableau 6). L'effet de génotype hautement significatif ($p \leq 0,001$) pour nombre de plantes régénérées avec une moyenne qui est varié entre $2,875 \pm 0,267$ pour le cultivar Igri et $0,375 \pm 0,267$ pour Saida183 (Tableau 6). Ces résultats sont en accord avec ceux publiés par plusieurs auteurs qui ont décrit l'effet du génotype, avec des taux nettement supérieurs aux nôtres. En effet, Echavarri *et al.* (2008) obtiennent des pourcentages d'induction qui varient en fonction des cultivars, ainsi 171 embryons, pour 100 anthères mises en culture, sont obtenus pour le cv. Igri, considéré comme modèle dans les études portant sur l'androgénèse de l'orge (Jähne *et al.*, 1991) et 31,5 embryons sont obtenus, pour 100 anthères mises en culture, pour le cv. Hop. Kruzckowska *et al.* (2002) obtiennent 53,1 % d'induction à partir du cultivar Mobek et 327 % avec le cultivar Igri.

Les travaux de Fakiri, 1995 cite par Hentour *et al.*, 2016 chez l'orge montrent des taux d'induction de 56,1% pour le cultivar Asni et 38.6% pour Tamelalt. Quant aux travaux d'El Goumi *et al.*, 2014 ils ont révélé, chez le blé, un taux de 1.63% pour le cultivar Aguilal (blé tendre) et 0.14% pour le cultivar Karim (blé dur) et le cas de la culture des microspores chez le blé dur (Labrani *et al.*, 2005), avec un impact de génotype enregistré dès le début de l'androgénèse (Eudes et Chugh, 2009). Cet auteur, ajoute que le temps optimal de transfert des cals pour la régénération est aussi très important, il est défini entre 40-60 jours. En effet,

les cals les plus âgés ont tendance à ne produire que des plantes albinos, tandis que les plus jeunes ne régénèrent pas.

Tableau 6 : Réponse androgène de trois génotypes d'orge en culture d'anthères. La valeur moyenne (\pm ES) de quatre paramètres androgéniques obtenus pour chaque génotype.

Génotypes	NAR	Ti %	NPR	Tr %
Igri	8,250 \pm 0,351 a	23,600 \pm 1,631 a	2,875 \pm 0,267 a	34,412 \pm 5,175 a
Tichedrett	3,875 \pm 0,351 b	12,083 \pm 1,631 b	0,875 \pm 0,267 b	21,250 \pm 5,175 ab
Saida183	2,000 \pm 0,351 c	5,476 \pm 1,631 c	0,375 \pm 0,267 b	14,583 \pm 5,175 b

NAR : Nombre d'anthères réactives ; Ti% : Taux d'induction ; NPR : Nombre de plantes régénérées ; Tr% : Taux de régénération. Dans une colonne, les valeurs suivies d'une lettre différente sont significativement différent selon le test de Fisher (LSD) à $\alpha = 0,05$.

L'observation de la Figure 9, met en évidence l'effet du génotype sur l'induction de formation d'anthères callogènes et/ou embryogènes. Les taux d'induction andro-génétique obtenus varient de 5,47% pour le cultivar Saida183, 12,08% pour le cultivar Tichedrett à 23,6% pour Igri. Une induction de l'ordre de 72,3 % est obtenue par Jacquard *et al.* (2003) sur ce même dernier génotype. Marchetti *et al.* (1995) utilisent 12 cultivars d'orge et obtiennent des pourcentages d'induction variant de 4,2 %, taux le plus faible obtenu à partir du génotype Sabarlis, à 44,7 %, taux le plus élevé obtenu à partir du génotype Arda. Une large variation du pourcentage d'induction est également obtenue par Kahrizi *et al.* (2011) en fonction des génotypes, ils utilisent 12 génotypes iraniens et obtiennent des taux d'induction qui varient entre 3,75 % et 62,91 %. Ces résultats confirment que les trois variétés répondent différemment sur le milieu d'induction. Il y a donc un effet du génotype chez l'orge (Sibi et Fakiri, 2000). Cette différence génotypique est liée à des facteurs génétiques en relation avec le processus de déroulement de l'androgenèse (Demarly et Sibi, 1996).

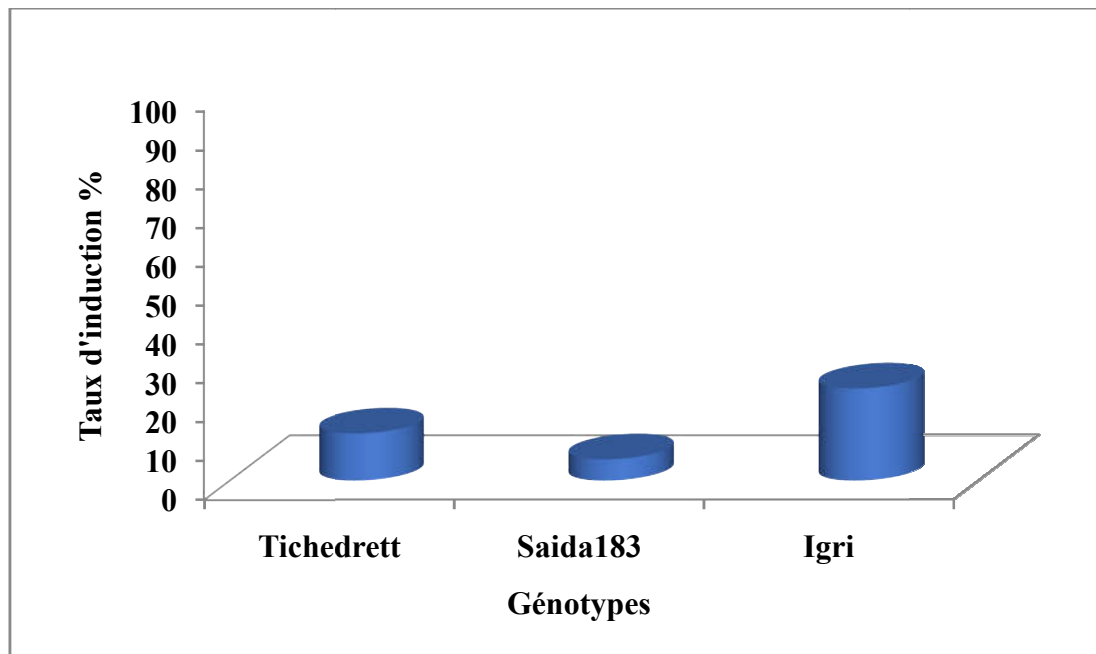


Figure 9: Taux d'induction (%) de la culture d'anthères par génotype (tous prétraitements confondus).

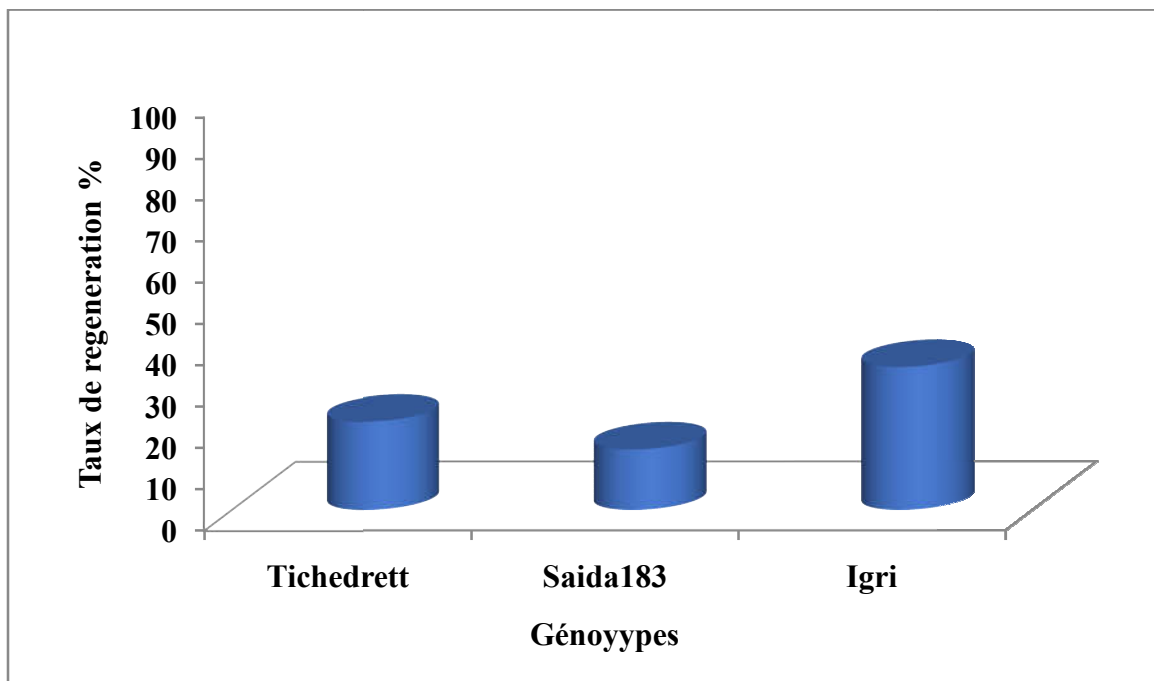


Figure 10: Taux régénération (%) de la culture d'anthères par génotype (tous prétraitements confondus).

2.1.2. L'effet de prétraitement des épis au froid

Pour mieux définir les conditions optimales d'obtention d'embryons et plantes vertes, nous avons testé, l'effet du prétraitement des épis au froid (4°C) pendant 7 à 14 jours et 21 à 28 jours. Dans ce travail, les prétraitements des épis au froid à 4°C ont eu un effet significatif sur tous paramètres androgéniques. Ceci se traduit par des valeurs moyennes (\pm ES) d'anthères réactives obtenus, soit $5,583 \pm 0,287$ avec prétraitement des épis au froid (4°C) 21 à 28 jours et $3,833 \pm 0,287$ pendant 7 à 14 jours (Tableau 7). L'effet de prétraitement des épis au froid (4°C) hautement significatif ($p \leq 0,001$) pour le taux d'induction avec une moyenne qui est varié entre $16,794 \pm 1,332$ pour la durée 21 à 28 jours et $10,645 \pm 1,332$ pour 7 à 14 jours (Tableau 7). Les résultats révèlent une différence significative entre les deux prétraitements au froid pour les trois variétés étudiées, le prolongement de la durée de 21 à 28 jours améliore la capacité de régénérer des plantes chlorophylliennes. Le meilleur taux de régénération des plantes vertes a été observé avec un prétraitement au froid de 21 à 28 jours. Nous avons remarqué que la moyenne de taux régénération, est passée de 15,7% pendant 7 à 15 jours de prétraitement au froid (4°C) à 31% avec 21 à 28 jours

Tableau 7 : Effets de différents prétraitements (La valeur moyenne \pm ES) sur les quatre paramètres androgéniques.

Prétraitement au froid (4°C)	NAR	% Ti	NPR	% Tr
21 à 28 jours	$5,583 \pm 0,287$ a	$16,794 \pm 1,332$ a	$1,833 \pm 0,218$ a	$31,106 \pm 4,225$ a
7 à 14 jours	$3,833 \pm 0,287$ b	$10,645 \pm 1,332$ b	$0,917 \pm 0,218$ b	$15,724 \pm 4,225$ b

NAR : Nombre d'anthères réactives ; Ti% : Taux d'induction ; NPR : Nombre de plantes régénérées ; Tr% : Taux de régénération. Dans une colonne, les valeurs suivies d'une lettre différente sont significativement différent selon le test de Fisher (LSD) à $\alpha = 0,05$.

Le changement de la voie d'orientation des microspores d'un programme gamétophytique vers une voie sporophytique est induit pendant le prétraitement des anthères (Kruczkowska et *al.* 2002). L'influence du prétraitement au froid sur la réactivité des anthères a été évaluée chez plusieurs génotypes d'orge. Sunderland et *al.* (1984) rapportent que chez l'orge, le prétraitement au froid favorise un changement de la voie d'orientation du pollen d'un programme gamétophytique vers un développement sporophytique. Le prétraitement des épis serait fortement impliqué dans l'amélioration de l'efficacité de la culture d'anthères

Les résultats portés sur la Figure 11, montrent qu'il y a un effet du prétraitement au froid à 4°C sur taux d'induction et taux de régénération. Les taux obtenus sont variables en fonction du génotype. Ainsi, une longue durée 21 à 28 jours au froid assure une meilleure réponse andro-génétique pour les trois génotypes Igri, Tichedrett et Saida183. Lorsque les épis du génotype Igri sont prétraités au froid (4°C), nous avons remarqué que le taux d'induction est passé de 15.5% pendant (7 à 14jours) à 29% avec 21 à 28 jours. Ce même phénomène est observé chez la variété Tichedrett les taux enregistrés sont respectivement pour le prétraitement 21 à 28 jours et 7 à 14jours de 14% et 10% (Figure11). Par contre, une légère amélioration du taux d'induction a été enregistrée chez la variété Saida183 avec le prétraitement au froid 21 à 28 jours.

Il faut signaler que la durée de prétraitement favorable à une induction n'est pas obligatoirement celle nécessaire à une régénération. En effet, Igri présente un taux de régénération maximal soit 36% en plantes chlorophylliennes avec 21 à 28 jours de prétraitement, alors que le taux d'induction est maximal soit 29% avec une même durée de prétraitement. Pour la variété Tichedrett, la réponse maximale de taux de régénération (28%) correspond à un prétraitement au froid de 21 à 28 jours. La variété Saida183 présente une forte capacité de régénération (30%) dans la durée prétraitement de 21 à 28 jours et dans d'autres elle n'a pas pu régénérer aucune plantes.

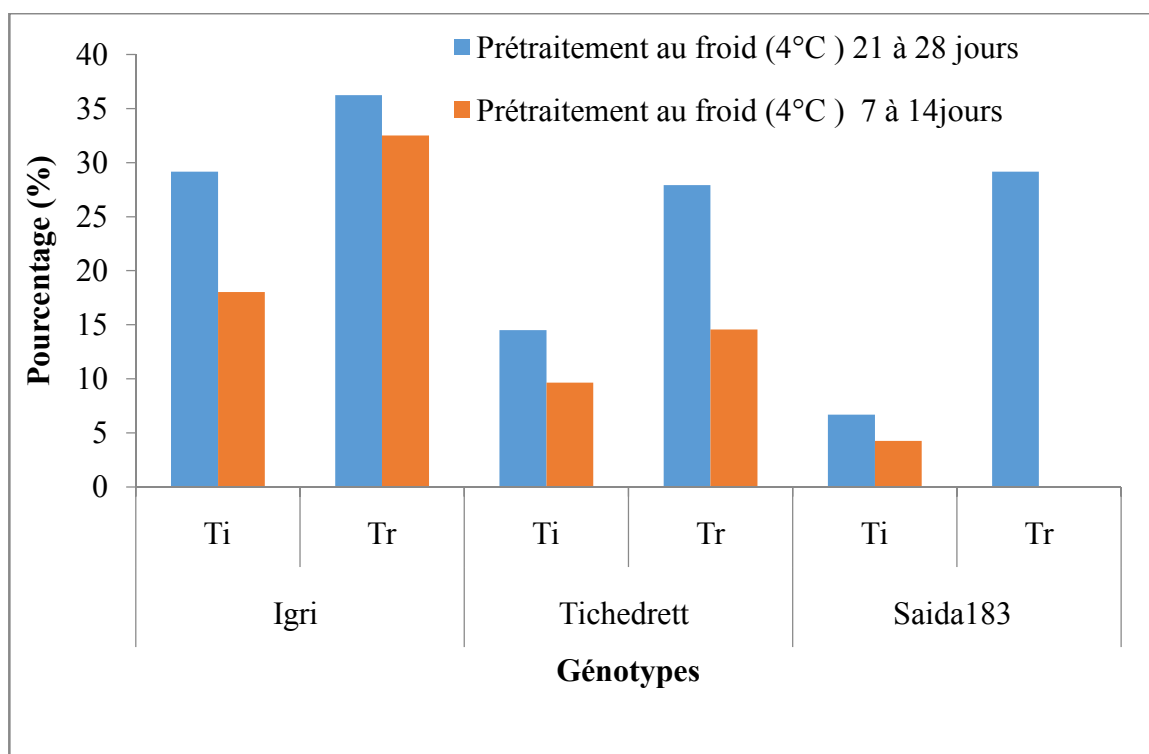


Figure 11 : Effet du prétraitement au froid sur le taux d'induction (Ti%) et la régénération (Tr%) andro-génétique pour les trois génotypes.

Certains auteurs comme Powell (1988) rapportent que le prétraitement des épis au froid à 4°C, pendant 14 jours ou 21 jours, permet une amélioration considérable de la réponse des anthères à produire des plantes vertes. Un prétraitement au froid prolongé augmente généralement la proportion des cals et de plantes vertes et peut induire un doublement de stock chromosomique (Eudes et Chugh, 2009). Le froid améliore le taux d'induction et de régénération de culture des anthères chez le génotype Tamelalt (Hentour et *al.*, 2016). Selon Huang et Sunderland (1982) le prétraitement des épillets à 4°C est aussi efficace que celui des épis entiers. Le prétraitement à une température élevée (25°C) serait néfaste. La meilleure réponse a été observée chez le cultivar Heriot, la réactivité des anthères est passée de 3 % avant le prétraitement à 4°C pendant 14 jours à 52 % après le prétraitement.

Les procédures de prétraitement diffèrent selon les laboratoires. Des pointes de refroidissement à 4 ° C peuvent être efficaces avec différentes périodes de traitement, celle de 28 jours étant la plus fréquente. Huang et Sunderland (1982) ont recommandé la période de 21 à 35 jours. Dans les expériences menées par Ohnoutková et *al.* (2000), des résultats

(Tableau 8). Bien que les rendements obtenus demeurent relativement bas, ils indiquent néanmoins que l'hybride Tichedrett × Express a mieux répondu que l'hybride Saïda183× Express. Plusieurs travaux sur l'orge, ceux de Jähne et *al.* (1991), Li et *al.* (1993), Cistué et *al.* (1994) et Caderra et *al.* (2004), ont montré que le pourcentage en plantules vertes régénérées est génotype dépendant, ceci explique les résultats obtenus dans la présente expérimentation. Caredda et *al.* (2000), rapportent avoir obtenu 87,8 % de plantes chlorophylliennes à partir de la variété Igri et 0,3 % de plantes vertes seulement à partir de la variété Cork. Jacquard et *al.* (2003), obtiennent 89,2 % de plantules vertes à partir de la variété Igri, ils rapportent que dans certains cas 100 % des plantes régénérées à partir de certains génotypes sont albinos. Un problème majeur inhérent à l'androgénèse et qui réduit son efficacité est l'albinisme (Makowska et Oleszczuk, 2014). Ramla et *al.*, 2013 obtenu 93,61 % de plantes albinos à partir de la culture d'anthère de l'hybride Saïda × Plaisant, 91,42 % à partir de Saïda × Express, 87,5 % à partir de Saïda × Rihane, 63 % à partir d'Esterel × Ras el mouche et 53,15 % à partir de Rihane × Ras el mouche.

Malgré les progrès apportés par plusieurs travaux aux différents facteurs clés qui contrôlent le processus de la culture d'anthère (Hunter, 1988 ; Roberts-Oehlschlager et Dunwell, 1990 ; Höekstra et *al.*, 1993 ; Scott et Lyne, 1994 ; Olsen, 1987 ; Mordhörst et Lörz, 1993 ; Wojnarowicz et *al.*, 2002 ; Ziauddin et *al.*, 1992) et qui ont permis le succès actuel de la technique, un certain nombre de facteurs continuent d'influencer fortement son efficacité (Sangaré, 2008). Deux des trois paramètres, le pourcentage d'anthères réactives et le pourcentage de régénération, qui déterminent la réponse des génotypes à la culture d'anthères ont montré des résultats qui demeurent relativement faibles dans la présente expérimentation (15,16% d'anthères réactives et 21,99% de plantes régénérées) (Tableau 8). A ce propos, un travail d'optimisation de ces paramètres mérite d'être entrepris même si, de telles optimisations sont le plus souvent assez complexes en raison du nombre de facteurs qui les régissent (Sangaré, 2008). En effet, malgré tous les efforts, les progrès réalisés, l'haplo-diploïdisation n'est toujours pas maîtrisée. Gallais (2013) considère que la maîtrise de cette technique bouleverserait la création variétale, il s'étonne qu'une technique aussi importante pour l'amélioration des plantes n'ait pas fait l'objet de recherches pour assurer des taux élevés de production d'HDs quels que soient l'espèce et le génotype.

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

Résumé

Soixante-six lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge, issues de la culture d'anthères à partir d'hybrides Tichedrett × Express, Tichedrett × Plaisant et Tichedrett × Exito et leurs parents, ont été évaluées dans un dispositif expérimental en bloc aléatoire complètement randomisés avec trois répétitions. Au cours de la campagne agricole 2017/2018, l'expérimentation a été menée dans deux stations expérimentales de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) : Sétif (Hauts plateaux) et El-khroub (Hautes plaines intérieures), qui sont caractérisés par un climat semi-aride. douze caractères agronomiques quantitatifs ont été évalués, tels que : l'indice de récolte, poids de 100 graines, nombre des graines par épi, rendement en graines, nombre des épis par m², teneur relative en eau, hauteur de la plante, longueur épi, longueur des barbes, longueur col, poids épi, poids des graines par épi, surface foliaire, poids spécifique foliaire, nombre de jours de date d'épiaison. L'analyse de la variance révèle un effet génotype significatif pour l'ensemble des caractères mesurés, hormis la surface foliaire et le poids spécifique foliaire. Cette analyse révèle également un effet environnemental significatif pour tous les caractères étudiés sauf le nombre d'épis par m², la longueur des barbes et le poids spécifique foliaire. L'effet de l'interaction génotypes x environnement significatif pour l'ensemble des caractères mesurés, hormis le poids spécifique des feuilles et la surface foliaire. Une corrélation positive significative entre les douze caractères agronomiques, allant de 0,45 à 0,87, a été observée entre le nombre de grains par épi, le poids de 1000 de grains, le nombre d'épi par m², le rendement des grains et l'indice de récolte. L'analyse en composantes principales (ACP) a montré que le cumul des pourcentages d'inertie absorbée par les quatre premiers axes est de 72 %, le plan factoriel 1-2 et 2-3 contient l'essentiel de l'information. La classification hiérarchique ascendante (CHA) fait ressortir trois groupes. Le deuxième groupe est le plus intéressant caractérise par des valeurs les plus élevées de l'indice de récolte, poids 1000 grains et rendement en grains, cependant il est constitué des lignée : HD10, HD11, HD38, HD39, HD46, HD126 et HD119 qui sont les meilleures pour améliorer la productivité.

Mots clefs : Caractères agronomiques, Haploïdes doublées, *Hordeum vulgare* L, Semi-aride, Tichedrett.

Introduction

Depuis les années 70, l'effort national s'est appuyé sur les méthodes de sélection classiques, reposant essentiellement sur des populations en ségrégation introduites (Ceccarelli, 1996). De nouvelles variétés ont fait leurs apparitions mais en raison de leurs faibles potentiels d'adaptabilité à l'environnement de production, les deux variétés Tichedrett et Saïda, issues de la sélection dans les populations locales, demeurent très largement utilisées et couvrent l'essentielle des superficies qu'occupe cette espèce (Ceccarelli et *al.*, 2011 ; Rahal-Bouziane et *al.*, 2015).

Dans les régions à conditions de culture défavorables, la création de variétés à gain génétique constitue un important objectif de recherche (Ceccarelli and Impiglia, 1998). L'obtention de ces variétés est cependant, pour ces conditions, conditionnée par l'utilisation d'un germoplasme local et par la mise en œuvre du processus de sélection dans l'environnement même pour lequel ces nouvelles obtentions sont destinées (Ceccarelli, 1996 ; Ceccarelli et *al.*, 2004). Comparativement à l'amélioration génétique conventionnelle longue et fastidieuse, les biotechnologies végétales et plus précisément les techniques de production d'haploïdes, constituent un puissant outil d'obtention rapide de nouvelles lignées pures à partir d'hybrides en ségrégation permettant ainsi, la simplification et le raccourcissement du cycle de sélection (Ma et *al.*, 1999 ; Gomez-Pando et *al.*, 2009).

L'adaptabilité d'une variété à divers environnements est généralement testée par le degré d'interaction avec les différents environnements dans lesquels elle est cultivée. Un génotype particulier ne peut exprimer tout son potentiel génétique que dans des conditions environnementales optimales. Par conséquent, il a été observé que la performance relative d'un ensemble de variétés est modifiée lorsque des comparaisons sont effectuées sur une série d'environnements. Depuis lors, l'objectif des sélectionneurs d'orge est de développer de plus en plus de variétés caractérisées à la fois par la stabilité et un bon niveau de rendement. Le comportement instable des variétés, qui montre des fluctuations de rendement entre les différents environnements, est dû à la présence d'interactions Génotype \times Environnement (Alberts, 2004). En raison de leur importance dans la sélection et l'évolution des plantes, les caractères quantitatifs de la $G \times E$ ont fait l'objet d'études approfondies pour plusieurs cultures, dont l'orge (Teulat et *al.* 2001; Pillen et *al.* 2003; Peighambari et *al.* 2005; Von Korff et *al.*, 2006; Sameri et *al.*, 2006; Shahinnia et *al.*, 2006). Dans cette perspective, les objectifs de cette étude sont d'évaluer les lignées de haploïdes doublées (HDs) d'orge à six

rang, issues de la culture d'anthères à partir d'hybride Tichedrett × Express, Tichedrett × Plaisant et Tichedrett × Exito et leurs parents, pour leurs caractères agronomiques, et d'analyser leur performance sur deux sites dans des conditions pluviales des zones semi-arides algériennes.

1. Matériel et Méthodes

1.1. Description du site expérimental

L'expérimentation a été menée dans deux stations expérimentales de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) : Sétif et El-khroub, au cours de la campagne agricole 2017/2018. Les stations sont situées dans la région des hauts plateaux, caractérisés par un climat semi-aride.

Le premier site expérimental installé au niveau de la station de l'institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif qu'est situé à 4 km au sud-ouest de la ville de Sétif, avec les coordonnées géographiques 36° 09 N et 5° 22 E, à une altitude de 979m. 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 (Chennafi et *al.*, 2006). Le sol, de texture limono-argileuse et de faible profondeur, appartient à la catégorie des sols steppiques, généralement pauvres en matière organique, qui varie de 1,3%, en surface, à 2,4% en profondeur (Kribaa et *al.*, 2001; Chennafi et *al.*, 2008b). Le taux de calcaire total est de 31,3 %, la densité apparente est de 1.35 g cm⁻³. La capacité au champ est de 25% et le point de flétrissement se situe à 12% (Chennafi et *al.*, 2006).

Le deuxième site expérimental de la station de l'institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) d'El-khroub qui 'est situé à une quinzaine de kilomètres au Sud-est de la ville de Constantine, fait partie des hautes plaines intérieures algériennes (Benbelkacem et Kellou, 2000). Ses coordonnées géographiques sont : Latitude : 36° 29 N et Longitude : 6° 41E, à une altitude de 640m. La zone d'El-Khroub est caractérisée par un climat continental semi-aride à hiver froid et a été chaud et sec avec une pluviométrie annuelle de 478 mm. Caractérisée par un sol brun à la surface et brun-ocre en profondeur, de texture argileuse à argilo-limoneuse, le taux d'argile varie de 30 à 39%, ces sols ont une caractéristique spécifique : forte rétention en eau, apparition en période sèche des fissures de retrait. Les caractéristiques chimiques indiquent que le sol est basique avec un pH alcalin (8.30-8.40) et moyennement riche en calcaire dont la teneur est de 12%. La teneur en matière organique est faible (0,95-1,25%) (Derbal, 2015).

1.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est une population de 66 lignées de double haploïdes (HDs) et de quatre génotypes parentaux à six rangs (Tableau 9). Ces lignées obtenues à partir de la culture d'anthères de trois l'hybrides F2 (Tichedrett × Expresse, Tichedrett × Plaisant et Tichedrett × Exito). Tichedrett est une orge à 6 rangs, issue de la sélection à l'intérieure des populations locales des hautes plaines de l'Est (Benmahammed et *al.*, 2001). C'est une variété de type demi-hiver rustique, Elle se distingue par une large adaptation aux hauts plateaux de l'Est (Kadi et *al.*, 2010), Tichedrett est une variétés locale résistante à la sécheresse et à faible rendement (Khaldoun et *al.*, 1990) et les cvs Express, Plaisant et Exito sont des génotypes à rendement élevé et sensible au stress de sécheresse (Teulat-Merah et *al.*, 1998). La création des lignées de doubles haploïdes par la culture anthères a été réalisé dans le cadre d'un projet à caractère socio-économique Orge de l'INRAA : "Caractérisation, Sélection et Valorisation de diverses collections d'orge par différents outils conventionnels et biotechnologiques" et les lignées évaluées ont été obtenus par Dr. Ramla Dalila de l'INRAA.

1.3. Dispositif expérimental

Le matériel végétal est mis en place dans un dispositif expérimental en bloc aléatoire complètement randomisé avec trois (03) répétitions (Figure 12 et 13). La longueur de la parcelle élémentaire est de 2,5 m et 1,20 m de largeur. L'espace entre les parcelles est de 0,50 m. Chaque parcelle est constituée de 6 lignes espacées de 0,20 m.

L'expérimentation est mise en place sur des parcelles dont les techniques culturales adoptées sont celles préconisées par la station de Sétif et El-khroub. Le précédent cultural est une jachère travaillée. Le travail du sol a débuté par un labour profond au mois de février 2017 avec une charrue à disques, le labour profond est repris par deux fois, un 1^{er} recroisement a été effectué au mois d'Octobre 2017 avec un cover-crop, suivi par un 2^{ième} recroisement en perpendiculaire au mois de novembre 2017, l'engrais de fonds mono ammonium phosphate (MAP) est épandu à raison de 80 kg ha⁻¹. Cette opération est suivie par un appareil à dents (cultivateur) et une barre désherbeuse pour niveler le sol et préparer le lit de semence au mois de novembre. Au stade de début tallage (mois de février), le 1^{er} épandage d'engrais azoté est apporté à raison de 50 kg/ha et un 2^{ième} apport est effectué à la fin du tallage avec 50 kg/ha sous forme d'urée à 46%.

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

Tableau 9 : Liste des géotypes utilisés (4 variétés parentales et 66 lignées haploïdes doublés).

Géotypes et lignées	Code	lignées	Code
Tichedrett	Ti	HD131 F1Tichedrett*express	HD131
Express	EXP	HD130 F1Tichedrett*express	HD130
Plaisant	PLAI	HD52 F2 Tichedrett*express	HD52
Exito	EXI	HD94 F1Tichedrett*express	HD94
HD3 F2 Tichedrett*express	HD3	HD95 F1Tichedrett*express	HD95
HD4 F2 Tichedrett*express	HD4	HD96 F1Tichedrett*express	HD96
HD8 F2 Tichedrett*express	HD8	HD98 F1Tichedrett*express	HD98
HD12 F2 Tichedrett*express	HD12	HD99 F1Tichedrett*express	HD99
HD18 F2 Tichedrett*express	HD18	HD104 F1Tichedrett*express	HD104
HD19 F2 Tichedrett*express	HD19	HD106 F1Tichedrett*express	HD106
HD10 F2 Tichedrett*express	HD10	HD108 F1Tichedrett*express	HD108
HD22 F2 Tichedrett*express	HD22	HD110 F1Tichedrett*express	HD110
HD23 F2 Tichedrett*express	HD23	HD112 F1Tichedrett*express	HD112
HD27 F2 Tichedrett*express	HD27	HD113 F1Tichedrett*express	HD113
HD28 F2 Tichedrett*express	HD28	HD114F1Tichedrett*express	HD114
HD11 F2 Tichedrett*express	HD11	HD116 F1Tichedrett*express	HD116
HD14 F2 Tichedrett*express	HD14	HD117 F1Tichedrett*express	HD117
HD15 F2 Tichedrett*express	HD15	HD119 F1Tichedrett*express	HD119
HD34 F2 Tichedrett*express	HD34	HD120 F1Tichedrett*express	HD120
HD35 F2 Tichedrett*express	HD35	HD122 F1Tichedrett*express	HD122
HD38 F2 Tichedrett*express	HD38	HD125 F1Tichedrett*express	HD125
HD21 F2 Tichedrett*express	HD21	HD126 F1Tichedrett*express	HD126
HD44 F2 Tichedrett*express	HD44	HD127 F1Tichedrett*express	HD127
HD47 F2 Tichedrett*express	HD45	HD132 F1Tichedrett*express	HD132
HD47 F2 Tichedrett*express	HD47	HD133 F1Tichedrett*express	HD133
HD48 F2 Tichedrett*express	HD48	HD134 F1Tichedrett*express	HD134
HD49 F2 Tichedrett*express	HD49	HD26F2 Tichedrett*express	HD26

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

Suivi **Tableau 9** : Liste des génotypes utilisés (4 variétés parentales et 66 lignées haploïdes doublés).

lignées	Code
HD30 F2 Tichedrett*express	HD30
HD39 F2 Tichedrett*express	HD39
HD38 F2 Tichedrett*express	HD38
HD46 F2 Tichedrett*express	HD46
HD62 F2 Tichedrett*express	HD62
HD84 F2 Tichedrett*express	HD84
HD85 F2 Tichedrett*express	HD85
HD89 F2 Tichedrett*express	HD89
HD90 F2 Tichedrett*express	HD90
HD91 F2 Tichedrett * plaisant	HD91
HD92 F2 Tichedrett * plaisant	HD92
HD74 F1Tichedrett*Exito	HD74
HD77 F2Tichedrett*Exito	HD77
HD80 F2Tichedrett*Exito	HD80
HD82 F2Tichedrett*Exito	HD82
HD135 F1Tichedrett*Exito	HD135

Le semis a été réalisé le 11 décembre 2017 et 29 décembre 2017 au niveau de la station de Sétif et El-khroub respectivement, avec un semoir expérimental de type HEGE de largeur de 1,2m. La densité de semis utilisée est de 275 grains/m².

Le désherbage a été réalisé au stade début tallage de la culture durant le mois de mars en utilisant le Topik à dose 1 L/ha plus le Zoom à dose 150 g/ha.

A maturité, un échantillon d'un mètre linéaire pour chaque parcelle élémentaire est moissonné manuellement. Le rendement en grains est déterminé en g/m² puis exprimé en qx.ha⁻¹. La récolte des parcelles expérimentales a été réalisée durant le mois de Juillet 2018 sur les deux sites d'études, selon le degré de maturité des génotypes, en utilisant une moissonneuse batteuse expérimentale HEGE 90.

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.



Figure 12 : Dispositif expérimental au niveau de l'ITGC El-khroub.



Figure 13 : Dispositif expérimental au niveau de l'ITGC Sétif.

1.4. Suivi et notations

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

Au stade d'épiaison, quatre feuilles ont été échantillonnées par parcelle de chaque lignée HDs et leurs parents pour déterminer la teneur relative en eau des feuilles (TRE, %), la surface foliaire (SF, cm²) et le poids spécifique des feuilles (PSF, mg.cm²).

La surface de la feuille étandard est estimée selon Spagnoletti-Zeuli et Qualset (1990) et Bekherchouche et *al.* (2009). Elle est égale au produit de la longueur de la feuille par sa plus grande largeur, mesurée sur un échantillon de 5 feuilles étendants prises au hasard au stade épiaison multiplié par un coefficient. $SF (cm^2) = 0.607(L \times l)$. Où SF est la surface foliaire, 0.607 est le coefficient de régression de la surface estimée à partir du papier grammage sur celle déduite par le produit ($L \times l$), L et l sont la longueur et la largeur de la feuille moyenne.

Le poids spécifique des feuilles (PSF, mg.cm²) a été calculé selon la formule suivante : $PSF = PF/SF$. Ou PF (mg) est le poids frais des feuilles et SF (cm²) est la surface foliaire (Araus et *al.*, 1998 in Zeghida et *al.*, 2004). Les mêmes échantillons de feuilles ont été utilisés pour mesurer la teneur relative en eau des feuilles (TRE) par la méthode de Barrs et Weartherly (1962) décrite par Pask et *al.*, (2012). Les feuilles échantillonnées sont coupées à la base du limbe, elles sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (PF). Ces feuilles sont mises par la suite dans des tubes à essai remplis d'eau distillée et placés à l'obscurité dans un endroit frais, après 24h les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, pesées de nouveau pour obtenir le poids de la pleine turgescence (PT). Les échantillons sont enfin mis à l'étuve réglée à 80°C pendant 48h et pesés pour avoir leur poids sec (PS). La teneur relative en eau est calculée par la formule suivante (la formule de Clarke et McCaig, 1982) :

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

Où :

TRE = teneur relative en eau foliaire (%).

PF = poids de la matière fraîche foliaire (mg).

PS = poids de la matière sèche foliaire (mg).

PT = poids de la matière turgide foliaire (mg).

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

Au stade maturité, cinq plantes ont été échantillonnées par parcelle pour déterminer : La hauteur de la plante (HP, cm) est mesurée avant la récolte des essais. Elle est prise en cm du sol jusqu'à la pointe de l'épi, barbes non incluses.

La longueur du col (LC, cm) est mesurée aussi au même stade et sur les mêmes tiges, elle représente la longueur prise du dernier nœud jusqu'au premier article de l'épi.

La longueur de l'épi (LE) a été mesurée en centimètre (cm) de la base de l'épi jusqu'au sommet en excluant les barbes.

Longueur des barbes (LB, cm) a été déterminée sur les mêmes épis, elle est mesurée à partir de l'extrémité supérieure de l'épi jusqu'à celle des barbes.

Le nombre d'épis (NE), le rendement en grains (RDT, g/m²), le poids des épis (PE, g/m²), poids des graines par épi (PGE, g/épi) et l'indice de récolte, ont été déterminés à partir des échantillons de végétation récoltés au stade maturité d'un segment de rang de 1 m de long et ramenés au m². Le poids de 1000 grains est déterminé par comptage et leur pesage à la récolte.

Les nombres de grains par épi (NGE) et de grains par m² ont été déduits par calcul, en utilisant les données relatives au rendement en grains, au poids de 1000 grains et au nombre d'épis produit par unité de surface :

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

$$NGE = NGM^2/NE$$

Où

NGM² = nombre de grains produits par m².

RDT = rendement en grains (g/m²).

PMG = poids de 1000 grains (g).

NE = nombre d'épis comptés par m².

NGE = nombre moyen de grains par épi.

1.5. Méthodes d'analyse statistique

L'analyse de la variance des blocs aléatoires a été calculée en utilisant un essai de type III dans la procédure de modèle linéaire général (PROC GLM) du Logiciel SAS (Statistical Analysis System), version 9.00 (sas institut, 2002 Carry, Etats Unis). Pour chaque environnement et pour chaque caractère, les coefficients de variation et les moyennes de traitement ont été comparés statistiquement à l'aide du test Student-Newman-Keuls à alpha =

probabilité de 0.05, Le coefficient de corrélation de Pearson entre les caractères a été également calculé.

Les données collectées ont été ensuite soumises à une technique d'analyse multivariée, l'analyse en composantes principales (ACP) et classification hiérarchique ascendante (CHA), l'ACP est une méthode exploratoire et descriptive (Dagnelie, 1986). Elle est utilisée pour mieux visualiser les liaisons complexes qui existent entre les variables mesurées et les différents géotypes étudiés. L'ACP et CHA ont été réalisés avec le logiciel XLSTAT v13.01 (XLSTAT) (addin Soft, New York, USA).

2. Résultats et discussion

2.1. Caractéristiques climatiques des sites expérimentaux

Les données climatiques utilisées durant la période de l'expérimentation concernent la pluviométrie, et les températures minima et maxima. Elles sont obtenues à partir de la station météorologique (l'Office National de la Météorologie) proche du site expérimental.

2.1.1. Station de l'ITGC Sétif :

La campagne agricole 2017/2018 a été la référence du point de vue climatique pour la région des hauts plateaux. Le cumul pluviométrique, la bonne répartition de pluies et la température ambiante de cette campagne ont influé directement sur le comportement de la végétation et les rendements qui restent parmi les meilleurs depuis plus d'une décennie.

Le cumul pluviométrique enregistré durant cette campagne (442.1 mm) été inférieur par rapport à la moyenne ONM (451,6mm sur 35 années). Le mois le plus sec est janvier avec un cumul de 13.90 mm, par contre le mois le plus pluvieux est le mois de Mars avec un cumul de 90.4 mm (Figure 14). On a constaté durant cette campagne, une répartition régulière en matière de pluviométrie et les cultures des différents programmes ont reçu une lame d'eau suffisante surtout dans les périodes les plus critiques.

La quantité de pluie enregistrée durant les quatre premiers mois de la campagne (Septembre 40 mm, Octobre 10.7 mm, Novembre 55.7 mm et décembre 33.5) était suffisante pour la préparation du lit de semences.

La température minimale indique que les mois les plus froids sont janvier et février qui accusent les plus basses valeurs. En effet, les températures enregistrées varient de 1.2 °C et 0.2 °C respectivement. Les températures maximales sont repérées au début de la saison et fin de saison est de 28.3 °C et 21.33 °C (Figure 14).

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

Durant cette campagne les gelées sont importantes, le cumul annuel est de 60 jours (Annexe2). Elles apparaissent entre Novembre et Mars, mais elles restent concentrées durant le trimestre Décembre, Janvier et Février. En Février la gelée est considérable et atteint 18 jours. Le mois de Mars de cette campagne affiche des valeurs moyennes par rapport aux années précédentes (environ 05 jours). (Annexe 2).

2.1.2. Station de l'ITGC El-khroub :

La campagne 2017/2018 a été inférieure en quantité pluviométrique cumulée (428 mm) par rapport à la moyenne sur 35 ans établie par les services de l'office nationale de la météorologie (568.7mm), soit un écart négatif de 140.7mm (Figure 12 et Annexe2). L'analyse mensuelle laisse apparaître un début de campagne relativement sec de septembre pour cette campagne, ce qui a permis aux agriculteurs de bien finir leur lit de semence et d'avoir une bonne installation des cultures. Ce qu'il faut signaler, c'est que la plante n'a pas manqué d'eau depuis son apparition (levée) et ce jusqu'à la récolte. il y avait suffisamment de pluie chaque mois et surtout de mars à fin mai soit durant tout le cycle végétatif et de reproduction ; ce qui a permis une bonne croissance et un bon développement du végétal. Dans la figure 15 on observe qu'il y avait une pluviométrie anormale lors du mois de mars où 98 mm et le mois de Avril avec 80mm de plus que la moyenne normale sur 35 ans ; on notera aussi que même le mois de novembre a été pluvieux car il est tombé 76 mm alors que la moyenne normale ONM est de 60.7 mm seulement. Les précipitations ont été inférieures à la moyenne ONM sur presque la totalité des autres mois de l'année.

Du point de vu températures moyennes mensuelles, il a fait plus froid sur le site d'El-khroub au cours de l'hiver, les températures moyennes varient de 5.4 °C pour le mois de décembre à 28.8°C pour le mois de juillet 2018, qui correspondent aux mois le plus froid et le plus chaud durant la campagne agricole 2017/2018.

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

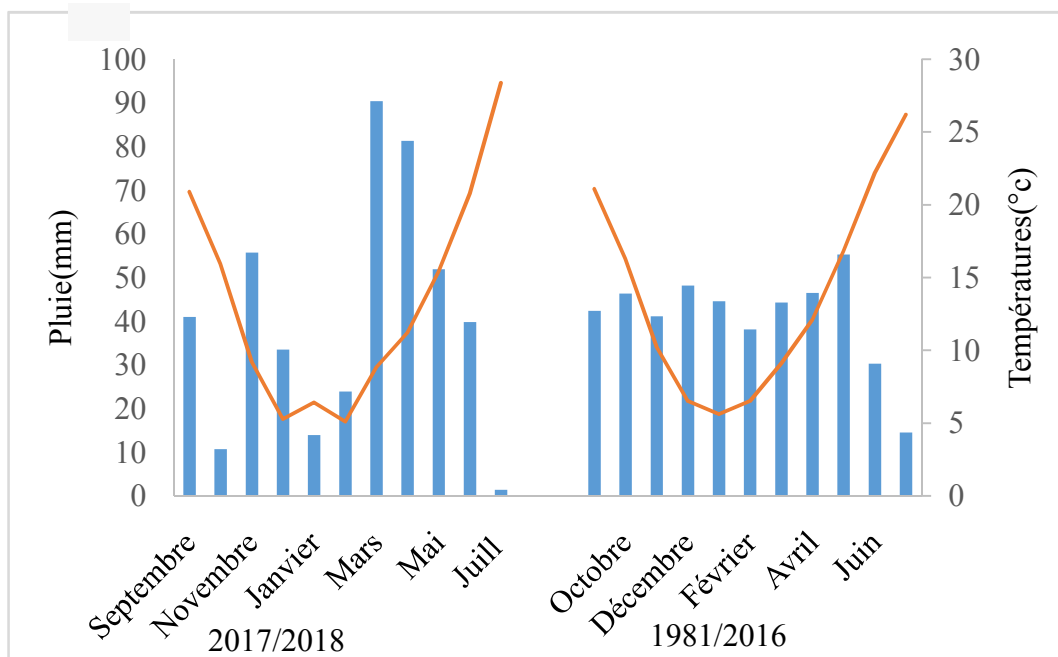


Figure 14 : Pluviométrie et températures moyennes des 35 dernières années et celles de la dernière campagne enregistrées sur le site ITGC de Sétif.

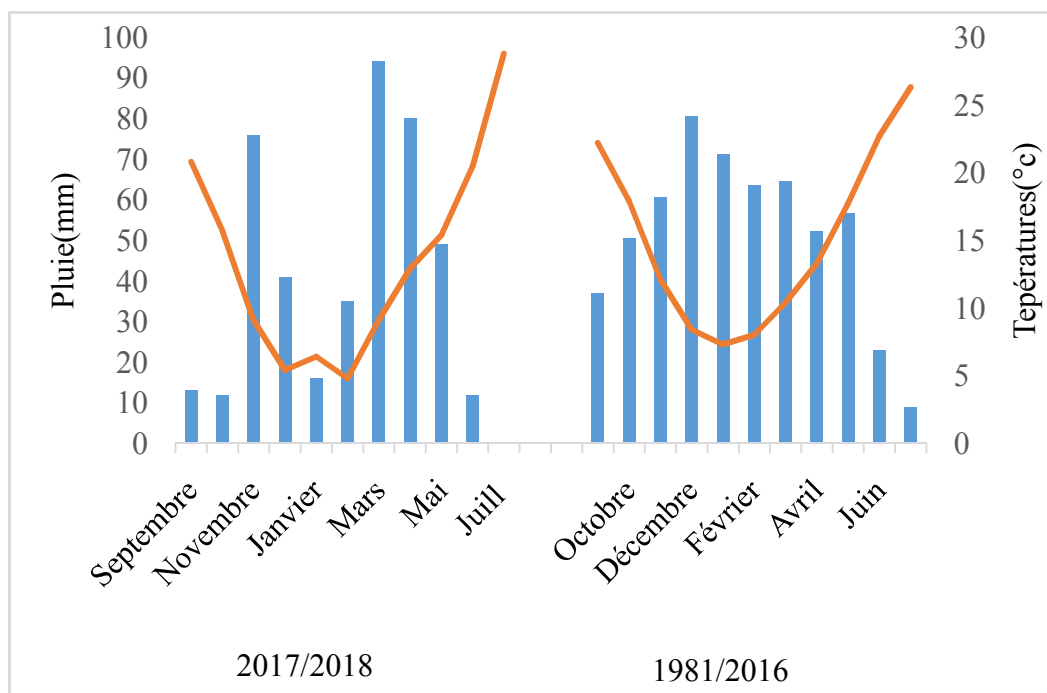


Figure 15 : Pluviométrie et températures moyennes des 35 dernières années et celles de la dernière campagne enregistrées sur le site ITGC d'El-khroub.

2.2. Comportement variétal

Soixante-six lignées haploïdes doublées (HDs) et quatre variétés parentales d'orge à six rangs, ont été évalués leur comportement vis-à-vis les caractères agronomiques à l'aide d'un dispositif expérimental en blocs aléatoire complètement randomisés avec trois répétitions, pendant la campagne agricole 2017/2018, dans deux environnements semi-arides.

Les analyses statistiques de la variance et les valeurs moyennes des 15 caractères agronomiques mesurés caractéristiques des 66 lignées haploïdes doublées (HDs) et 4 parents évalués dans la région de Sétif et Elkhroub sont représentés aux Tableaux 10 et 11. Les valeurs phénotypiques moyennes des douze caractères significatifs pour les deux sites sont données dans le Tableau 12.

2.2.1. Effet des facteurs génotype et environnement

L'analyse des facteurs génotypiques et environnementaux est toujours importante en sélection des plantes (Jackson *et al.*, 1996 ; Yan et Hunt, 1998). Dans cette étude, l'analyse de la variance révèle un effet génotype hautement significative au seuil de 0,1% pour l'ensemble des caractères morphologiques mesurés, hormis la surface foliaire (SF) et le poids spécifique foliaire (PSF) qui présente un effet non significatif. Ces résultats indiquent la présence d'une variabilité assez importante entre les génotypes étudiés. Cette analyse révèle également un effet environnemental hautement significatif pour l'ensemble des caractères étudiés sauf le nombre des épis par m², la longueur des barbes et le poids spécifique foliaire (PSF) qui ne présentent pas des effets environnemental significatif (Tableau 10).

Les résultats de l'ANOVA pour les caractères quantitatifs indiquaient l'influence des conditions climatiques sur les caractères phénologiques et les caractères liés au rendement. La région d'étude se caractérise par un climat semi-aride, avec des précipitations annuelles de 334,7 mm à la station de Sétif et avec des précipitations annuelles de 403 mm à la station d'El-khroub. Selon (Ramla *et al.*, 2015), la production d'orge se situe essentiellement en zone agro-climatique semi-aride (300-400 mm) caractérisée par la variabilité et la sévérité des conditions climatiques qui constituent les facteurs limitant majeurs ayant une forte incidence négative sur le niveau et la stabilité des rendements. La principale limite à la libération d'un rendement plus élevé dans l'environnement méditerranéen est la disponibilité limitée en eau (Rizza *et al.*, 2004) et, par conséquent, tout matériel génétique supérieur dans ces conditions peut avoir des caractères de tolérance à la sécheresse positifs. Des recherches abondantes sur la tolérance à la sécheresse des cultures indiquent que différents mécanismes peuvent être pertinents à différents niveaux de productivité (Cattivelli *et al.*, 2008).

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

Tableau 10 : Analyse de la variance de quinze caractères agronomiques pour soixante-six lignées haploïde double (HDs) d'orge et quatre parents évalués dans deux sites (Constantine et Sétif).

SV	Blocs	Environnement	Génotype	Environnement* Génotype	Résiduel
DF	2	1	69	69	138
IR	9.06	11126.04***	226.76***	142.50***	32.70
PMG	0.23	158.35 ***	164.90***	16.29***	0.44
NGE	5.95	5378.59***	183.77 ***	100.84***	8.17
RDT	65.08	17051.39 ***	316.31 ***	114.25***	30.13
NE	7740.3	9737.61 ^{ns}	9241.77***	4533.74***	1927.42
TRE	109.5	45005.15***	308.37***	208.12***	70.72
HP	91.8	10510***	160.37***	125.11***	20.27
LE	1.02	30.56***	5.83***	3.16 ***	0.40
LB	1,04	2.95 ^{ns}	9.08***	7.33***	0.80
LC	8.06	239.26***	55.09***	41.30***	4.97
PE	1.32	80.58***	1.03***	0.53***	0.21
PGE	0.31	56.49***	0.81***	0.39 ***	0.09
SF	50.6	506.73***	22.15 ^{ns}	17.52 ^{ns}	17.05
PSF	0.0003	0.00032 ^{ns}	0.00030 ^{ns}	0.00034 ^{ns}	0.00035
NJE	0.37	42280.46***	29.65***	13.08***	0.80

SV : Source de variation, DF : degrés de freedom, *** Significatif a $p \leq 0.001$, NS : Non – significative a $p \leq 0.05$. IR : Indice de récolte, PMG : poids de 100 graines, NGE : Nombre des graines par épi , RDT : rendement en graines , NE : nombre des apis par m², TRE : teneur relative en eau, HP : hauteur de la plante, LE : longueur épi , LB :longueur des barbes , LC : longueur col, PE: poids épi, PGE : poids des graines par épi, SF : surface foliaire, PSF : poids spécifique foliaire , NJE : nombre de jours d'épiaison.

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

L'effet de l'environnement est significatif pour le caractère de l'indice de récolte (IR). On remarque que l'IR des lignées doubles haploïdes (HDs) et leurs parents de la région de Sétif sont relativement élevées avec une moyenne de $29,83 \pm 11,48$ par rapport à la région d'El-khroub avec une moyenne $19,54 \pm 5,81$. Les lignées HD11 (59.54%), HD10 (42.21%) et HD126 (42.15%) ont montré un indice de récolte le plus élevé dans la région de Sétif et les lignées HD10 (28.88%), HD39 (25.30%) et HD11 (24.77%) à la région d'El-khroub.

L'effet de l'environnement hautement significatif ($p \leq 0,001$) pour le nombre de jours à l'épiaison (NJE). Dans la région d'El-khroub les épiaisons des géotypes se situaient entre 106 et 121 jours avec une moyenne de 112 jours. Les lignées 39, HD10, HD11, HD14 et HD46 ont été les plus précoces, alors que la variété locale Tichedrett (Ti) était plus tardive avec 112 jours. À la région de Sétif, le nombre de jours à l'épiaison des géotypes se situaient entre 125 et 135 jours, avec une moyenne de 132 jours. Les lignées HD38, HD11, HD80, HD92 et HD91 sont les plus précoces et la lignée HD126 était plus tardive avec 130 jours.

À Sétif, la hauteur maximale de la plante (HP) a été remarquée chez les lignées (HD15, 97,67cm), (HD133, 97,00cm) suivie par HD44 (96,00cm), le géotype introduit express a produit une hauteur minimale de plantes avec 78,67cm. Dans la région d'El-khroub, la valeur moyenne de la hauteur de la plante la plus élevée est notée chez HD62, HD90, HD119 et HD44 avec les moyennes 111,00, 109,67, 108,00 et 107,67cm respectivement.

Une variation dans la longueur du pédoncule (LC) a été observée dans ces deux régions. Les lignées HD11, HD125, HD38 et HD62 ont présenté le pédoncule le plus long avec 28,33, 28,33, 27,67 et 27,33 cm respectivement dans la région Sétif ; le plus petit col a été observé par le géotype introduit Exito (EXI) avec 21,00cm. À station d'El-khroub la longueur du pédoncule la plus élevée a été produite chez les lignées (HD84, 32,67cm), (HD117, 34,33cm) et la variété Plaisant (PLA) avec 31,00 cm ; le plus petit col a été obtenu par la lignée HD116 (21,67cm).

Le rendement en grains (RDT) a été influencé par l'environnement. Il était plus élevé à (Elkhroub) (70 qx.ha-1). Les lignées HD116, HD91, HD62, HD38, HD90, et HD11, qui ont montré le rendement en grains le plus élevé à Elkhroub et les lignées HD84, HD39, HD110, HD98, HD130 et HD92 au niveau de Sétif.

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

Des variations ont été observées pour le nombre de grains par épi à ces deux régions. Les lignées HD104, HD62, HD48, HD52, HD12, HD84 et HD92 ont enregistré le plus grand nombre de grains par épi à Elkhroub. À la région de Setif, le plus grand nombre de grains par épi a été enregistré par les lignées HD84, HD39, HD110, HD98, HD130 et HD92.

À Elkhroub, le poids d'épi (PE) le plus élevé a été produit par les lignées HD26 (5.64g), HD45 (3.87g) et HD52 (4.16g). À Setif, le poids d'épi le plus élevé était de 3,13g, 2,93g, 2,88g et 2,56g obtenu par le HD96, HD135, HD94 et HD30 respectivement.

Il y avait des différences très importantes entre les génotypes d'orge pour le poids de mille de grains (PMG). Les lignées HD11, HD90, HD10, HD81 et HD26 à l'environnement de Sétif et les lignées HD39, HD38, HD26 et HD112 à Elkhroub ont donné les valeurs les plus élevées pour le poids de mille grains.

Un large éventail de variations a été trouvé parmi les lignes de HDs pour tous les caractères. En outre, les lignes HDs ont exprimé de meilleures performances pour la production de semences à Elkhroub et une position antérieure associée à un développement végétatif plus élevé à Sétif. Un plus grand nombre de lignées de HDs cultivées à El-khroub, que celles cultivées à Sétif a produit un nombre plus élevé de grains par épi (NGE) et de 100 grains poids (PMG). En outre, le rendement des graines moyen (RDT) été supérieurs à El-khroub qu'à Sétif. Attendu que, pour toutes les lignées de HDs évaluées dans la région de Sétif, le nombre de jours de la date d'épiaison (NJE) a été noté par rapport à ceux évalués dans El-khroub, Les résultats ont également indiqué que la proportion des lignées de HDs les plus importantes était associée à la teneur relative en eau des feuilles (TRE) et à la hauteur de la plante (HP) dans la région d'El-khroub. Ces résultats suggèrent que les températures élevées et la distribution des précipitations pendant la croissance végétative sont parmi les facteurs qui ont amélioré l'expression de ces caractères. Le mode d'héritage du rendement et de la plupart des caractères agronomiques est complexe, régi par plusieurs gènes et influencé par les conditions environnementales (Falconer, 1981 ; Peighambari et *al.*, 2005). Un certain nombre de gènes contrôlent ces caractères et, en général, ils réagissent de la même façon selon les conditions environnementales (Bellatreche, 2017).

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

Tableau 11 : Valeurs moyennes des quinze caractères agronomiques dans 66 lignées haploïdes doubles (HDs) et leurs 4 parents évalués à la station d'El-khroub et Sétif.

La valeur moyenne, minimum et maximum, coefficients de variation (%)								
Les caractères	Environnement d'El-khroub				Environnement de Sétif			
	Moy ±SD	Min	Max	CV%	Moy ±SD	Min	Max	CV%
IR	19,54± 5,81	6,24	51,5	30	29,83±11,48	9,76	60	38
PMG	45,27± 8,48	30,22	56,5	12	44,04±5,651	29,3	55,4	13
NGE	49,8± 15,66	35	78	16	42,64±6,638	25	58	16
RDT	40,13± 11,73	11,05	70,1	29	30,5±11,37	11	61,6	35
NE	183,6± 61,83	40,62	391	34	174±58,41	50	376	34
TRE	84,09± 9,694	33,5	97,2	12	63,38±13,11	15,6	89,4	21
HP	101,4±8,104	75	124	8	91,4± 7,511	70	107	8
LE	5,696± 1,405	3	10	25	5,156± ,244	3	9	24
LB	13,23± 1,597	10	17	12	13± 2,011	10	24	15
LC	29,02± 4,754	18	40	16	27,51± ,991	15	36	16
PE	2,978± 0,791	1,47	9,39	27	2,202± ,444	1,04	3,54	21
PGE	2,46± 0,626	1,02	5,5	25	1,726± ,376	0,87	3,16	22
SF	8,143± 5,443	1,39	75,7	67	5,94± 2,575	0,5	14,7	43
PSF	0,017± 0,132	0,001	0,18	75	0,02± 0,018	0,01	0,2	88
NJE	112± 3,274	106	121	3	132,1± ,112	125	135	2

IR : Indice de récolte, PMG : poids de 100 graines, NGE : Nombre des graines par épi, RDT : rendement en graines, NE : nombre des apis par m², TRE : teneur relative en eau, HP : hauteur de la plante, LE : longueur épi, LB :longueur des barbes, LC : longueur col, PE: poids épi, PGE : poids des graines par épi, SF : surface foliaire, PSF : poids spécifique foliaire, NJE : nombre de jours de date d'épiaison.

2.2.2. Interaction environnement x géotypes

Selon Deshmukh et *al.* (1986). Les valeurs des coefficients de variation phénotypique et génotypiques supérieures à 20% sont classées comme élevées, par contre, les valeurs inférieures à 10% sont considérées comme faibles et les valeurs entre 10 à 20% comme moyennes. Plus les valeurs des coefficients de variations phénotypiques et génotypiques sont élevées plus la sélection a de l'emprise sur le caractère à améliorer.

Pour tous les caractères étudiés, à l'exception du poids spécifique de la feuille et de la longueur des barbes. La variabilité la plus faible a été observée dans le nombre de jours de la date d'épiaison et la hauteur de la plante, avec un coefficient de variation de 8,53 % et de

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

9,69 %, respectivement, suivi de la longueur du pédoncule, la longueur de l'épi, poids de 1000 grains et poids des grains par épi. Dans le même temps, le rendement des graines et les composantes du rendement étaient les caractères les plus variables, avec des coefficients de variation variant de 12,37 % pour le poids de mille grains à 17,46 % pour le nombre de grains par épi (tableau 11). Ces résultats concordent avec le résultat obtenu par Drikvand et *al.* (2012), qui a révélé quelles caractères contribuant à la plus grande variance sont : la longueur des barbes, la hauteur de la plante, le rendement en grains, le nombre de grains par épi, longueur du pédoncule, longueur de l'épi et poids de 1000 grains.

La variabilité des caractères quantitatifs d'une culture donnée est influencée par des facteurs génétiques, des facteurs environnementaux et leurs interactions. L'uniformité des individus et la stabilité des caractères quantitatifs sont des exigences majeures pour le développement de variétés améliorées et leur libération, l'étude de la variabilité des caractères quantitatifs devient de plus en plus importante. Dans notre expérience, le caractère le plus variable était l'indice de récolte (IR) suivi des composants de rendement, le nombre d'épis par m² (NE), du poids des grains par épi (PGE) et rendement en grains (RDT) avec des valeurs respectives de 42,33%, 33,68. %, 30,23% et 31,10% de coefficient de variation. Cette forte variabilité est due au fait que le rendement en grain est un caractère complexe contrôlé par un système polygénique et est fortement influencé par des facteurs environnementaux. Darwinkel (1978) in Chalak et *al.* (2015) ont signalé une tendance similaire de la variabilité du blé d'hiver cultivé dans un large éventail de densités de populations végétales. Le nombre de jours de date d'épiaison (NJE) correspond à la variabilité la plus faible, avec un coefficient de variation de 8,53%, suivi de la hauteur de la plante (9,6%) et de la longueur du pédoncule (15,73%). Ces résultats concordent avec les conclusions de Singh (2011), qui ont indiqué que le rendement et les composants du rendement ont été observés pour une forte variabilité phénotypique et géotypique d'environ 30%.

L'interaction génotype x environnement était significative pour tous les caractères, à l'exception du poids spécifique de la feuille (PSF) et de la surface foliaire (SF). Des études antérieures ont également signalé un effet significatif de G x E sur différents caractères agronomiques des populations d'orge. (Teulat et *al.*, 2001 ; Pillen et *al.* 2003 ; Peighambari et *al.*, 2005 ; Von Korff et *al.*, 2006 ; Chand et *al.* , 2008 ; Schmalenbach et *al.*, 2009).

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

Ces résultats indiquent, au cours de cette campagne montrent des différences significatives par l'interaction Génotype x environnement pour le degré de précocité au stade épiaison. Les lignées les plus précoces sont HD38, HD91 et HD90 avec des dates d'épiaison de 116,3, 117,3 et 117,2 jours respectivement, alors que les plus tardives sont Plaisant (126 jours) et la lignée HD122 (125jours).

L'interaction Génotype x environnement est significative pour l'indice de récolte (IR). Les lignes HD11, HD10 et HD39 avec 58%, 38,16 % et 36,34 % respectivement, ont donné la valeur la plus élevée pour l'indice de récolte, mais la lignée HD49 a produit l'indice de récolte minimal avec 15,32 %.

Pour la hauteur des plantes (HP), l'interaction Génotype x environnement est hautement significative ($p < 0,001$) pour HP. La hauteur maximale a été atteinte par les lignées HD89 (108,5 cm), HD133 (106,3 cm) suivies par une autre ligne HD85 de 105,2 cm. La lignée la plus courte était HD28 (77,66 cm) et le génotype Exito (84 cm).

On a observé que le poids de mille de grains (PMG) différait entre les accessions pour l'interaction génotype x environnement. La moyenne générale était de 44,65 g et les valeurs moyennes variaient de 55,92 à 34,08g. Le poids le plus lourd a été détecté dans les lignées HD10 (55,95g), HD39 (54,17g) et HD26 (54,15g). Par contre le poids le plus léger (34,08g) était la lignée HD35.

Les lignées HD62 et HD11 avaient la grande valeur pour la longueur d'épi avec 8.1 et 7.3 cm respectivement. La valeur la plus basse enregistrée pour HD92 était d'environ 3,5 cm.

Pour le caractère de longueur de pédoncule, les lignes HD90 et HD89 avaient la valeur la plus élevée de 34,33 à 34,16 cm.

La TRE variait de 52,54% à 86,07%, la plus grande valeur a été observée chez les lignées HD38 (86,07 mg.cm⁻²) suivies de HD84 (85%) et la plus faible a été enregistrée par la lignée HD3 (52,54 %).

Le rendement en grain (GY) était influencé par l'interaction génotype x environnement, la moyenne générale était de 36,92 qx.ha⁻¹ et les valeurs moyennes variaient de 22,43 à 57,27 qx.ha⁻¹. Le rendement grain le plus élevé a été obtenue par les lignées HD10 (57,27 qx.ha⁻¹), HD11 (55,12 qx.ha⁻¹) et HD30 (50,03 qx.ha⁻¹). Par contre le plus faible rendement grain est obtenu par HD80 avec 22, 43qx .ha⁻¹.

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

Le nombre de grains par épi différait selon l'interaction génotype x environnement. Les NGE variaient de 32,8 à 56,83 grains avec une moyenne de 46,21 grains/épi. Les lignées HD84, HD98 et HD62 avaient le plus grand nombre de grains par épi avec 56,83, 56,5 et 56 grains/épi respectivement. La lignée HD116 avait le moins de NG (32,83 grains/épi).

Une variation a été observée pour le poids de grain par épi (PGE) sur deux sites. Les lignes HD15 (3,18 g), HD52 (3,01g) et HD92 (2,72g) ont enregistré le poids de grain par épi le plus élevé. Par contre le nombre minimum a été obtenu par HD28 (1,21 g).

L'interaction entre génotypes et environnement sont des sources importantes de variation dans n'importe quelle culture et le terme stabilité est parfois utilisé pour caractériser un génotype, qui montre un rendement relativement constant, indépendamment des conditions environnementales changeantes (Becker et Leon, 1988).

Des différences significatives ont été observées entre les cultivars d'orge en ce qui concerne le rendement en grain, le poids de 1000 grains, la hauteur de la plante et la date de récolte (Mut et *al.*, 2010). Les estimations significatives de l'interaction G x E indiquaient que les caractères étaient instables et pouvaient considérablement fluctuer considérablement avec le changement d'environnements (Chand et *al.*, 2008). Ces résultats indiquent la présence de variabilité entre les génotypes et les environnements dans lesquels les expériences ont été menées. Par conséquent, la compréhension de l'interaction génotypes x environnements fournit des indications valables pour choisir les nouveaux génotypes stables dans les conditions environnementales diversifiées prévalant dans une région.

(Benmahammed et *al.*, 2010; Bendjama et *al.*, 2014) ont noté que le rendement et les traits reliés sont des caractères quantitatifs complexes contrôlés par plusieurs gènes et fortement influencés par les conditions environnementales. L'adaptation générale à différents milieux peut être contrôlée par des gènes pléiotropes, produisant des effets variables (positifs ou négatifs) entre milieux (Gallais, 1992). Les génotypes les plus adaptés seront ceux cumulant un maximum de gènes à effets favorables. Les gènes peuvent être en outre plus ou moins spécifiques comme dans le cas des résistances aux maladies (Lefebvre et Pflieger, 2000) (Annicchiarico et Perenzin, 1994) ont montré que la sécheresse et le froid qui affectent la précocité et la hauteur des plantes sont des sources d'interaction génotype x environnement chez le blé.

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

Tableau 12 : Valeurs moyennes, coefficient de variation (%) de douze caractères pour 66 lignées doubles haploïdes (HDs) d'orge et leurs parents évalués dans deux régions (El-khroub et Sétif).

Gen	IR	PMG	NGE	RDT	NE	TRE	HP	LE	LC	PE	PGE	NJE
HD10	38.16 _b	55.95 _a	42 _{u-x}	57.27 _a	244.7 _{b-f}	83.57 _{a-d}	96.6 _{k-x}	6.33 _{e-l}	25.66 _{s-z}	2.23 _{n-u}	1.92 _{o-y}	119.83 _{yz}
HD11	58.70 _a	53.00 _c	41.5 _{v-y}	55.12 _{ab}	280.34 _{ab}	79.35 _{a-j}	97.16 _{j-v}	7.33 _b	29.83 _{f-m}	2.43 _{j-s}	1.97 _{m-x}	119.33 _{az}
HD30	28.00 _{d-i}	50.38 _{ef}	48 _{j-q}	50.03 _{bc}	206.95 _{d-l}	79.12 _{a-k}	93.33 _{s-z}	6.75 _{c-g}	24.3 _{axyz}	2.60 _{f-p}	2.02 _{k-w}	118.5 _{ab}
HD38	29.81 _{d-g}	49.24 _{ghi}	50.83 _{f-k}	49.62 _{bcd}	198.95 _{e-o}	86.07 _a	96.83 _{k-w}	6.25 _{f-l}	28.83 _{j-p}	2.19 _{o-u}	1.88 _{p-z}	116.33 _e
HD39	36.34 _{bc}	54.17 _b	41.16 _{v-y}	49.19 _{b-e}	220.67 _{c-h}	80.68 _{a-h}	101 _{c-l}	6.08 _{g-n}	29.5 _{h-o}	1.82 _{tuv}	1.53 _{abc}	117.33 _{cde}
HD46	25.96 _{e-o}	34.37 _l	45.16 _{o-u}	47.57 _{c-f}	306.40 _a	81.61 _{a-f}	92.33 _{u-z}	5.5 _{m-t}	22.3 _b	2.03 _{r-v}	1.48 _{bc}	120.16 _{w-z}
HD14	28.47 _{d-i}	49.57 _{gh}	49.83 _{g-l}	46.92 _{c-g}	201.14 _{e-n}	68.30 _{n-v}	95.83 _{m-y}	6.58 _{c-h}	29 _{j-p}	2.32 _{k-t}	1.82 _{q-z}	120 _{xyz}
HD26	26.81 _{d-l}	54.15 _b	47.83 _{j-q}	46.65 _{c-h}	186.20 _{f-u}	83.37 _{a-e}	92 _{w-z}	5.16 _{r-w}	24.83 _{v-z}	3.79 _a	2.42 _{c-j}	120.66 _{u-y}
HD62	26.39 _{d-n}	40.49 _{b-e}	56 _{abc}	46.30 _{c-h}	205.49 _{d-m}	84.75 _{abc}	102.33 _{b-i}	8.08 _a	27.16 _{n-v}	3.06 _{c-h}	2.46 _{c-g}	121.16 _{s-w}
HD89	31.7 _{bcd}	48.4 _{j-m}	48.16 _{j-p}	44.52 _{c-i}	191.11 _{f-s}	70.54 _{i-t}	108.5 _a	4.83 _{t-z}	34.16 _{ab}	2.31 _{l-u}	2.07 _{j-u}	120 _{xyz}
Ti	21.80 _{i-y}	49.7 _{fgh}	43.16 _{s-v}	44.41 _{c-i}	207.53 _{d-l}	76.97 _{a-o}	99.33 _{e-q}	3.66 _{bcd}	25.16 _{t-z}	2.39 _{j-s}	2.03 _{k-v}	121.16 _{s-w}
HD94	27.37 _{d-j}	49.6 _{gh}	49 _{h-m}	44.16 _{c-i}	179.02 _{f-w}	79.64 _{a-i}	92.5 _{t-z}	4.16 _{abcdz}	23.33 _{abz}	2.97 _{c-i}	2.63 _{cd}	122.33 _{l-r}
HD90	28.13 _{d-i}	49.38 _{gh}	48.5 _{i-n}	43.79 _{d-j}	175.07 _{g-y}	82.03 _{a-f}	102.66 _{a-f}	6.16 _{g-m}	34.33 _a	2.57 _{g-q}	2.01 _{l-x}	117.33 _{cde}
HD91	26.3 _{d-n}	49.98 _{efg}	44.83 _{q-u}	43.02 _{e-k}	189.13 _{f-t}	81.91 _{a-f}	97.5 _{i-u}	4.6 _{u-z}	30.83 _{c-j}	2.72 _{d-n}	2.12 _{g-t}	117 _{de}
HD85	26.45 _{d-m}	47.28 _{nop}	45.16 _{o-t}	42.63 _{f-l}	193.55 _{f-r}	78.85 _{a-k}	105.16 _{abc}	5 _{s-y}	33.5 _{ab}	2.60 _{f-p}	2.10 _{h-t}	122.5 _{k-q}
HD84	26.49 _{d-m}	48.35 _{j-m}	56.83 _a	42.22 _{f-m}	154.24 _{n-z}	85.00 _{ab}	104.66 _{a-d}	5.33 _{o-u}	32 _{a-h}	2.8 _{c-j}	2.35 _{d-l}	120 _{xyz}
HD126	32.88 _{bcd}	44.11 _{vw}	39.8 _{w-z}	41.93 _{f-m}	225.74 _{c-f}	74.30 _{d-r}	103.66 _{a-f}	5.16 _{r-w}	32.16 _{a-g}	2.24 _{n-u}	1.68 _{v-z}	125.16 _{abc}
HD12	30.87 _{c-f}	38.72 _g	47.66 _{k-q}	41.38 _{g-n}	226.96 _{c-f}	78.41 _{a-l}	104 _{a-e}	5.75 _{k-r}	30.83 _{c-j}	2.73 _{c-n}	2.37 _{c-k}	124.16 _{c-g}
HD92	26.41 _{d-n}	50.66 _e	53.5 _{b-f}	40.72 _{g-o}	150.38 _{r-z}	78.15 _{a-m}	88.83 _{cde}	3.5 _{bcd}	29.16 _{i-p}	3.10 _{c-f}	2.72 _{bc}	118 _{bcd}
HD104	27.10 _{d-k}	45.82 _{rst}	53 _{c-g}	40.71 _{g-o}	175.38 _{g-x}	62.36 _{t-v}	104.16 _{a-e}	4.66 _{u-z}	29 _{j-p}	2.7 _{c-m}	2.31 _{e-m}	124 _{d-h}
HD44	29.42 _{d-h}	39.97 _{def}	46.66 _{l-r}	40.52 _{h-o}	210.37 _{d-j}	75.52 _{b-q}	93.83 _{r-z}	5.5 _{m-t}	26 _{r-y}	2.23 _{n-u}	1.67 _{w-z}	122.66 _{j-p}
HD98	25.6 _{e-q}	45.34 _{tu}	56.5 _{ab}	40.05 _{i-o}	148.21 _{s-z}	71.39 _{g-t}	96.66 _{k-x}	3.83 _{bcd}	23.83 _{abyz}	3.25 _{bc}	2.57 _{cde}	120.66 _{u-y}
HD45	25.78 _{e-p}	49.975 _{efg}	44 _{r-v}	39.89 _{i-p}	183.44 _{f-v}	77.59 _{a-n}	95.66 _{m-y}	5.81 _{j-q}	27.83 _{k-s}	2.46 _{i-s}	2.07 _{j-u}	121.66 _{p-u}
HD52	24.89 _{f-t}	44.70 _{uv}	55.66 _{abc}	39.85 _{i-p}	160.24 _{k-z}	83.88 _{abc}	93 _{t-z}	4.33 _{axyz}	25.33 _{s-z}	3.04 _{c-h}	3.01 _{ab}	122.83 _{j-o}
HD82	28.48 _{d-h}	46.97 _{opq}	53.16 _{c-f}	39.68 _{i-p}	159.33 _{l-z}	65.65 _{r-v}	87.66 _{de}	4.83 _{t-z}	23.8 _{abyz}	2.64 _{e-o}	2.27 _{e-o}	122.16 _{m-s}
HD15	30.77 _{c-f}	51.78 _d	55.33 _{a-d}	38.95 _{i-p}	139.39 _{t-z}	75.81 _{b-p}	94.33 _{q-z}	5.83 _{i-q}	29.83 _{f-m}	3.45 _{ab}	3.18 _a	123.83 _{e-i}
HD99	24.80 _{f-u}	48.25 _{klm}	45.8 _{m-s}	38.88 _{i-p}	164.70 _{j-z}	73.88 _{e-r}	97.33 _{i-v}	4.41 _{axyz}	27.41 _{m-u}	2.69 _{e-o}	2.28 _{e-n}	123.66 _{e-j}
HD131	21,66 _{i-y}	43.82 _{wx}	52.83 _{c-g}	38.52 _{i-p}	180.06 _{f-w}	55.87 _{wx}	93.16 _{s-z}	5.25 _{p-v}	25.3 _{s-z}	3.06 _{c-h}	2.46 _{c-g}	122.16 _{m-s}

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

HD113	21.93 _{i-x}	39.83 _{ef}	50.66 _{f-k}	37.85 _{j-r}	173.70 _{h-y}	60.61 _{u-v}	91.33 _{ayz}	4.41 _{axyz}	27 _{o-w}	2.58 _{f-q}	2.18 _{f-p}	124 _{d-h}
HD119	21.39 _{j-y}	44.4 _{vw}	37.33 _{az}	37.63 _{j-s}	224.60 _{c-g}	74.31 _{d-r}	100.5 _{d-m}	4.16 _{abcdz}	28.6 _{j-q}	2.2 _{m-u}	1.9 _{m-x}	123.5 _{f-k}
HD112	25.34 _{e-r}	49.10 _{hij}	43.66 _{r-v}	37.25 _{k-t}	184.43 _{f-v}	76.69 _{a-p}	97.5 _{i-u}	4.5 _{xyz}	26.83 _{p-x}	2.66 _{e-o}	2.21 _{f-p}	121.83 _{o-t}
HD27	25.22 _{f-s}	46.78 _{pqr}	42.5 _{t-x}	37.22 _{k-t}	194.62 _{e-q}	70.69 _{i-t}	94.16 _{r-z}	5.08 _{r-x}	26.16 _{q-x}	3.15 _{b-e}	2.17 _{g-q}	121.16 _{s-w}
HD108	24.01 _{g-u}	40.74 _{bc}	48.33 _{j-o}	37.20 _{k-t}	177.68 _{f-w}	73.01 _{f-r}	98.83 _{f-r}	6.55 _{c-i}	31.66 _{b-i}	3.23 _{bcd}	2.58 _{cde}	123.66 _{e-j}
HD28	25.15 _{f-s}	35.65 _k	39.5 _{xyz}	37.19 _{k-t}	252.31 _{bcd}	67.26 _{p-v}	77.66 _f	6.58 _{c-h}	27.66 _{l-t}	1.65 _v	1.21 _c	122.66 _{j-p}
HD95	23.5 _{g-v}	47.85 _{lmn}	43.16 _{s-v}	37.17 _{k-t}	175.40 _{g-w}	71.99 _{g-s}	97.66 _{h-t}	4.08 _{a-d}	32.83 _{a-e}	2.43 _{j-s}	2.06 _{k-u}	122.5 _{k-q}
HD106	24.91 _{f-t}	41.83 _{yz}	44.33 _{r-v}	36.46 _{l-u}	200.74 _{e-n}	67.97 _{o-v}	97.5 _{i-u}	4.08 _{a-d}	30.25 _{f-k}	2.42 _{j-s}	2.37 _{c-k}	123.83 _{e-i}
HD127	20.59 _{l-y}	37.83 _{hij}	43.83 _{r-v}	36.16 _{m-u}	209.62 _{d-k}	77.74 _{a-n}	101.16 _{c-k}	4.8 _{t-z}	28.8 _{j-p}	1.95 _{s-v}	1.66 _{xyz}	123.66 _{e-j}
HD19	28.68 _{d-h}	47.19 _{n-q}	52.16 _{e-h}	36.02 _{m-u}	152.7 _{ln-z}	80.82 _{a-g}	90.66 _{a-d}	5.5 _{m-t}	28.8 _{j-p}	2.86 _{c-j}	2.31 _{e-m}	122.83 _{i-o}
HD3	24.68 _{f-u}	42.12 _y	46.66 _{l-r}	35.68 _{n-v}	180.08 _{f-v}	52.54 _x	95.66 _{m-y}	6.58 _{c-h}	32.33 _{a-f}	2.66 _{e-o}	2.17 _{g-q}	124.66 _{b-e}
HD110	21.86 _{i-x}	48.57 _{i-l}	46 _{m-s}	35.52 _{n-v}	141.96 _{s-z}	62.12 _{t-v}	91.5 _{y-z}	5.08 _{r-x}	27.83 _{k-s}	3.13 _{b-e}	2.53 _{c-f}	123.83 _{e-i}
HD18	19.94 _{n-y}	46.43 _{qrs}	55.83 _{abc}	35.38 _{n-v}	118.67 _{abz}	74.17 _{d-r}	95.33 _{n-z}	6.41 _{d-k}	27.83 _{k-s}	2.66 _{e-o}	2.13 _{g-s}	122 _{n-s}
HD4	22.94 _{h-x}	41.01 _{ab}	50.5 _{f-k}	34.65 _{o-w}	162.76 _{k-z}	66.09 _{q-v}	98.83 _{f-r}	5.66 _{l-s}	29 _{j-p}	2.40 _{j-s}	2.03 _{k-v}	121.5 _{q-v}
HD23	19.61 _{o-y}	37.02 _j	39.66 _{x-z}	33.76 _{p-x}	207.45 _{d-l}	67.30 _{p-v}	94.33 _{q-z}	7 _{be}	23 _{a-b}	2.06 _{q-v}	1.51 _{bc}	125.16 _{abc}
HD21	18.83 _{s-y}	46.95 _{pq}	36.66 _{az}	32.63 _{q-y}	149.73 _{r-z}	77.06 _{a-o}	102.16 _{c-j}	7.08 _{bcd}	25.66 _{s-z}	1.96 _{s-v}	1.67 _{w-z}	121 _{t-x}
HD96	25.2 _{f-s}	44.11 _{vw}	46.5 _{m-r}	32.21 _{r-y}	151.15 _{n-z}	71.33 _{g-t}	98.16 _{g-s}	4.91 _{t-y}	24.5 _{xyz}	2.46 _{i-s}	2.19 _{f-p}	122.83 _{i-o}
HD116	18.81 _{s-y}	48.95 _{h-k}	32.83 _b	32.20 _{r-y}	177.16 _{g-w}	76.75 _{a-p}	93 _{t-z}	3.91 _{bcd}	25 _{u-z}	2.08 _{p-v}	1.77 _{t-z}	123 _{h-n}
HD38-	18.90 _{r-y}	44.83 _{uv}	41.5 _{v-y}	31.92 _{r-y}	147.86 _{s-z}	83.18 _{a-e}	95 _{o-z}	7.16 _{bc}	29.83 _{f-m}	2.36 _{j-s}	1.89 _{p-z}	117.16 _{cde}
HD22	19.20 _{q-y}	41.24 _{abz}	39.6 _{w-z}	31.65 _{r-z}	171.72 _{h-y}	75.33 _{c-q}	90.16 _{a-d}	5 _{s-y}	25.16 _{t-z}	2.24 _{n-u}	1.80 _{r-z}	123.33 _{f-l}
HD35	23.11 _{h-w}	34.08 _l	45 _{p-u}	31.58 _{s-z}	209.98 _{d-k}	73.05 _{f-r}	103 _{b-g}	6.63 _{c-g}	27.16 _{n-v}	2.45 _{i-s}	1.57 _{acyz}	121.16 _{s-w}
HD130	20.29 _{m-y}	49.35 _{gh}	48.66 _{i-n}	31.40 _{s-z}	123.21 _{abyz}	71.23 _{i-t}	100.16 _{d-n}	5.16 _{r-w}	27.6 _{l-t}	2.55 _{h-r}	2.07 _{j-u}	123 _{h-n}
HD122	26.55 _{d-m}	45.17 _{tu}	39.8 _{w-z}	31.23 _{t-z}	156.31 _{m-z}	77.82 _{a-n}	91.66 _{x-z}	4.55 _{w-z}	30.83 _{c-j}	2.85 _{c-k}	2.71 _{bc}	125.5 _{a-b}
HD117	18.59 _{t-y}	50.54 _e	37.16 _{az}	31.23 _{t-z}	160.17 _{k-z}	73.94 _{e-r}	101 _{c-l}	5.5 _{m-t}	33.3 _{abc}	2.63 _{e-o}	1.96 _{m-x}	123.6 _{e-j}
HD133	18.78 _{s-y}	43.09 _x	45.66 _{n-t}	31.12 _{t-z}	139.41 _{t-z}	69.70 _{k-u}	106.33 _{ab}	4.65 _{u-z}	27 _{o-w}	2.22 _{n-u}	1.79 _{s-z}	124.16 _{c-g}
HD132	21.74 _{i-y}	37.22 _{hij}	42 _{u-x}	31.11 _{t-z}	217.68 _{c-i}	76.37 _{b-p}	97.83 _{h-t}	4.91 _{t-y}	29.16 _{i-p}	2.30 _{l-u}	1.87 _{p-z}	124.33 _{c-f}
HD47	17.97 _{v-y}	40.69 _{bcd}	42.83 _{t-w}	31.10 _{u-z}	136.68 _{u-z}	73.83 _{e-r}	95.66 _{m-y}	6 _{h-o}	27.33 _{m-u}	2.23 _{n-u}	1.79 _{s-z}	120.5 _{v-y}
EXP	25.88 _{e-p}	40.81 _{ab}	35.66 _{ab}	30.89 _{u-z}	260.88 _{abc}	69.74 _{k-u}	94.83 _{o-z}	4.5 _{xyz}	30 _{f-l}	1.94 _{s-v}	1.54 _{acbz}	125.16 _{abc}
HD125	20.82 _{k-y}	36.05 _k	44 _{r-v}	30.86 _{u-z}	205.3 _{d-m}	68.85 _{m-v}	99.5 _{e-p}	5.5 _{m-t}	33.16 _{a-d}	1.79 _{uv}	1.52 _{abc}	122.5 _{k-q}
HD8	25.83 _{e-p}	34.36 _l	44.83 _{q-u}	30.61 _{u-z}	196.94 _{e-p}	69.97 _{k-u}	96.33 _{k-y}	5.16 _{r-w}	29.5 _{h-o}	2.62 _{e-o}	2.15 _{g-r}	122.83 _{i-o}
HD77	21.15 _{j-y}	40.91 _{ab}	42 _{u-x}	30.46 _{u-z}	179.88 _{f-w}	71.50 _{g-t}	89.83 _{bcd}	4.83 _{t-z}	24.83 _{v-z}	2.21 _{n-u}	1.78 _{s-z}	122.33 _{l-r}
HD48	23.61 _{g-v}	37.95 _h	54.83 _{a-e}	30.28 _{u-z}	170.28 _{i-y}	70.02 _{j-u}	93.16 _{s-z}	5.71 _{k-s}	22.83 _{ab}	2.62 _{e-o}	2.20 _{f-p}	123 _{h-n}

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

HD120	18.91 _{r-y}	47.7 _{mno}	46.83 _{l-r}	29.75 _{v-z}	142.22 _{s-z}	76.40 _{b-p}	98.16 _{g-s}	6 _{h-o}	29.5 _{h-o}	2.3 _{l-u}	1.93 _{n-x}	123.83 _{e-i}
EXI	27.09 _{d-l}	37.10 _{ij}	51 _{f-j}	29.56 _{v-z}	170 _{i-y}	59.5 _{v-wx}	84 _e	6.5 _{c-j}	27.5 _{l-u}	1.9 _{s-v}	1.74 _{u-z}	123.16 _{g-m}
HD34	16.68 _{xy}	45.83 _{rst}	44 _{r-v}	29.56 _{v-z}	137.18 _{u-z}	78.66 _{a-k}	94.5 _{p-z}	5.91 _{h-p}	33.83 _{ab}	2.81 _{c-l}	2.16 _{g-q}	122 _{n-s}
HD134	19,05 _{r-y}	46.57 _{qrs}	45.5 _{n-t}	28.61 _{w-z}	143.85 _{s-z}	78.37 _{a-m}	96 _{l-y}	4.83 _{t-z}	27 _{o-w}	2.65 _{e-o}	2.32 _{e-m}	123.16 _{g-m}
PLAI	18.32 _{u-y}	39.99 _{c-f}	51.66 _{e-i}	28.10 _{w-z}	135.35 _{v-z}	79.37 _{a-j}	94.83 _{o-z}	5.83 _{i-q}	30.66 _{d-j}	2.3 _{l-u}	1.9 _{p-z}	126 _a
HD114	19.41 _{p-y}	43.78 _{wx}	44.83 _{q-u}	27.44 _{abyz}	128.9 _{w-z}	62.74 _{s-v}	99.66 _{d-o}	4.16 _{abcdz}	28.5 _{j-r}	2.40 _{j-s}	2.09 _{i-u}	125 _{a-d}
HD135	23,28 _{h-x}	41.57 _{ayz}	50.5 _{f-k}	27.39 _{abyz}	123.88 _{xyz}	77.38 _{a-o}	93.33 _{s-z}	5.5 _{m-t}	30.83 _{c-j}	3.08 _{c-g}	2.46 _{c-g}	121.33 _{r-v}
HD49	15.32 _y	45.81 _{st}	44.83 _{r-u}	25.66 _{abz}	111.95 _{ab}	70.02 _{j-u}	97.33 _{i-v}	5.41 _{n-t}	23.66 _{abyz}	2.55 _{h-r}	2.20 _{f-p}	122.66 _{j-p}
HD74	17.00 _{wxy}	39.26 _{fg}	51.66 _{e-i}	23.47 _{ab}	101.64 _b	61.98 _{t-v}	94 _{r-z}	6.91 _{c-f}	29.66 _{g-n}	3.01 _{c-h}	2.45 _{c-i}	122 _{n-s}
HD80	21.95 _{i-x}	41.25 _{abz}	38.5 _{ayz}	22.43 _b	146.38 _{s-z}	69.06 _{l-u}	96 _{l-y}	6.16 _{g-m}	30.5 _{e-j}	2.20 _{n-u}	2.21 _{f-p}	118.16 _{bc}
Moy.G.	24.68	44.65	46.21	36.92	178.82	73.73	96.40	5.42	28.26	2.53	2.09	122.06
CV(%)	42.31	12.37	17.46	31.10	33.68	21.00	9.61	24.92	15.73	30.56	30.23	8.53
LSD_{5%}	6.49	0.76	3.25	6.23	50.33	9.55	5.11	0.72	2.53	0.53	0.35	1.01

Moy.G. : moyenne générale. CV(%) : Coefficient de variation. IR : Indice de récolte, PMG : poids de 100 graines, NGE : Nombre des graines par épi , RDT : rendement en graines , NE : nombre des apis par m² ,TRE : teneur relative en eau, HP : hauteur de la plante ,LE : longueur épi ,LC : longueur col, PE: poids épi ,PGE : poids des graines par épi , NJE : nombre de jours de date d'épiaison

2.2.3. Corrélation entre les caractères

Les coefficients de corrélation entre différents les caractères agronomiques des 66 haploïdes doublés (HDs) et leurs quatre parents d'orge (*Hordeum vulgare* L.) évalués aux deux régions sont présentés au Tableau 13.

Les corrélations génétiques entre les douze caractères agronomiques ont été estimées à partir des données combinées. Une corrélation positive significative, allant de 0,45 à 0,87, a été observée entre le nombre de grains par épi, le poids de 1000 de grains, le nombre d'épis par m², le rendement en grain et l'indice de récolte. Des résultats similaires ont été rapportés par Peighambari *et al.* (2005) et Rajiv (2015).

Le caractère de l'indice de récolte (IR) présentait une corrélation très significative et positive avec le rendement en grains ($r = 0,741, p \leq 0,001$), le nombre d'épi par m² ($r = 0,567, p \leq 0,001$) et le poids de 1000 grains ($r = 0,366, P \leq 0,01$) ; cependant, une corrélation négative de ce caractère a été notée avec le nombre de jours à l'épiaison ($r = -0,315, p < 0,01$).

Le caractère du poids de 1000 de grains (PMG) est hautement significatif et la corrélation positive avec le rendement en grain ($r = 0,511, p \leq 0,001$), la teneur relative en eau ($r = 0,369, p \leq 0,01$), le poids de l'épi ($r = 0,316, p \leq 0,01$) et poids du grain par épi ($r = 0,231, p \leq 0,01$). Le caractère de poids des grains par d'épi (PGE) a montré une corrélation très significative et positive avec le poids d'épi ($r = 0,560, p \leq 0,001$). De plus, poids du grain par épi ($r = 0,576, p \leq 0,001$).

Le rendement en grains présentait une corrélation très significative et positive avec le poids de 1000 de grains ($r = 0,511, p \leq 0,001$) et le nombre d'épis par m² ($r = 0,597, p \leq 0,001$) et la teneur relative en eau ($r = 0,410, p \leq 0,001$). Cependant, une corrélation négative de ce caractère a été notée avec le nombre de jours de date d'épiaison ($r = -0,465, p \leq 0,001$).

La longueur du pédoncule (LC) présentait une corrélation très significative et positive avec la hauteur de la plante ($r = 0,405, p \leq 0,001$).

La longueur des épis (LE) présentait une corrélation très significative et négative avec le poids du grain par épi ($r = -0,253, p \leq 0,001$).

Le caractère de poids de l'épi (PE) présentait une corrélation positive et hautement significative avec le nombre de grains par épi ($r = 0,576, p \leq 0,001$) et le poids du grain par épi ($0,875, p \leq 0,001$).

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

Tableau 13 : Corrélations inter- caractères mesurées chez 66 lignées haploïdes doubles (HDs) d'orge et leurs parents évalués dans deux régions (El-khroub et Sétif).

	IR	PMG	NGE	RDT	NE	TRE	HP	LE	LC	PE	PGE	NJE
IR	1	0,366	0,078	0,741	0,567	0,246	0,058	0,172	0,107	0,036	0,049	-0,315
PMG	0,366	1	0,028	0,511	-0,138	0,369	0,148	-0,142	0,064	0,316	0,321	-0,395
NGE	0,078	0,028	1	0,171	-0,354	-0,033	-0,037	0,053	-0,08	0,56	0,576	-0,099
RDT	0,741	0,511	0,171	1	0,597	0,41	0,136	0,081	-0,07	0,099	0,028	-0,465
NE	0,567	-0,138	-0,354	0,597	1	0,179	0,016	0,092	-0,06	-0,393	-0,478	-0,113
TRE	0,246	0,369	-0,033	0,41	0,179	1	0,185	0,067	0,036	0,069	0,045	-0,435
HP	0,058	0,148	-0,037	0,136	0,016	0,185	1	-0,013	0,405	-0,04	-0,035	-0,044
LE	0,172	-0,142	0,053	0,081	0,092	0,067	-0,013	1	0,091	-0,14	-0,253	-0,26
LC	0,107	0,064	-0,075	-0,07	-0,061	0,036	0,405	0,091	1	-0,02	0,03	-0,022
PE	0,036	0,316	0,56	0,099	-0,393	0,069	-0,041	-0,136	-0,02	1	0,875	-0,006
PGE	0,049	0,321	0,576	0,028	-0,478	0,045	-0,035	-0,253	0,03	0,875	1	0,052
NJE	-0,315	-0,395	-0,099	-0,465	-0,113	-0,435	-0,044	-0,26	-0,02	-0,01	0,052	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0.05$

De nombreuses études ont également signalé une association positive et significative du rendement en grains avec le nombre des épis par m² (Ataei, 2006 et AKdiniz et *al.*, 2004) et le nombre de grains par épi (Drikvant et *al.*, 2011), le Poids de 1000 grains et l'indice de récolte (Khajavi et *al.*, 2014, Kumar et *al.*, 2014). Des résultats similaires concernant le rendement en grain et la hauteur de la plante ont été rapportés par d'autres études (Bhutta et *al.*, 2005; Kisana et *al.*, 1999; Samarraï et *al.*, 1987).

Akdeniz et *al.* (2004) ont observé des corrélations positives et significatives entre le rendement en grains et des composants de rendement tels que la hauteur de la plante, la longueur de l'épi et le nombre d'épis par m², mais ont mis en évidence des corrélations négatives et non significatives entre le rendement en grains et le nombre de grains par épi. Ataei (2006) a signalé des corrélations positives et significatives du rendement en grains avec le nombre d'épis par m² et le poids de 1000 grains.

2.2.4. L'analyse en composantes principales (ACP)

Pour mieux visualiser les relations existantes entre les réponses génotypiques pour les différents caractères mesurés, nous avons eu recours à l'analyse en composantes principales. L'analyse en composantes principales (ACP) présente l'avantage de caractériser un génotype donné par une valeur numérique, liée à un axe donné, représentant un ensemble de caractères qui sont spécifiques à ce génotype. Ces valeurs numériques peuvent être prises comme étant un indice intégrateur de plusieurs caractéristiques des génotypes étudiés (Oosterom et *al.*, 1993).

L'analyse en composantes principales (ACP) a été utilisée pour observer le schéma général de variation des traits, il a été réalisée en fonction 12 caractères agronomique quantitatif. Les quatre premières composantes principales dont les valeurs propres sont supérieures à l'unité (1) ont extrait ensemble environ 72% de la variation totale. Conformément à la présente conclusion. Bedasa et *al.*, 2015 ont utilisé une analyse en composantes principales pour détecter une variation dans 49 populations d'orge dans lesquelles les quatre premiers de l'ACP ont contribué pour 70,36% de la variation totale.

Cependant, l'interprétation de ces composantes nécessite le calcul des corrélations entre chacune des composantes principales retenues avec chacune des 12 variables initiales. Ces corrélations sont utiles pour préciser la part de la variance, d'une variable initiale donnée,

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

prise en compte par une composante principale particulière, et seront utilisées pour les représentations graphiques des variables initiales dans les cercles de corrélations.

Les cercles de corrélations sont des graphiques visant à représenter géométriquement les variables initiales dans le nouveau système de coordonnées. Ainsi donc, la représentation des douze variables initiales dans le plan formé par les axes 1, 2 et 3 et appelé premier plan factoriel est utile, compte tenu de l'importance de ces deux axes dans la reconstitution des variables initiales. Selon Johnson et Wichern (2002), sur la base des valeurs propres et des vecteurs, il est possible d'indiquer quels traits sont principalement responsables de l'explication de la variation. Par conséquent, les premières composantes principales, qui représentaient environ 48,42% de la variation totale, étaient respectivement dues à l'indice de récolte, à la teneur relative en eau, au poids de 1000 grains, au rendement en grains et au nombre de jours à l'épiaison (Tableau 14 et Figure 16). De même, environ 23,35% de la variation, représentée par la deuxième composante principale, était due aux contributions du nombre de grains par épi, de la longueur de l'épi, du poids de l'épi, du poids du grain par épi, suivis du nombre d'épis par m². Par contre, la troisième composante principale, expliquant environ 12,13% de la variation, était principalement la hauteur de la plante suivie de la longueur du pédoncule, tandis que la quatrième composante principale affichait 10% de la variation totale avec une charge plus importante due à la longueur de l'épi et au nombre de grains par épi (Annexe 4 carte 1.3 et Annexe 5 carte 2.3).

Ces résultats suggèrent que pour l'analyse des populations pour les caractéristiques liées à l'indice de récolte, à la teneur relative en eau, au poids de 1000 grains, au rendement en grains et à la précocité au stade épiaison, associées à la longueur de l'épi, la longueur de l'épi, poids de l'épi, poids du grain par épi et nombre d'épis par m², il est plus judicieux d'étudier le plan formé par les composantes 1 et 2. Pour étudier les caractéristiques liées à la hauteur de la plante et la longueur du pédoncule, associées et à la précocité au stade épiaison, il est préférable d'analyser le plan formé par les axes 1 et 3 (Annexe 4 carte 1.3). Quant au plan formé par les axes 2 et 3, il fournit des informations sur les caractéristiques liées à la longueur de l'épi et nombre de grains par épi associées à la longueur de l'épi, poids de l'épi, poids du grain par épi, hauteur de la plante et longueur du pédoncule (Annexe 5 cartes 2.3).

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

Tableau 14 : Valeur propre, pourcentage cumulé et coefficients de corrélation des douze caractères mesurés chez les populations de l'haploïdes doublées d'orge et leurs parent avec les quatre axes de l'analyse en composantes principales.

Paramètre	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
Valeur propre	3,009	2,803	1,456	1,176
Variabilité (%)	25,077	23,358	12,132	9,798
% cumulé	25,077	48,434	60,567	70,364
Caractères			Valeur propre	
Indice de récolte (IR)	0,797	-0,106	-0,153	-0,031
Poids de 100 graines (PMG)	0,625	0,367	0,181	-0,281
Nombre des graines par épi (NGE)	0,111	0,695	-0,212	0,377
Rendement en graines (RDT)	0,909	-0,044	-0,195	-0,11
Nombre des épis par m ² (NE)	0,486	-0,666	-0,256	-0,197
Teneur relative en eau (TRE)	0,614	0,014	0,178	-0,026
Hauteur de la plante (HP)	0,215	-0,035	0,771	-0,065
Longueur épi (LE)	0,174	-0,254	-0,021	0,064
Longueur col (LC)	0,082	-0,011	0,786	0,153
Poids épi (PE)	0,134	0,893	-0,074	0,006
Poids des graines par épi (PGE)	0,079	0,93	-0,022	-0,081
Nombre de jours de date d'épiaison. (NJE)	-0,651	0,012	-0,015	-0,349

Dans le cadran négatif formé par la partie positive de l'axe 1 et la partie négative de l'axe 2 (Figure 17) on retrouve le classe-3 qui est représenté par les lignées : HD15, HD91, HD52, HD45, HD112, HD90, HD89, HD94, HD26, HD77, HD22, HD116, HD116, HD95, HD108, HD4, HD104, HD82, HD48, HD131, HD113, HD3 et la variété introduit Exito . Cette classe caractérisée par une par le nombre le plus élevé de grains par épi, le poids du grain par épi et le poids de l'épi.

Le classe-4 représenté par des lignées située dans le cadran négatif formé par la partie négative des deux axes 1 et 2, composé par les lignées : HD134, HD120, HD47, HD34, HD135, HD133, HD114, HD49, HD130, HD18, HD74 et Plaisant. Cette classe caractérisée par la précocité au stade épiaison.

Le classe-2 représenté par des lignées situées dans le cadran négatif formé par la partie positive de l'axe 1 et la partie négative de l'axe 2, composé par les lignées : HD10, HD11, HD38, HD39, HD46, HD126 et HD119. Cette classe caractérisée par la plus grande valeur d'indice de récolte, de rendement en grain t du poids de 1000 grains

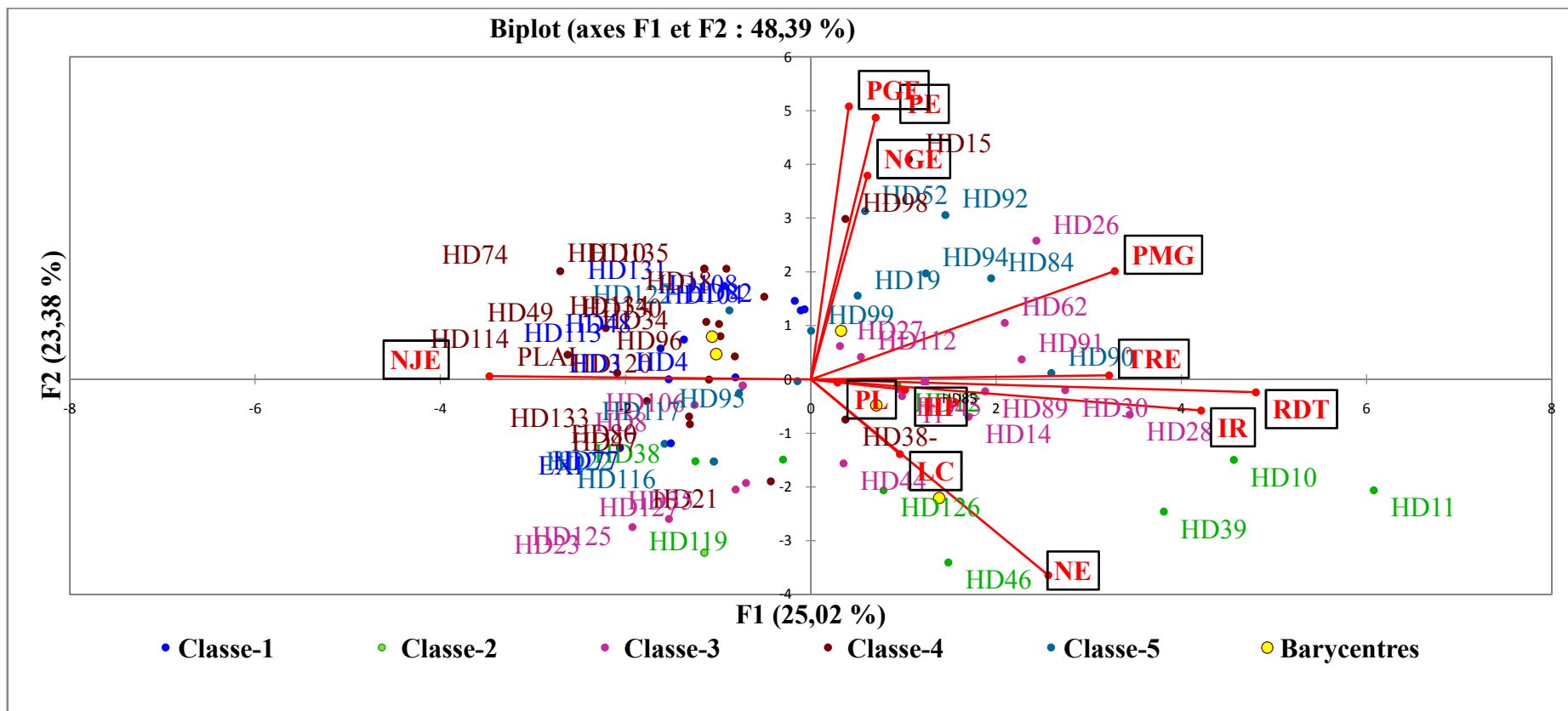


Figure 16 : Représentation des variables mesurées sur le plan formé par les axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales.

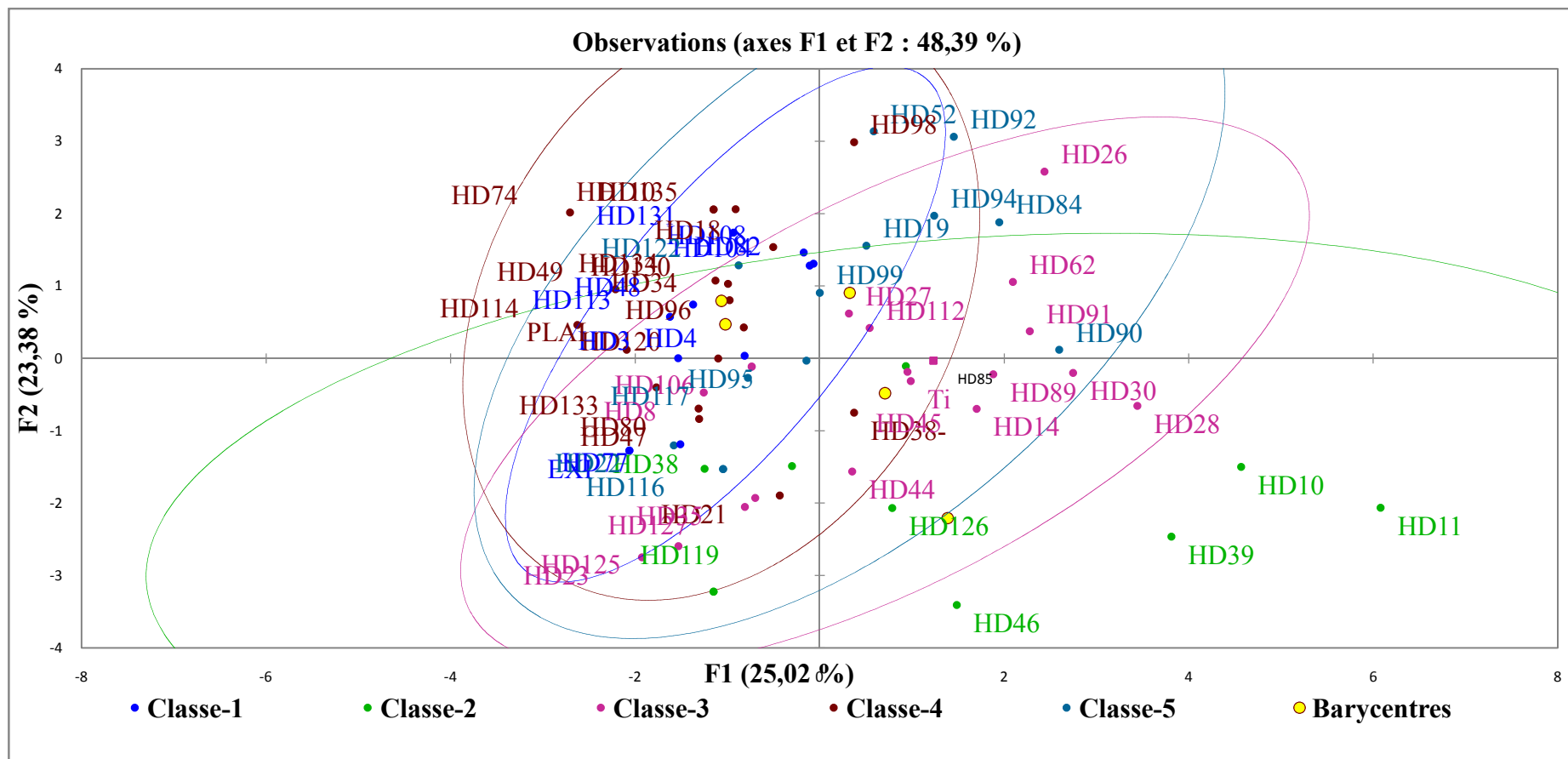


Figure 17 : Représentation graphique des classes dans le plan factoriel 1-2, obtenu à partir des données des deux sites.

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

L'examen de la carte factorielle relative aux axes 1-3 (Figure 18), montre l'individuation de deux classes 1 et 5 :

Dans le cadran négatif formé par la partie négative de l'axe 1 et la partie négative de l'axe 3 on retrouve le classe-1 qui est représenté par les lignées : HD99, HD96, HD122, HD110, HD80, HD 117, HD21, HD98, HD15, HD84, HD92, HD19 et HD85. Ces lignées caractérisées par une longue hauteur de plante et une longueur de pédoncule.

Le classe-5 représente par des lignées situées dans la partie négative de l'axe 1 et la partie positive de l'axe3, composé par les lignées : HD27, HD23, HD132, HD127, HD35, HD125, HD126, HD119, HD44, HD12, HD30, HD14, HD62, HD28 et variété locale Tichedrett (Ti). Cette classe caractérisée par la plus grande valeur de longueur d'épi et le nombre d'épi par m².

La carte relative aux axes 2-3 (annexe 2-3) conforme l'individualisation des trois classes 1,3 et 5 obtenus sur la carte relative aux axes 1-2 et 1-3. Cependant, on constate que ces derniers ont tous changé de position. Du côté positif de l'axe 2, on retrouve le classe1. Dans le cadran inférieur gauche de la carte, on retrouve le classe5. La classe 3 est présente dans le cadran négatif formé par la partie positif de l'axe 2 et la partie négatif de l'axe 3.

Donc sur la base de l'analyse graphique 2D, cinq classes principales ont été formées (Figure 17,18 et Annexe 6). La première classe (Classe-1) comprend toutes les lignées caractérisées par une hauteur de plante élevée et une longueur du pédoncule importante. La seconde classe contient principalement les lignées appartenant à la plus grande valeur d'indice de récolte, de rendement en grain et du poids de 1000 grains. La troisième classe contient les lignées à nombre de grains par épi les plus élevés, le poids du grain par épi et le poids de l'épi. La quatrième classe regroupe les lignées caractérisées par un nombre une longue période végétative (levée-épiaison). La cinquième classe est caractérisée par une longueur d'épi et un nombre d'épis par m² élevés.

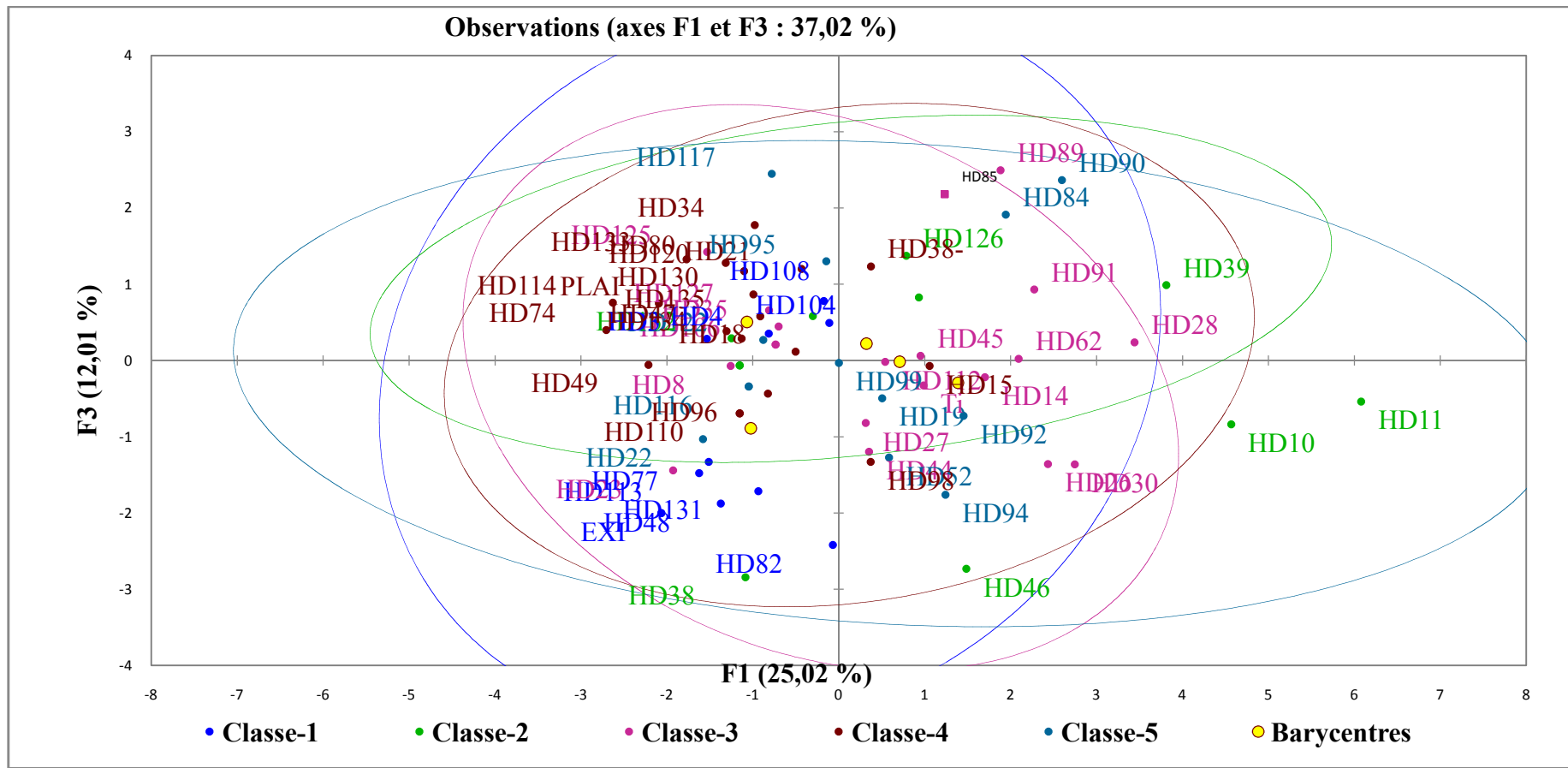


Figure 18 : Représentation graphique des classes dans le plan factoriel 1-3, obtenu à partir des données des deux sites.

2.2.5. Les résultats obtenus par la classification hiérarchique ascendante (CHA)

La recherche de groupes ou de classes de variétés homogènes peut également se faire par ce qu'on appelle la classification hiérarchique, l'analyse en grappes a été utilisée pour la description de la diversité génétique et le regroupement basé sur des caractéristiques similaires (Souri et *al.*, 2005). Le dendrogramme réalisé par analyse en grappes a confirmé les résultats de l'APC et a indiqué que les soixante-six lignées haploïdes doubles (HDs) d'orge et quatre parents pourraient être divisés en trois groupes principaux (Figure 19).

Le premier groupe comprend 38 génotypes, soit 54,28% du matériel expérimental total, il se compose de deux sous-groupes, le premier sous-groupe contenant 21 lignées haploïdes doublées d'orge : HD15, HD91, HD52, HD45, HD112, HD90, HD89, HD94, HD26, HD77, HD22, HD116, HD116, HD95, HD108, HD4, HD104, HD82, HD48, HD131, HD113, HD3 et la variété Exito (Exi). Le deuxième sous-groupe du premier groupe était constitué de 17 lignées d'haploïdes doublées (HDs) : HD27, HD23, HD132, HD127, HD35, HD125, HD126, HD119, HD44, HD12, HD30, HD14, HD62, HD28 et variété locale Tichedrett (Ti).

Le deuxième groupe était constitué des lignes HD10, HD11, HD38, HD39, HD46, HD126 et HD119.

Le troisième groupe comprend 26 génotypes, soit 35,71% du nombre total du matériel végétal, le premier sous-groupe comprenant 12 lignées (HDs) : HD134, HD120, HD47, HD34, HD135, HD133, HD114, HD49, HD130, HD18, HD74 et Plaisant (PLAI). Le deuxième sous-groupe du troisième groupe était constitué des lignes : HD99, HD96, HD122, HD110, HD80, HD 117, HD21, HD98, HD15, HD84, HD92, HD19 et HD85.

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d’orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

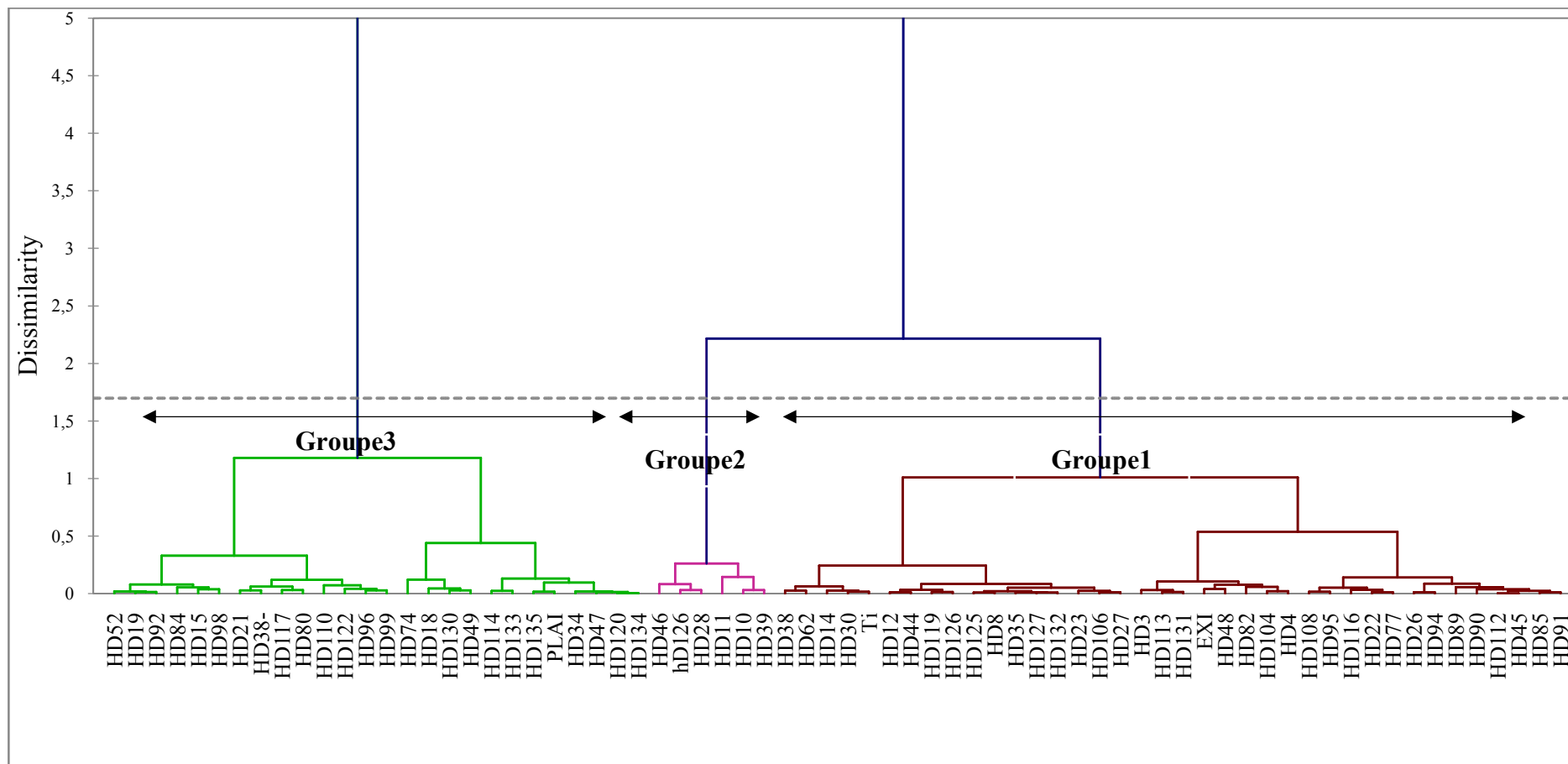


Figure 19 : Groupage des différentes populations d’haploïdes doublées (HDs) d’orge et leurs parents sur la base des douze caractères mesurés.

3. Conclusion

Dans cette étude, l'analyse de la variance révèle un effet génotype hautement significatif pour les quinze caractères morphologiques mesurés, hormis la surface foliaire (SF) et le poids spécifique foliaire (PSF) qui présente un effet non significatif. Ces résultats indiquent la présence d'une variabilité assez importante entre les génotypes étudiés. Cette analyse révèle également un effet environnemental hautement significatif pour l'ensemble des caractères étudiés sauf le nombre des épis par m², la longueur des barbes et le poids spécifique foliaire (PSF) qui ne présentent pas des effets environnementaux significatifs.

L'étude a montré que l'interaction génotype x environnement était significative pour tous les caractères étudiés ($P < 0,001$), à l'exception du poids spécifique de la feuille (PSF) et de la surface foliaire (SF), indiquant une variabilité génétique et des réponses différentes entre les génotypes face aux changements d'environnements, suggérant que les deux environnements testés présentent une diversité suffisante pour permettre l'évaluation de l'interaction et la stabilité des performances pour différents caractères. Cependant, l'interaction G x E rend difficile le choix des génotypes performants dans les programmes de sélection végétale et nuit généralement à l'exactitude de l'estimation du rendement et réduit la relation entre les valeurs génotypiques et phénotypiques (Ssemakula et Dixon, 2007). L'importance des effets annuels suggère également qu'il faut évaluer pendant plusieurs années pour avoir des inférences fiables sur la performance.

Les corrélations génétiques entre les douze caractères agronomiques ont été estimées à partir des données combinées. Une corrélation positive significative, allant de 0,45 à 0,87, a été observée entre le nombre de grains par épi, le poids de 1000 de grains, le nombre d'épis par m², le rendement en grain et l'indice de récolte.

L'analyse en composantes principales (ACP) a été utilisée pour observer le schéma général de variation des traits, il a été réalisée en fonction 12 caractères agronomique quantitatif. Les quatre premières composantes principales dont les valeurs propres sont supérieures à l'unité (1) ont extrait ensemble environ 72% de la variation totale. Le plan factoriel 1-2 et 2-3 contient l'essentiel de l'information. Les premiers composants principaux 1-2, qui représentaient environ 48,42% de la variation totale, étaient respectivement dus à l'indice de récolte, à la teneur relative en eau, au poids de 1000 grains, au rendement en grains et au nombre de jours de date de l'épiaison. De même, environ 23,35% de la variation, représentée par la deuxième composante principale 2-3, était due aux contributions du nombre

Chapitre III : Évaluation des performances agronomiques des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge dans deux régions de la zone semi-aride algérienne.

de grains par épi, de la longueur de l'épi, du poids de l'épi, du poids du grain par épi, suivis de nombre d'épis par m². Par contre, la troisième composante principale 1-3, expliquant environ 12,13% de la variation, était principalement la hauteur de la plante suivie de la longueur du pédoncule, tandis que la quatrième composante principale affichait 10% de la variation totale avec une charge plus importante due à la longueur de l'épi et au nombre de grains par épi

Le dendrogramme (CHA) réalisé par analyse en grappes a confirmé les résultats de l'APC et a indiqué que les soixante-six lignées haploïdes doubles (HDs) d'orge et quatre parents pourraient être divisés en trois groupes principaux. Le deuxième groupe est le plus intéressant caractérise par les valeurs les plus élevées de l'indice de récolte, poids 1000 grains et rendement en grains, cependant il est constitué des lignées : HD10, HD11, HD38, HD39, HD46, HD126 et HD119 qui sont les meilleures pour améliorer la productivité.

**Chapitre IV : Analyse de l'interaction
génotype x milieux du rendement des
lignées haploïdes doublées (HDs)
d'orge : application de modèle GGE-
biplot**

Résumé

L'objectif de cette étude était d'explorer l'effet génotype (G) et de l'interaction génotype × environnement (GE) sur le rendement en grain de cinquante-huit (58) lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge issues d'un croisement entre la variété locale Tichdrett et trois génotypes (Express, Plaisant et Exito). Ils ont été évalués dans un dispositif expérimental en bloc aléatoire complètement randomisé avec trois répétitions. Au cours des campagnes agricoles 2017/2018 et 2018/2019, l'expérimentation a été menée dans deux stations expérimentales de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) : Constantine et Sétif, qui sont caractérisés par un climat semi-aride. Les données de rendement ont été analysées à l'aide de la méthode GGE biplot. L'analyse de la variance du rendement grain, par site, indique un effet génotype significatif ($p < 0,001$) pour l'ensemble des localités. L'analyse combinée de la variance a montré qu'il existe des différences hautement significatives ($p < 0,001$) pour l'environnement, le génotype et leurs interactions. Les effets environnement (E) et l'interaction génotype x environnement (G x E) ont contribué largement à la variation du rendement grain, expliquant respectivement 32,06 % et 25,8 % de la somme des carrés totale ; suivie par effet génotype (G) avec 18,41%. Les deux premières composantes principales (PC1 et PC2) expliquent 53.93% et 30.07%, respectivement, de la variation totale du GGE. Le polygone tracé forme deux sous régions différentes. Le sous régions 1 est représenté par deux sites expérimentaux qui sont E Setif (ITGC 2017/2018) et E Constantine (ITGC 2017/2018) ou HD38 est la meilleure ligne. Par contre le deuxième sous régions 2 est représenté par le site expérimental E Rmada (ITGC Sétif 2018/2019) ou HD52 est la meilleure ligne. De plus, notre analyse GGE-biplot a montré que les lignées HD52, HD94, HD98, HD92, HD84 et HD90 sont identifiées comme étant des lignées adaptées et stables avec un bon niveau de rendement et la ligne HD51 comme étant le plus favorable en termes de potentiel de rendement et de stabilité pour les environnements semi-arides.

Mots clefs : GGE-biplot, Orge, Génotype × environnement (GE), Semi-aride.

Introduction

L'orge est une culture pluviale, pratiquée principalement sur les hautes plaines semi-arides. Dans cette région le régime pluviométrique est hivernal induisant le développement des stress abiotiques, sécheresse, et hautes températures, en fin de cycle de la culture qui coïncide avec le début de l'été. Sous ces conditions, la performance des cultivars est généralement très variable (Bouzerzour et Dekhili, 1995). La recherche de variétés tolérantes des stress et adaptées à la variabilité climatique qui caractérise le milieu devient un important objectif pour les sélectionneurs de cette région (Benmahammed *et al.*, 2003).

La présence d'interactions génotypes \times environnement est à l'origine du comportement instable des variétés qui montrent des fluctuations de rendements à travers les différents environnements (Becker et Léon, 1988; Alberts, 2004).

Depuis longtemps, l'importance majeure de l'interaction génotype \times environnement dans le processus d'amélioration a été signalée, car pouvant compromettre les progrès de la sélection en rendant difficile la classification et la détermination des variétés supérieures performantes (Eberhart et Russell, 1966 ; Powell *et al.*, 1986).

Dans les plans de sélection il faut se concentrer sur l'interaction GXE en se basant sur le testage des génotypes dans des MET pendant plusieurs années pour améliorer les chances d'identifier des génotypes adaptés et relativement plus stables dans le temps et l'espace et pour sélectionner les meilleurs génotypes pour une population d'environnements cibles. En plus de la caractérisation du milieu et du génotype qui est nécessaire pour l'interprétation et l'exploitation de l'interaction génotype x environnement (G x E), il y a aussi lieu d'identifier les sites de sélection qui sont mieux aptes à discriminer entre les génotypes sous sélection, pour faire le meilleur progrès possible.

Bien que la sélection pour la stabilité du rendement ne soit pas un objectif généralement aisé à atteindre ; certains auteurs tels que Muhleisen *et al.* (2014) considèrent même qu'il s'agit d'un objectif impossible à atteindre en raison du nombre requis d'environnements à tester qui dépasse la capacité commune des programmes de sélection de l'orge ; il n'en demeure pas moins que cet objectif constitue une préoccupation centrale pour les sélectionneurs comme l'attestent les nombreux travaux menés sur ce sujet, tels que ceux de Bouzerzour *et al.* (1996) ; Bouzerzour *et al.* (2002) ; Unay et Konak (2004) ; Mustatea *et al.* (2009) ; Benmahammed *et al.* (2010) ; Kadi *et al.* (2010) ; Jalata *et al.* (2011) ; Menad *et al.*

(2011) ; Hanifi-Mekliche et *al.* (2011) ; Jalata (2012) ; Mohammadi et *al.* (2012) ; El-Hashash et El-Absy (2013) ; HanifiMekliche et *al.* (2013) et Feriani et *al.* (2016).

Plusieurs méthodes d'analyses existent pour exploiter positivement les interactions génotype \times environnement et contrôler les sélections en estimant le degré de stabilité des génotypes, voir pour certaines en estimant leur adaptabilité. Ceci permet de garantir l'introduction de nouveaux génotypes et leur adoption par les paysans des zones défavorables. Toutes ces méthodes comportent des avantages et des inconvénients (Sabaghnia et *al.*, 2013), les plus utilisées sont : la régression conjointe (Yates et Cochran., 1938 ; Finlay et Wilkinson., 1963 ; Eberhart et Russel., 1966), les écovalences génotypiques (Wricke., 1962) ou environnementales (Parisot-Baril, 1992), le modèle multiplicatif (ou modèle AMMI) (Mandel, 1969 et 1971 ; Zobel et *al.*, 1988 ; Gauch , 1992 et 2006) et le modèle GGE-biplot (Yan et *al.*, 2000). Ces méthodes se basent sur la décomposition de l'interaction qui permet d'identifier l'origine de l'interaction (quels milieux, quels génotypes contribuent le plus à l'interaction ?).

L'analyse GGE biplot, a été proposé par (Yan., 1999 ; Yan et *al.*, 2000), cette méthodologie combine deux concepts : Tout d'abord, bien que le rendement mesuré soit l'effet combiné des effets G, E et GE, seule l'interaction G et GE est pertinente et doit être considérée simultanément dans l'évaluation génotypique, d'où le terme GGE. Deuxièmement, la méthode GGE biplot développée par (Gabriel, 1971) a été utilisée pour afficher graphiquement les effets GGE suite à l'analyse des données provenant des essais multi-environnementaux (MET), d'où le terme de biplot de GGE. Ce modèle est utilisée pour identifier efficacement le génotype le plus performant dans les environnements ou les essais sont installés, identifier les meilleurs génotypes pour délimiter des méga-environnements, pour lesquels des génotypes spécifiques peuvent être recommandés et évaluer les performances et la stabilité des génotypes (Yan et Kang., 2003; Yan et Tinker, 2006). Il a été suggéré que l'analyse par GGE- biplot était une méthode utile pour l'analyse des interactions génotype \times environnement (Butron et *al.*, 2004; Fan et *al.*, 2007; Laffont et *al.*, 2007; Yan et Kang, 2003; Samonte et *al.* , 2005) et ont été exploités dans l'évaluation des variétés de blé (Yan et Hunt, 2001; Yan et *al.*, 2000), de maïs (Fan et *al.*, 2007) et de soja (Yan et Rajcan, 2002).

La présente étude a été menée pour (i) analyser la significativité et la magnitude de l'interaction génotype \times environnement sur le rendement en grain de 58 lignées haploïdes doublées et leurs parents dans trois environnements(ii) application de la technique de GGE

biplot évaluez visuellement la manière de varier les performances de rendement d'un génotype à l'autre en vous basant sur le diagramme biométrique GGE, en vue de sélectionner de nouveaux génotypes à meilleur niveau de stabilité de rendement.

1. Matériel et méthodes

1.1. Matériel végétal

Dans le cadre d'un projet de l'INRAA intitulé : « Production de lignées haploïdes doublées d'orge (*Hordeum vulgare* L.) En vue de la sélection de nouvelles variétés associant haute productivité et meilleure adaptabilité aux conditions environnementales des zones semi-arides », une population de 58 lignées d'haploïdes doublées (HDs) (Tableau 15), obtenue par l'équipe de projet fédérateur d'orge (INRAA) , à partir de la culture d'anthères de trois l'hybrides Tichedrett × Express, Tichedrett × Plaisant et Tichedrett × Exito, ont été utilisées dans des essais multi-locaux afin d'évaluer leur comportement et d'analyser leur interaction avec les environnements.

1.2. Dispositif expérimental et environnements

Cinquante-huit lignées haploïdes doublées (HDs) et quatre variétés parentales ont été évaluées pour leur comportement vis-à-vis du rendement en grain dans trois environnements semi-arides (Tableau 16). Les génotypes ont été semés en bloc aléatoire complet à trois répétitions, à une densité de 275 grains/m² sur des parcelles élémentaires de 6 m² (6 lignes de 5 m, avec 20 cm entre les lignes). La mesure du rendement en grain a été effectuée sur les plantes issues de la récolte au state maturité d'une placette de 1m linéaires et ramenés au m².

Les données concernant le rendement grain des essais de comportement de l'orge analysées dans le précédent chapitre sont ré-analysées avec les données de L'expérimentation qui a été réalisée durant la campagne agricole 2018/2019, il a été mené sur le site expérimental de la Station Agricole ITGC Setif, situé au lieu-dit Rmada. Cette base de données est constituée des résultats des trois sites (E1 : Station ITGC El-khroub (2017/2018), E2 : Station ITGC de Sétif (2017/2018) et E3 : station ITGC Setif Rmada (2018/2019) localisés en milieu semi- aride.

Tableau 15 : Liste des génotypes utilisés (4 variétés parentales et 58 lignées haploïdes doublés).

Code	Génotypes et lignées	Code	Lignées	Code	Lignées
TICH	Tichedrett	HD28	F2 Tichedrett x Express	HD110	F1 Tichedrett x Express
EXP	Express	HD27	F2 Tichedrett x Express	HD108	F1 Tichedrett x Express
PLA	Plaisant	HD23	F2 Tichedrett x Express	HD106	F1 Tichedrett x Express
EXI	Exito	HD22	F2 Tichedrett x Express	HD104	F1 Tichedrett x Express
HD8	F2 Tichedrett x Express	HD19	F2 Tichedrett x Express	HD99	F1 Tichedrett x Express
HD62	F2 Tichedrett x Express	HD18	F2 Tichedrett x Express	HD98	F1 Tichedrett x Express
HD52	F2 Tichedrett x Express	HD134	F1 Tichedrett x Express	HD96	F1 Tichedrett x Express
HD49	F2 Tichedrett x Express	HD133	F1 Tichedrett x Express	HD95	F1 Tichedrett x Express
HD48	F2 Tichedrett x Express	HD132	F1 Tichedrett x Express	HD94	F1 Tichedrett x Express
HD47	F2 Tichedrett x Express	HD131	F1 Tichedrett x Express	HD92	F2 Tichedrett x plaisant
HD45	F2 Tichedrett x Express	HD130	F1 Tichedrett x Express	HD91	F2 Tichedrett x plaisant
HD44	F2 Tichedrett x Express	HD127	F1 Tichedrett x Express	HD90	F2 Tichedrett x plaisant
HD41	F2 Tichedrett x Express	HD126	F1 Tichedrett x Express	HD89	F2 Tichedrett x plaisant
HD4	F2 Tichedrett x Express	HD125	F1 Tichedrett x Express	HD85	F2 Tichedrett x plaisant
HD38	F2 Tichedrett x Express	HD122	F1 Tichedrett x Express	HD84	F2 Tichedrett x plaisant
HD35	F2 Tichedrett x Express	HD120	F1 Tichedrett x Express	HD82	F2 Tichedrett x Exito
HD34	F2 Tichedrett x Express	HD12	F2 Tichedrett x Express	HD80	F2 Tichedrett x Exito
HD33	F2 Tichedrett x Express	HD117	F1 Tichedrett x Express	HD77	F2 Tichedrett x Exito
HD32	F2 Tichedrett x Express	HD116	F1 Tichedrett x Express	HD74	F1 Tichedrett x Exito
HD3	F2 Tichedrett x Express	HD113	F1 Tichedrett x Express	HD135	F1 Tichedrett x Exito
HD29	F2 Tichedrett x Express	HD112	F1 Tichedrett x Express		

Tableau 16 : Description des environnements expérimentaux.

Code de site	E1	E2	E3
Compagne agricole	2017/2018	2017/2018	2018/2019
Sites expérimental	ITGC EL-Khroub	ITGC Sétif	ITGC Sétif Rmada
Coordonnées Géographique	Hautes plaines	Haut plateaux	Haut plateaux
Latitude	36°29' N	36°10'N	36°08'N
Longitude	6°41'E	5'21'E	5'20'E
Altitude(m)	640	979	958
Type de climat	Type méditerranéen, Semi-aride	Type continental, semi-aride, à hiver froid et pluvieux, a été chaud et sec (Chennafi et <i>al.</i> , 2006). Risque précoce de sirocco et de gel tardif au printemps	
Pluviométrie cumulé (mm) (Nov–Juin)	403	334,7	269.1
Température Minimal (°C)	8,7	6,87	7.5
Température Maximal (°C)	20,4	18,48	20.9
Caractéristiques du sol	argilo-limono avec l'argile varie entre 30 à 39% et la matière organique de 0,95- 1,25 %, riche en calcaire avec 12% (Derbal, 2015)	argilo-limono, de pH alcalin (8,2), d'une teneur en calcaire actif de 18,4% et d'une teneur en matière organique de 2,6% (Kribaa et <i>al.</i> 2001 ; Chennafi et <i>al.</i> 2008b).	

1.3. Analyse statistique

Le rendement en grain a d'abord été analysé au sein de chaque environnement (E) individuellement, soit un total de trois environnements : ITGC Constantine (E1) 2017/2018, ITGC Sétif (E2) 2017/2018 et ITGC Sétif (E3) 2018/2019. A cet effet, une analyse de la variance des données du rendement a été réalisée à l'aide de PROC ANOVA de SAS (SAS Institute, 1988) séparément pour chaque environnement afin d'évaluer la variation à l'intérieur des génotypes d'orge selon le modèle suivant :

$$Y_{ij} = \mu + G_i + B_j + e_{ij}$$

Où :

Y_{ij} : Valeur du génotype i dans la répétition ou block j .

μ : Moyenne générale de l'expérimentation.

G_i : Effet du Génotype i .

B_j : Effet du Block j .

ε_{ij} : Erreur résiduelle.

Ensuite, les lignées ont été séparées pour le Rdt en utilisant le test de la différence la plus significative (Ppds) à un niveau de probabilité de 5% pour générer des génotypes supérieurs par environnement.

Une analyse de la variance combinée des données de l'ensemble des environnements a été réalisée à l'aide de REML de PROC Mixed SAS (SAS Institute, 1988), afin de tester l'effet de l'interaction GE et d'obtenir les composantes de la variance. Les données sont analysées selon le modèle :

$$X_{ijk} = \mu + G_i + E_j + B_k + (GE)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Où :

X_{ijk} est la moyenne du génotype (i) dans l'environnement (j) et dans la répétition ou block k ;

μ est la moyenne générale de tous les essais ;

G_i est l'effet du génotype i ,

E_j est l'effet de l'environnement j ,

B_k est l'effet du Block k ,

$(GE)_{ij}$ est l'interaction du génotype (i) avec l'environnement (j) ;

ε_{ijk} est la moyenne de l'erreur aléatoire.

Pour décomposer la composante de l'interaction $(GE)_{ij}$ en fait d'identifier les génotypes à large adaptabilité et éventuellement des génotypes à haut rendement ayant une adaptation spécifique, le modèle de GGE biplot est utilisé. L'analyse GGE a été traitée par le modèle (Yan., 2001) :

$$Y_{ij} - \mu - \bar{Y}_j = \lambda_1 g_{i1} e_{1j} + \lambda_2 g_{i2} e_{2j} + \varepsilon_{ij},$$

Où :

Y_{ij} est le rendement moyen du génotype i à l'environnement j .

μ est la moyenne générale.

\bar{Y}_j est le rendement moyen de tous les génotypes dans l'environnement j .

λ_1, λ_2 sont les valeurs singulières de PC1 et PC2 respectivement.

g_{i1} et g_{i2} sont les scores du PC1 et PC2 du génotype i , respectivement.

ε_{ij} la résiduelle associée au génotype i et l'environnement j .

e_{1j} , e_{2j} sont les scores du PC1 et PC2 de l'environnement j , respectivement.

Les GGE-biplot ont été réalisés en utilisant les scores des deux premières composantes (IPCA1 et IPCA2) de l'analyse en composantes principales en utilisant le logiciel Genstat version 12 qui génère des graphes indiquant :

- Le modèle « wich won where »
- Le classement des génotypes selon leur performance, et leur stabilité.
- Le classement des environnements testés suivant la capacité discriminante et la représentativité.

2. Résultats et discussions

2.1. Performances de rendement en grain des génotypes par environnement

L'analyse de la variance du rendement grain, par site, indique un effet génotype significatif à $p < 0,001$, pour l'ensemble des localités (Tableau 17). Ce résultat suggère l'existence de la variabilité génotypique parmi les génotypes évalués, ce qui autorise la sélection pour mettre en faveur cette variabilité.

Tableau 17 : Carrés moyens de l'analyse de la variance du rendement grain mesuré par environnement.

Source de variation	DDL	Environnements		
		E1	E 2	E 3
		CM	CM	CM
Blocks	2	171.1612524 ^{ns}	0.20555 ^{ns}	95.1744796 ^{ns}
Génotypes	61	116.548983^{***}	215.88073^{***}	256.88785^{***}
Erreur	124	43.72661	19.53387	69.77671
CV (%)		19.45	31.77	34.40

CM : Carre moyenne ; DDL : Degrés de liberté ; E : Environnement ; E1 : ITGC El-khroub ; E2 : ITGC Sétif ; E3 : ITGC Sétif Rmada, CV : Coefficient de variation, *** Significatif a $p \leq 0.001$, ^{ns} : Non – significative a $p \leq 0.05$.

Chapitre IV : Analyse de l'interaction génotype x milieux du rendement des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge : application de modèle GGE-biplot

Le rendement moyen en grain par environnement varie de 28.89 q/ha à 42.31 qx/ha (Tableau18). Le rendement en grain le plus élevé est obtenu au niveau d'E1- ITGC Constantine 2017-2018 (42.31 q/ha), suivi de celui obtenu au niveau d'E3-ITGC Sétif 2018-2019 (33,32 q/ha), Le site expérimental E2-Sétif 2017-2018 constitue l'environnement le moins favorable, enregistrant le rendement moyen le plus faible, 28.89qx/ha.

La moyenne des rendements par génotype varie de 14.68 qx/ha (HD49 sur le site E2 de Sétif) à 58.77 qx/ha, (HD52 sur le site E3 de Sétif). Ainsi, au niveau du site E1-Constantine 2017-18, le rendement en grain varie de 21,43 qx/ha enregistré par la lignée HD80, à 54,69 qx/ha pour la lignée HD91. Au niveau d'E2-Sétif 2017-2018, la lignée HD49 enregistre le rendement le plus bas (14,68 qx/ha), alors que la lignée HD38 enregistre la valeur les plus élevé avec respectivement, 48,75 qx/ha. Pour le site E3-Sétif 2018-19, c'est le parent Exito et la lignée HD35 qui enregistrent les plus petites valeurs du rendement avec 14,88 qx/ha et 15,22 qx/ha, respectivement, la lignée HD52, la valeur la plus élevée (58.77 qx/ha) (Annexe 7).

Le classement différentiel des lignées à travers les environnements indiquait que les lignées d'orge HD91, HD104, HD126, HD38, HD94, HD12, HD119, HD112, HD44 et HD90 les plus performants au niveau d'E1-El-khroub 2017-18 (Tableau18), au cours de la même campagne agricole à E2 Sétif, les meilleures performances ont été obtenues pour les lignées HD38, HD62, HD26, HD52, HD89, HD84, HD85, HD45, HD90 et HD94. Au niveau d'E3 Sétif, les lignées les plus performants sont HD52, HD98, HD130, HD92, HD84, HD117, HD106, HD94, HD96 et HD8. La majorité de ces lignées d'orge ont obtenu de meilleurs résultats que les variétés parentales, le classement différentiel des lignées à travers les environnements indique la présence d'une interaction GE (Becker et Léon, 1988), laquelle est confirmée par l'analyse de la variance combinée (Tableau19).

Tableau 18 : Les lignées d'orge double haploïde (DHs) les plus performantes et les quatre parents pour le rendement en grains (qx/ha) évalués dans trois environnements.

Génotypes	Environnements		
	ITGC 2017/2018	El-khroub ITGC Sétif 2017/2018	ITGC 2018/2019
1	HD91 ^a (54.69)	HD38 ^a (48.75)	HD52 ^a (58.77)
2	HD104 ^a (54.39)	HD62 ^{ab} (47.42)	HD98 ^a (50.25)
3	HD126 ^{ab} (51.54)	HD26 ^{ab} (47.17)	HD130 ^{ab} (49.97)
4	HD38 ^{ab} (50.49)	HD52 ^{abc} (45.25)	HD92 ^{ab} (48.84)
5	HD94 ^{abc} (49.97)	HD89 ^{abc} (44.24)	HD84 ^{abc} (44.81)
6	HD12 ^{abc} (49.75)	HD84 ^{abc} (43.03)	HD117 ^{abc} (44.38)
7	HD119 ^{abcd} (49.12)	HD85 ^{bcde} (41.56)	HD106 ^{bcde} (43.25)
8	HD112 ^{abcd} (48.99)	HD45 ^{bcde} (40.51)	HD94 ^{bcde} (42.10)
9	HD44 ^{abcde} (48.36)	HD90 ^{bcde} (40.06)	HD96 ^{bcde} (41.77)
10	HD90 ^{abcde} (47.54)	HD94 ^{bcdefg} (38.37)	HD8 ^{bcde} (41.54)
Tichedrett	43.1 ^{cdefg}	36.59 ^{fghijk}	46.17 ^{abc}
Express	38.79 ^{efghij}	22.85 ^{rstu}	28.25 ^{lmnop}
Plaisant	36.83 ^{ijkl}	19.38 ^{xyz}	21.57 ^{rst}
Exito	39.83 ^{defghij}	19.31 ^{xyz}	11.49 ^t
Min	16.90	11.0	9.31
Moysite± SE	42.31±0.60	28.89±0.67	33.32±0.84
Max	66.61	51.25	67.33
Ppds_{5%}	10.686	7.14	13.499

Min : Minimale, Moy site : Moyenne du rendement par essai (q/ha), SE : Erreur standard, Max : Maximale. Les moyennes avec la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différente selon Ppds_{5%}.

2.2. Analyses de l'interaction G × E pour le rendement en grain

Les résultats de l'analyse de la variance combinée du rendement grain sont donnés au Tableau19. La proportion de la variation la plus importante (32.06 % de la somme des carrés des écarts (SCE) des traitements) a pour source l'environnement, indiquant des environnements contrastés.

La part de la variation due au génotype ne représente que 18,41 %, cette faible proportion s'explique certainement par l'origine même des lignées évaluées. En effet, toutes ces lignées ont en commun un seul et même parent local, Tichedrett, de plus, quarante-sept de ces lignées sont issues d'un seul et même croisement (Tichedrett × Express), le reste des

Chapitre IV : Analyse de l'interaction génotype x milieux du rendement des lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge : application de modèle GGE-biplot

lignées sont issues du croisement Tichedrett × Plaisant et Tichedrett × Exito. Ces résultats suggèrent que cette variable est soumise, essentiellement à des effets environnements plus qu'à des effets génétiques. La part de la variation expliquée par l'interaction GE est élevée, elle représente 25,8 % du total de la somme des carrés des écarts (G + E + GEI) (Tableau 5). Ces proportions, la plus grande part représentée par l'environnement suivi de l'interaction GE, puis la plus faible pour le génotype, sont en accord avec celles rapportées par Samonte et *al.* (2005), Bantayehu (2009), Kadi et *al.* (2010) et Feriani et *al.* (2016).

Tableau 19 : Analyse de variance combinée pour les données de rendement en grains de cinquante-huit lignées haploïde double (HDs) d'orge et quatre parents évalués à trois environnements.

Source de variation	DDL	Somme des carrés des écarts	Carré moyen	% de variation
block	2	15.97	7.989 ^{NS}	
Environnement	2	22390.87	11195.43^{***}	32.06
Génotypes	61	12862.31	210.85^{***}	18.41
Génotypes*Environnement	122	18086.05	148.24^{***}	25.8
Erreur	370	16480.63	44.54	

^{***} Significatif a $p \leq 0.001$, ^{NS} : Non – significative a $p \leq 0.05$.

Des études antérieures ont également signalé un effet d'interaction significatif G × E sur le rendement en grain des populations d'orge (Von Korff et *al.* 2008 ; Schmalenbach et *al.* 2009). Par ailleurs, la confirmation de la présence de l'interaction GE, nécessite de mener l'analyse de la stabilité du rendement en grain pour identifier les lignées stables et performantes.

2.3. Etude de l'interaction $G \times E$ par le modèle GGE biplot

2.3.1 Décomposition de l'interaction $G \times E$

L'analyse combinée de la variance a montré qu'il existe des différences hautement significatives pour l'environnement, le génotype et leurs interactions. Les effets environnement (E) et l'interaction génotype x environnement ($G \times E$) ont contribué largement à la variation du rendement grain, expliquant respectivement 32,06 % et 25,8 % de la somme des carrés totale ; Suivie par effet génotype (G) avec 18,41%. Cela indique l'importance prédominante des facteurs environnementaux, pour déterminer le rendement.

L'effet de l'interaction $G \times E$, exprimé dans cette étude, est plus élevé que celui du génotype. Ceci suggère que des différences substantielles existent dans les réponses des génotypes évalués à la variation des milieux, d'où la nécessité de conduire des essais de comportement multi sites et multi années pour identifier les génotypes performants pour le milieu ciblé.

2.3.2. L'analyse GGE biplot

Le GGE biplot a été construit en utilisant les deux premiers composants principaux (PC1 et PC2) dérivés des données soumises à une décomposition en valeurs singulières. Yan and Kang, 2003 proposent de relier les marques des génotypes par des lignes qui forment un polygone. D'autres droites passant par l'origine matérialisent les zones potentielles des différents environnements ou sous régions (Yan *et al.*, 2000 ; Yan and Hunt., 2002). Le ou (les) génotypes qui paraissent être les meilleurs dans une zone donnée. Le GGE biplot montre graphiquement G plus GE des données des essais multi locaux d'une manière qui facilite la visualisation pour mieux évaluer les variétés testées et l'identification des méga environnements (Yan *et al.*, 2007 ; Yan., 2014).

Seuls deux PC (PC1 et PC2) sont conservés parce qu'un tel modèle paraît être le meilleur pour extraire des motifs. Via ce modèle, PC1 et PC2 peuvent être facilement affichés dans un biplot bidimensionnel afin que l'interaction entre chaque génotype et chaque environnement puisse être visualisée.

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- Identifier l'environnement le plus discriminant.

- Evaluer le rendement de chaque génotype par rapport à chaque environnement.
- Examiner l'existence possible de différents méga environnements.
- Identifier le génotype idéal pour chaque méga environnement.

Les données de la présente étude ont généré le GGE-biplot présenté par la (Figure 1), les deux premières composantes principales obtenues par décomposition en valeur singulière des données centrées du rendement en grains ont représenté 84% de la variabilité totale causée par G + GE. De ces variations, PC1 et PC2 représentaient respectivement 53.93 % et 30.07 % de la variabilité.

2.3.3 Discrimination et représentativité des sites d'évaluation

La puissance discriminante et la représentativité de la biogéographie GGE est une mesure importante des environnements-test (Dehghani et *al.*, 2006). La longueur des vecteurs de l'environnement est proportionnelle aux écarts types des rendements des génotypes dans l'environnement correspondant sur le biplot et montre également la capacité de discrimination des environnements (Yan and Tinker., 2006). Si la position d'un environnement - test est proche du centre biplot, c'est-à-dire a un vecteur court, tous les génotypes sont similaires, et cet environnement n'est pas informatif sur leur différences de performances. En effet, les environnements E Sétif (ITGC 2017/2018) et E Sétif (ITGC Rmada 2018/2019) ayant des vecteurs longs ont une grande puissance discriminante ; l'environnement E El-khroub (ITGC 2017/2018) se caractérise par une faible puissance discriminante (Figure 20).

Un environnement-test qui paraît non discriminant fournit peu d'informations sur les différences génotypiques (Yan and Tinker., 2006) et / ou les performances de tous les génotypes dans cet environnement- test sont uniformes.

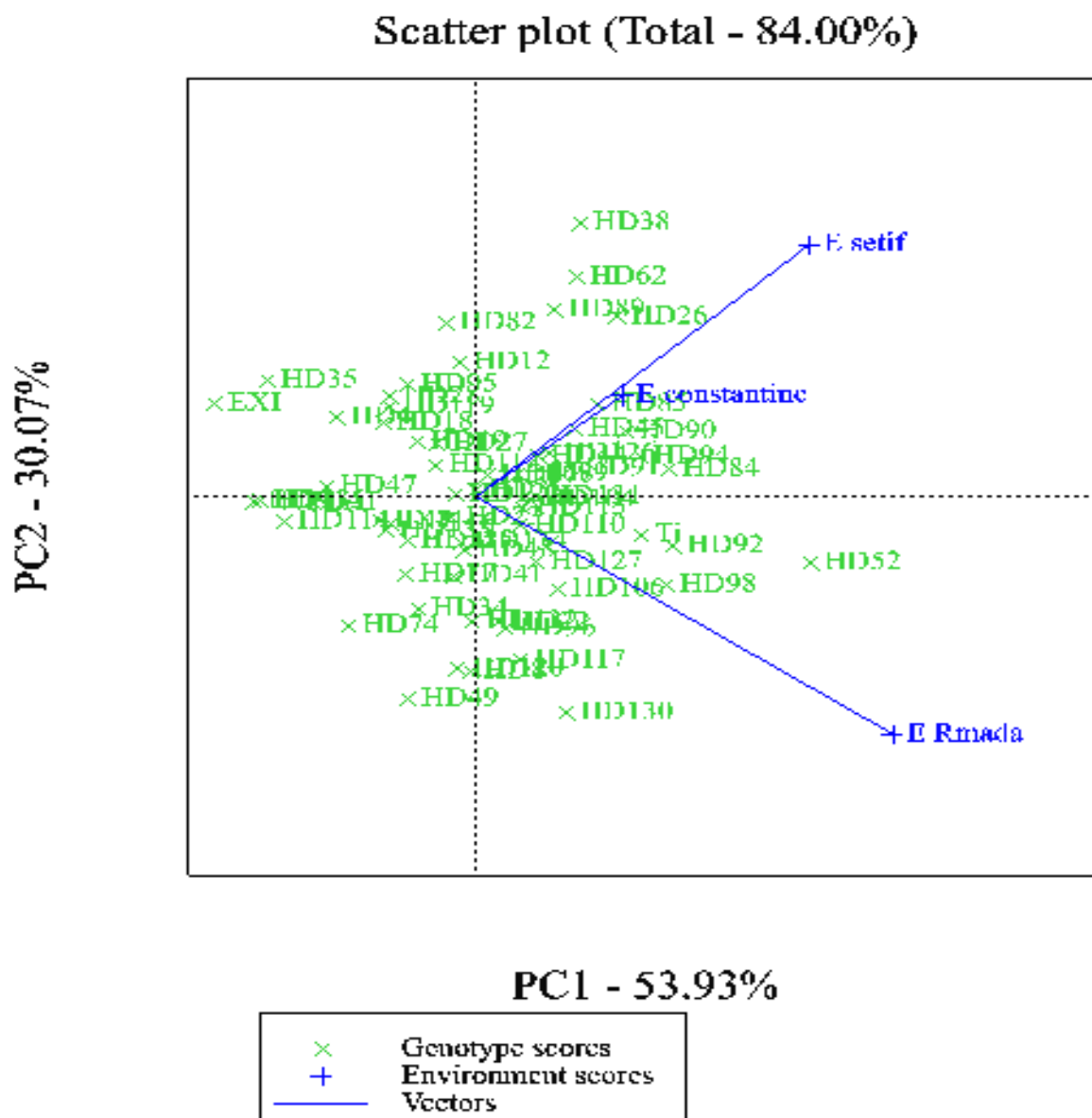


Figure 20 : GGE biplot représentant les vecteurs d'environnement (génotype et GEI) pour montrer les similitudes entre les environnements - test dans la discrimination des génotypes.

Le cosinus de l'angle entre les vecteurs d'environnement est utilisé pour évaluer l'approximation entre eux. L'angle formé entre deux vecteur est proportionnel au coefficient de corrélation entre les deux environnements correspondants (Yan., 2002), plus l'angle entre les vecteurs de deux environnements est plus petit, plus la corrélation entre eux est plus grande (Yan et Holland, 2010). De ce fait, il existe une corrélation entre les environnements E Sétif (ITGC 2017/2018) et E Constantine (ITGC 2017/2018).

La longueur du vecteur-localité est une mesure de la capacité de cette localité à discriminer entre les différents génotypes évalués. Un long vecteur-localité indique que la localité concernée est discriminante du comportement variétal, en termes de performances (apte à favoriser l'expression des différences de performances entre les génotypes évalués).

L'axe de l'environnement moyen (AEA : average-environment axis) est schématisé par un vecteur qui passe par l'origine et porte un petit cercle à sa terminaison. Cet axe représente l'environnement moyen de toutes les localités (Yan., 2001). Une localité, dont l'angle qu'elle forme avec l'AEC et un cosinus de faible valeur, est plus représentative (classe les génotypes de manière similaire ou proche du classement moyen fait sur l'ensemble des localités ou environnements) que les autres environnements testés.

La méthode du GGE biplot permet de mesurer la représentativité des environnements est de définir un environnement repère et de l'utiliser comme référence pour la comparaison, cet environnement «idéal», ou l'environnement moyen (indiqué par un cercle avec une flèche dedans représentant l'axe AEC) (Figure 21).

Cet environnement est le plus discriminant des génotypes et le plus représentatif par rapport aux autres environnements – test ; dans la présente étude c'est E Sétif (ITGC 2017/2018) qui est le plus souhaitable pour évaluer les performances des génotypes. Un environnement moyennement discriminant et le plus représentatif, comme E Sétif, peut donc être utilisé pour des génotypes avec une large adaptation (Figure 21).

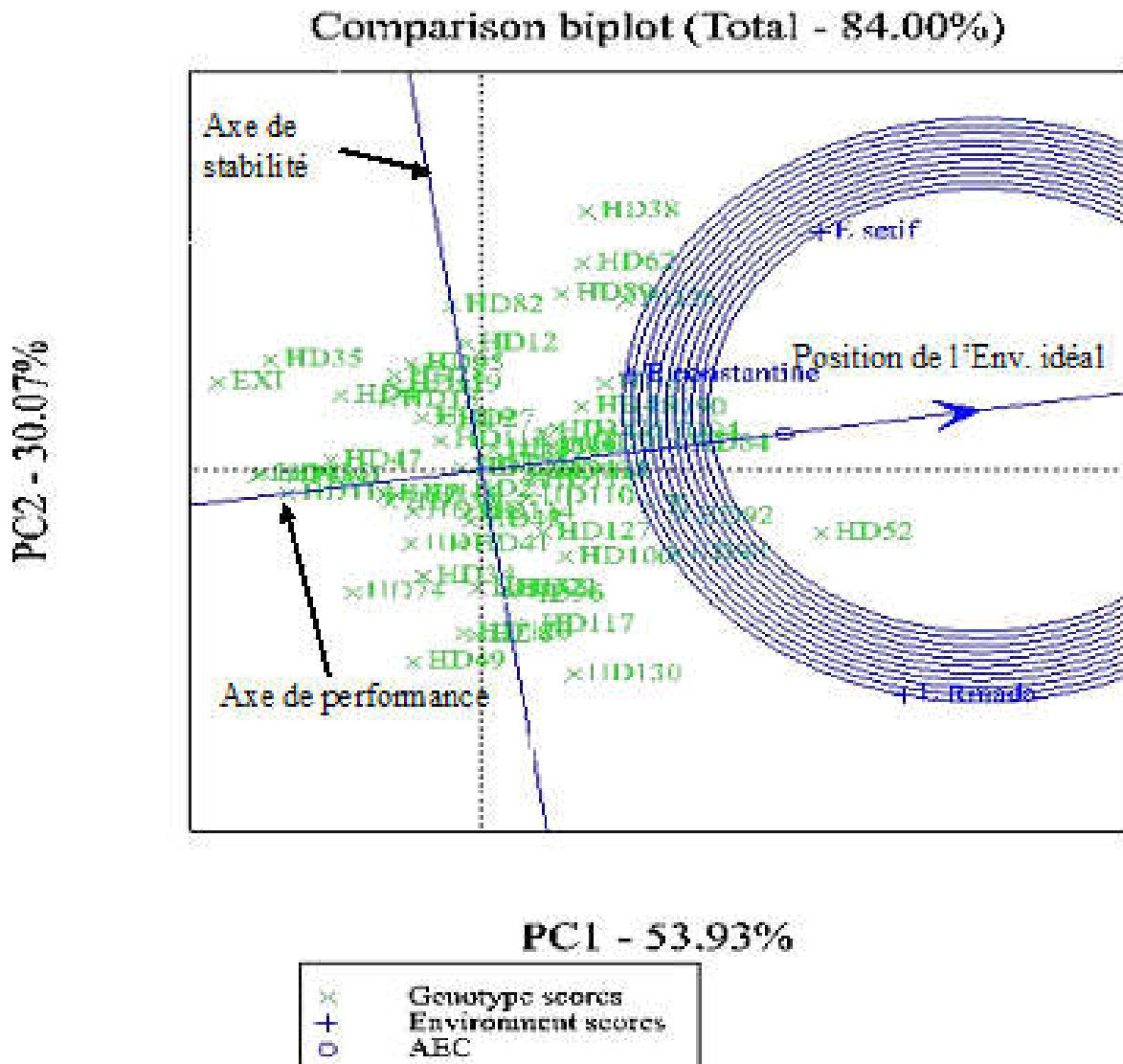


Figure 21 : GGE biplot représentant le classement des environnements en fonction de la représentativité et la capacité discriminante

2.3.4. Définition des sous-régions et identification du meilleur génotype par zone

Le GGE-biplot génère un polygone en reliant les marqueurs de génotypes plus éloignés de l'origine biplot, de sorte que tous les génotypes sont contenus dans le polygone (Kaya et al., 2006). La conception polygonale d'un biplot est un moyen efficace pour visualiser les formes de l'interaction entre le génotype et l'environnement (Yan and Kang., 2003) pour montrer la présence ou l'absence d'un GE croisé qui est utile pour estimer l'existence possible de différents méga environnements (Gauch and Zobel., 1997, Yan et Rajcan., 2002, Yan and Tinker., 2006). Le polygone du GGE biplot de notre étude est présenté par la (Figure 22).

Les sommets du polygone sont des marqueurs de génotype qui sont au maximum éloignés du centre du biplot. Les lignes divisant le biplot en secteurs représentent un ensemble d'environnements éventuel.

Si un génotype à un sommet angulaire du polygone tombe dans un secteur avec un marqueur d'environnement (ou Plusieurs marqueurs), cela signifie que la capacité de rendement de ce génotype est la plus élevée dans cet environnement.

Les meilleurs génotypes de chaque secteur sont ainsi pour les sites qui sont dans ce même secteur, de sorte que les sites ayant le même secteur partagent le même ou les mêmes meilleurs génotypes (Yan et *al.*, 2000).

Une autre caractéristique importante de ce biplot est qu'il indique des groupements environnementaux, ce qui suggère l'existence possible de différents méga-environnements.

L'analyse GGE permet d'identifier les génotypes potentielles adaptés à une sous-région et ceux qui présentent une large adaptation. (Yan and Kang., 2003) proposent de relier les marqueurs des cultivars vertex par des segments de droite former un polygone. Les deux premières composantes principales expliquent 84% de la variation totale du GGE (Figure 22). Le polygone tracé forme sept sous régions différentes. Les cinq dernier de sous régions (3 à 7) n'ont pas de sites d'évaluations qui leur est spécifique. La sous régions 1 est représenté par deux sites expérimentaux qui sont E Setif (ITGC 2017/2018) et E El-khroub (ITGC 2017/2018). Par contre la deuxième sous régions 2 est représentée par le site expérimental E Rmada (ITGC Sétif 2018/2019).

Les résultats de la présente étude vont dans même sens que ceux de plusieurs recherches. En ce qui concerne l'identification des sous-régions, les plus contrastées et les plus intéressantes pour la sélection et l'évaluation du matériel végétal. En effet, Yan et *al.*, (2000) utilisent la méthode GGE pour montrer que les zones céréalières canadienne peuvent être groupées, uniquement en deux sous régions comparativement aux quatre sous-région rationnellement reconnues.

Quem et *al.* (2010) utilisent l'analyse GGE pour grouper les sites d'évaluation en environnements plus ou moins homogène et pour identifier les génotypes qui sont performants dans chaque sous-région et ceux qui montrer une large adaptation à toutes les

sous-régions identifiées. Glaz et Kang (2008), utilisant la méthode GGE, identifier des sites dévaluation qui sont redondants pour la sélection de la canne du sucre en Floride.

En Algérie, Bendjama *et al.* (2014) identifient trois zones ou méga-environnements et les génotypes de blé dur les plus performants par zones. Nouar *et al.* (2012), utilisent l'analyse GGE pour grouper les sites d'évaluation en environnements plus ou moins homogène et pour déterminer la performance, la stabilité des génotypes de blé dur.

Cependant, une telle séparation des sites en deux méga environnements était quelque peu incohérente. (Annicchiarico *et al.*, 2006) suggèrent que les sites de sélection testés dans la région du nord algérien sont groupés en deux méga environnements complexes, la sous-région A dont fait partie El-khroub et Guelma et la sous-région B qui englobe Sétif et Tiaret. Avec une interaction fréquente GX E entre les sites.

Les génotypes les plus performants par zones se situent aux têtes du polygone. En effet, HD38 (Tichedrett x Express) et HD52 (Tichedrett x Express) sont les meilleurs génotypes dans la sous-région 1 et 2 respectivement (Figure 22). Les lignées HD49, HD74, HD35 et le génotype Exito performant médiocrement sur l'ensemble des sites d'évaluations.

La méthode GGE biplot permet selon (Kang *et al.*, 2006) d'identifier l'adaptation spécifique des génotypes aux environnements tests. Alors que d'autres recherchent ont tablé sur le zonage variétal reposant sur l'adaptation générale et spécifique en essayant d'attribuer des génotypes distincts à des zones particulières. Van Der Berg *et al.* (2011) identifient quatre méga-environnements et les génotypes à adaptation spécifique et ceux qui montrent une large adaptation. Sharma *et al.* (2010) utilisent cette technique pour déterminer la performance, la stabilité, et la supériorité des lignées de blé tendre d'hiver conduites sous irrigation, en Inde.

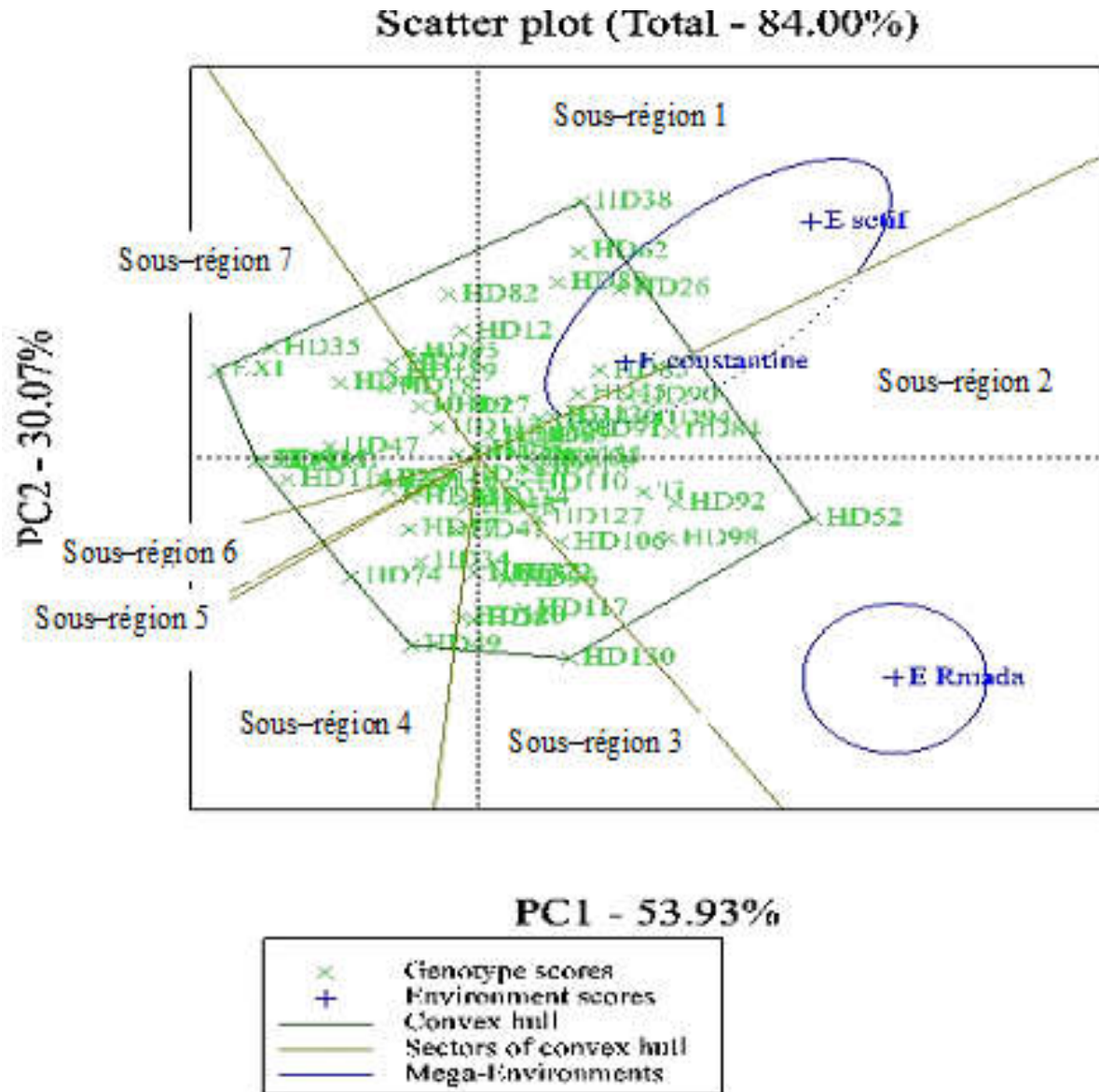


Figure 22 : GGE biplot représentant les génotypes performants dans chaque sous-région "which-won-where"

2.3.5. Performance, stabilité génotypique et le génotype idéal

Le génotype désirable, adapté à la région ciblée, doit avoir une performance et une stabilité élevées, le vecteur AEC est orienté dans le sens de l'augmentation de la performance, ordonnait ainsi les différentes génotypes. La droite orientée dans les deux sens et passe par l'origine, et indicatrice de la variabilité (instabilité des performances) dans les deux directions. Ainsi un génotype dont la droite de projection sur le vecteur AEC est court est plus stable qu'un génotype dont la droite de projection est plus longue (Figure 23).

Le GGE biplot classe les génotypes par leur performance moyenne de rendement et leur stabilité dans un certain nombre d'environnements. Un génotype idéal est celui qui est performant et stable.

Les coordonnées du testeur moyen (ATC = Average Tester Coordinates), l'axe X, ou la ligne de performance, traverse l'origine du biplot avec une flèche indiquant l'extrémité positive de l'axe et classe les génotypes en fonction de leur performance. L'axe Y passe par l'origine du graphe et est perpendiculaire à l'axe X est un indicateur de stabilité des génotypes. La performance moyenne et la stabilité des génotypes sont estimées par des projections de leurs marqueurs sur l'axe des abscisses (scores PC2) ; un génotype ayant un long vecteur de projection est plus instable.

Dans notre étude, les lignées les plus performants sont par conséquent, HD52, HD94, HD98, HD92, HD84, HD90 et HD26, ont des performances supérieures à la moyenne et sont situées proche du génotype idéal, matérialisé par un petit cercle (Figure 23).

La comparaison des droites de projection longues sur l'axe AEC et ayant des scores PC2 faibles indique que les lignées HD52, HD94, HD98, HD92, HD84, HD90 sont les plus stables, alors que HD130, HD38 et HD62 est la plus instable à cause de son score PC2 élevé.

Les lignées, HD49, HD74, HD35 et le génotype Exito sont indésirables à cause de leurs scores PC1 négatifs et ont des performances inférieures à la moyenne parce qu'elles se situent en bas de l'axe AEC (Figure 23).

(Kang., 2002) notait que la performance d'un génotype est évaluée par son rendement et sa stabilité et que les sélectionneurs optent pour les génotypes performant dans différents environnements.

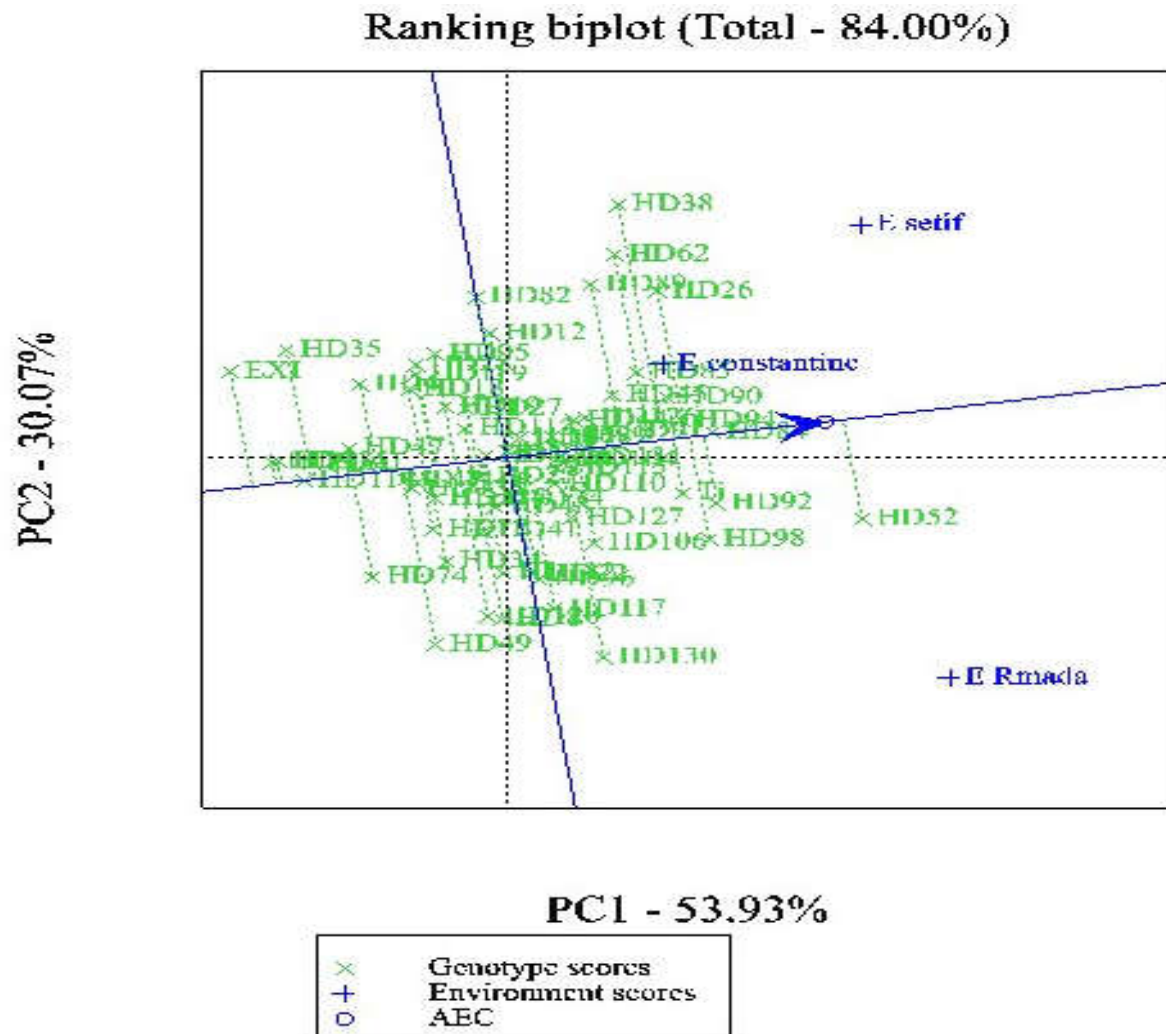


Figure 23 : GGE biplot représentant le classement des génotypes en fonction de la performance et de la stabilité.

Le centre des cercles concentriques (Figure 24) représente la position d'un génotype « idéal », défini par une projection sur l'axe de l'environnement moyen qui est égal au plus long vecteur des génotypes ayant des rendements moyens supérieurs à la moyenne et par une projection nulle sur la ligne perpendiculaire (nulle dans tous les environnements).

Dans notre étude, la lignée HD52 qui occupe le centre du cercle paraît être le génotype idéal en termes de performance et stabilité. Les lignées HD94, HD98, HD92, HD84 et HD90 qui se trouvent dans le deuxième cercle sont désirables (Figure 24). Yan et Tinker., 2006 notaient que plus un génotype est proche de l'idéal, plus il est désirable. Bien que, le génotype « idéal » peut ne pas exister en réalité, il peut être utilisé comme référence pour l'évaluation des génotypes.

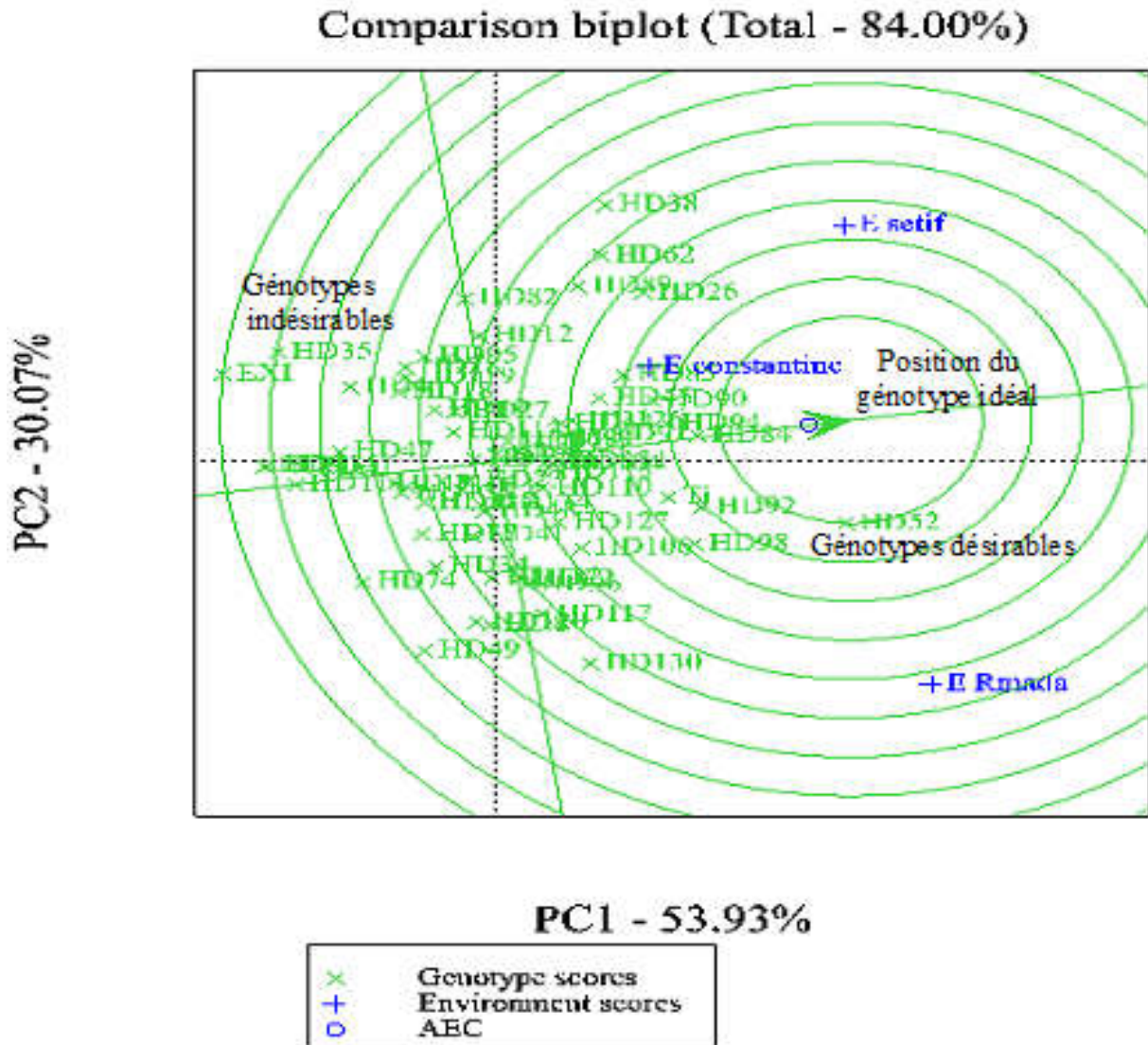


Figure 24 : GGE biplot représentant la localisation du génotype idéal.

2.3.6. Performance des génotypes par site

Souvent on est intéressé à connaître le classement des différents génotypes dans une localité donnée ou de comparer le classement dans différentes localités pour les besoins d'identifier les sites de sélection. Ainsi deux sites qui classent différemment les génotypes doivent être retenus comme site d'évaluation. Par contre les sites qui classent de manière similaire les différents génotypes, forment une sous-région et un seul de ces sites mérite d'être retenu pour le testage du matériel végétal (Annichiarico et *al.*, 2005).

Pour ce faire on trace une droite orientée dans le sens de l'augmentation de la performance qui passe par l'origine et qui relie la localité d'intérêt pour laquelle on cherche le

classement des génotypes. Cette dernière est indiquée par une flèche. La Figure 25 montre le classement des différents génotypes sur le site de Rmada (Sétif 2018/2019), c'est les lignées HD52, HD98, HD92 et HD84 qui sont les plus performantes. Les Figures 26 et 27 montrent le classement des différents génotypes sur les sites du Constantine (2017/2018) et du Sétif (2017/2018), les deux sites classent lignées HD38, HD62, HD26, HD90, HD89 et HD85 comme étant les plus performantes.

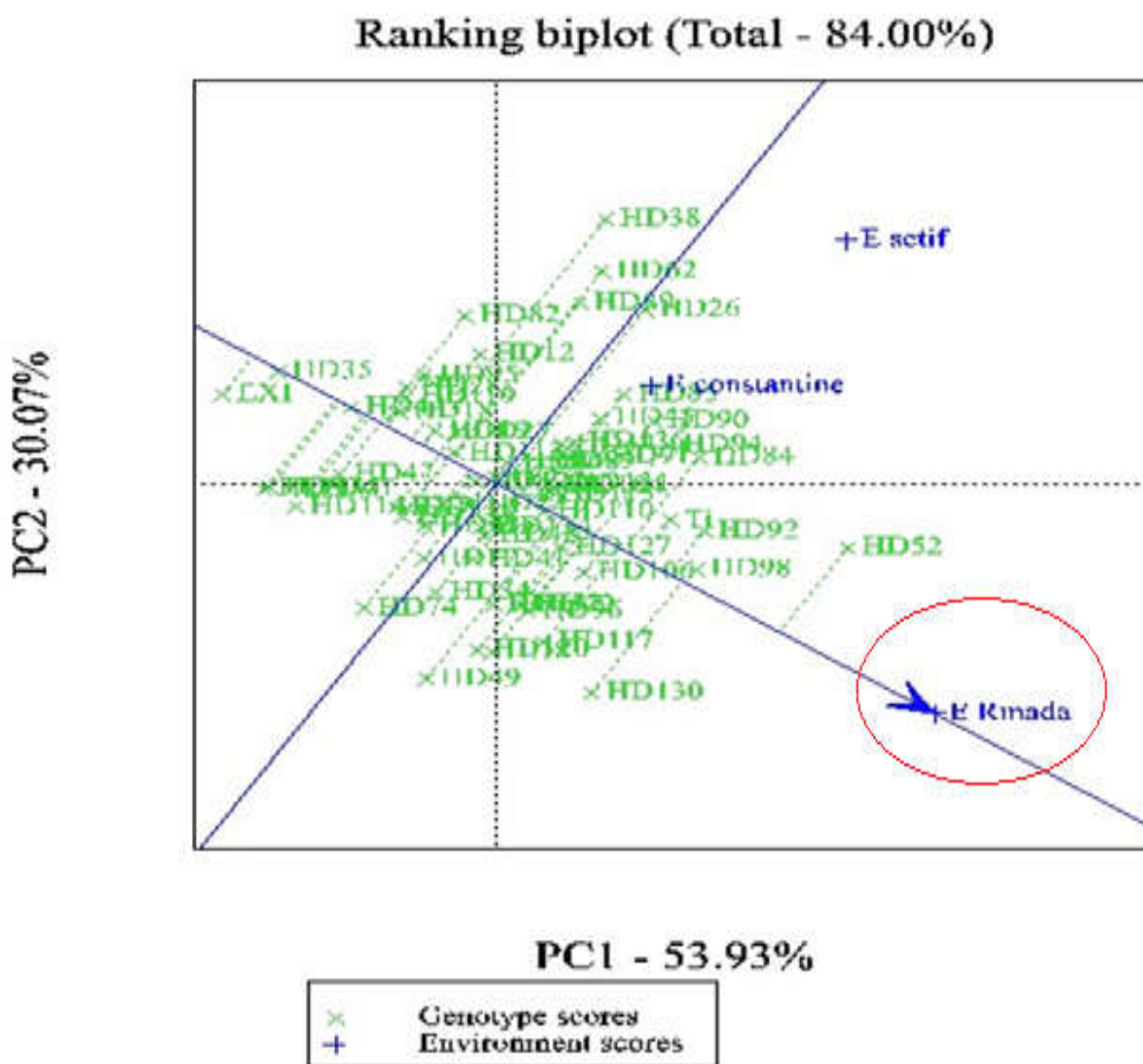


Figure 25 : Comparaison des performances des génotypes sur le site E Rmada (2018/2019).

2.3.7. Classement des environnements bases sur la performance du génotype idéal « I »

Pour étudier l'adaptation spécifique d'un génotype, la ligne tracée passe par l'origine biplot et le génotype, les génotypes et les environnements sont classés le long de cet axe. Ainsi, le graphique indique que le génotype I à une moyenne plus élevé que celle de la plus part des environnements, parmi celles-ci, il y a la meilleure performance dans les deux environnements E Rmada (2018/2019) et E Sétif (2017/2018) sa plus faible performance est réalisée à E Constantine (ITGC 2017/2018). (Figure 28).

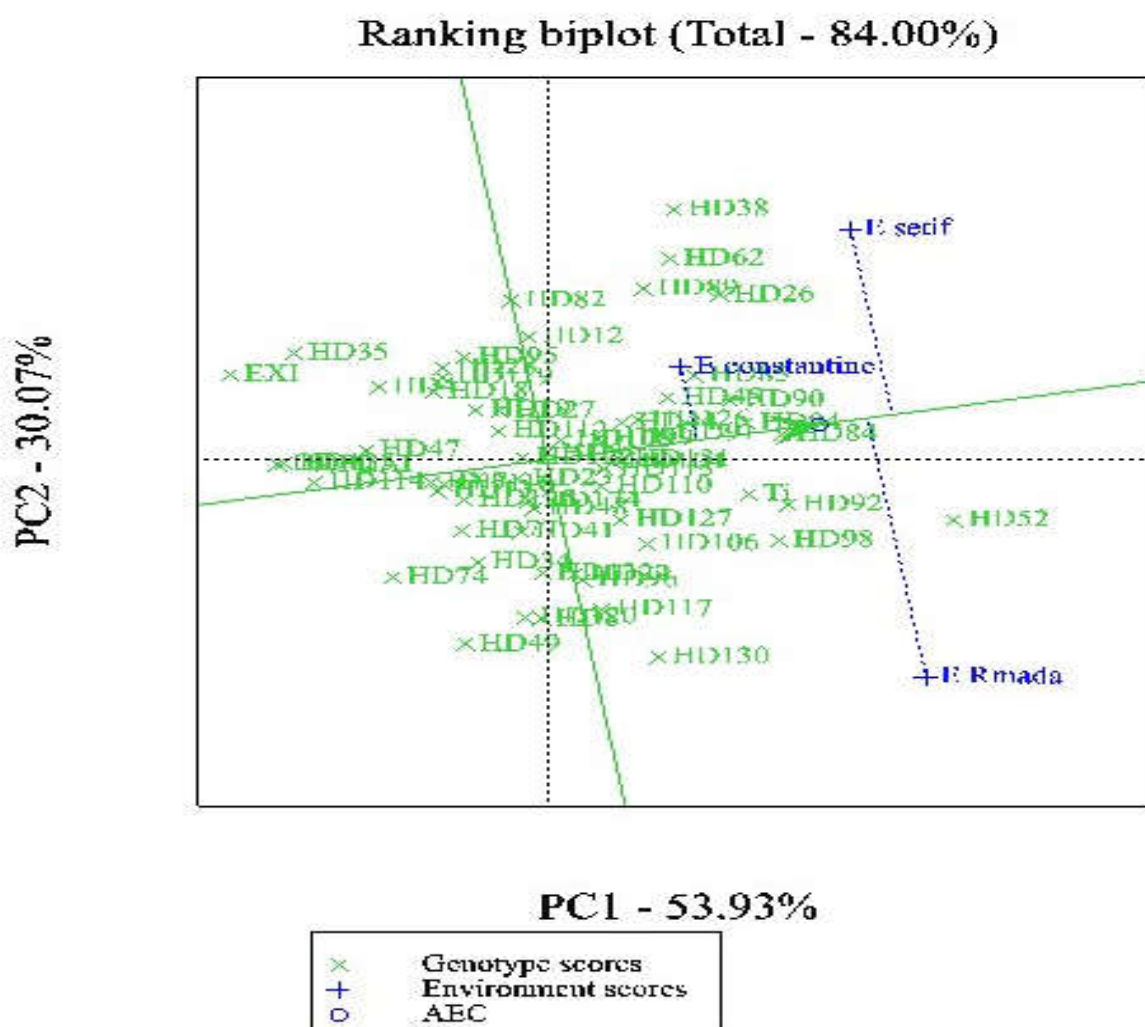


Figure 28 : GGE biplot représentant l'ordre des environnements - test par rapport à la performance du génotype « I ».

3. Conclusion

Les résultats de cette étude indiquent que l'analyse de la variance du rendement grain, par site, indique un effet génotype significatif pour l'ensemble des localités, suggérant l'existence de la variabilité génétique utilisable par une sélection par site.

L'analyse combinée de la variance a montré qu'il existe des différences hautement significatives pour l'environnement, le génotype et leurs interactions. Les effets environnement (E) et l'interaction génotype x environnement (G x E) ont contribué largement à la variation du rendement grain, expliquant respectivement 32,06 % et 25,8 % de la somme des carrés totale ; Suivie par effet génotype (G) avec 18,41%. Cela indique l'importance prédominante des facteurs environnementaux, pour déterminer le rendement.

Cette étude a démontré clairement que le modèle du GGE biplot était efficace pour évaluer l'ampleur de l'effet $G \times E$ et la visualisation du potentiel de rendement et de la stabilité des génotypes de l'orge ainsi que la capacité de discrimination et de représentativité des environnements testés en explorant de manière significative les relations entre les génotypes et les sites où ils sont évalués.

Notre étude va dans les mêmes fins prospectées par beaucoup d'autres chercheurs, en ce qui concerne l'identification des sous-régions les plus promises pour la sélection et l'approximation du matériel végétale en général. En effet, plusieurs recherches (Yan et *al.*, 2000, Yan et Rajcan, 2002, Dehghani et *al.*, 2006; Glaz et Kang, 2008 et Quem et *al.*, 2010) utilisant la méthode GGE biplot ont abouti à des résultats intéressants concernant la subdivision des régions larges en zones plus petites leur attribuant des génotypes qui peuvent être plus compétitifs et plus stables.

Le model "which-won-where» permet d'identifier les génotypes potentielles adaptées a des sous-régions spécifique. Les deux premières composantes principales expliquent 84% de la variation totale du GGE. Le polygone tracé forme sept sous régions différentes. Les cinq dernier de sous régions (3 à 7) n'ont pas de sites d'évaluations qui leur est spécifique. La sous régions 1 est représenté par deux sites expérimentaux qui sont E Sétif (ITGC 2017/2018) et E Constantine (ITGC 2017/2018) ou HD38 (Tichedrett x Express) est la meilleure lignée. Par contre la deuxième sous régions 2 est représentée par le site expérimental E Rmada (ITGC Sétif 2018/2019) ou HD52 (Tichedrett x Express) est la meilleure lignée.

Les résultats indiquent que les haploïdes doublés d'orge sont un matériel approprié pour l'analyse des interactions génotype \times environnement. Les performances de leurs rendements en grain sont influencées par les effets de ces interactions. Ceci a entraîné une instabilité au sein de la population HDs. De plus, notre analyse GGE- biplot a montré que la population HDs contenait des génotypes désirables en termes de stabilité et de performance. Les lignées HD49, HD74, HD35 et le génotype Exito performant médiocrement sur l'ensemble des sites d'évaluations. Les lignées HD52, HD94, HD98, HD92, HD84 et HD90 sont identifiées comme étant des lignées adaptées et stables avec un bon niveau de rendement et la ligne HD52 (Tichedrett x Express) comme étant la lignée la plus favorable et la plus proche du génotype «idéal» en termes de potentiel de rendement et de stabilité. Pour ces raisons, l'ensemble de ces lignées peut être considéré comme prometteur, il doit être valorisé et recommandé pour les environnements semi-arides testés sous réserve d'effectuer quelques analyses supplémentaires (qualités technologiques et caractérisation moléculaires).

Conclusion générale

Conclusion générale

En Algérie, les rendements de la culture d'orge sont instables et de faibles niveaux et ce, en raison des conditions de culture contraignantes et variables. Pour faire face à cette situation, des variétés performantes, qui minimisent les effets de ces contraintes, ayant acquis une résistance aux stress biotiques et abiotiques doivent être développées.

Afin d'accroître l'efficacité des procédures d'obtention de nouvelles variétés, certains outils de biotechnologies doivent être mis à profit et être associés aux méthodes conventionnelles. A cet effet, des procédures intégrant la technologie de la culture des tissus ont été utilisées en vue de la sélection de nouvelles variétés alliant stabilité et bon niveau de rendement en grain.

L'utilisation d'haploïdes intervient très avantageusement dans la création variétale des céréales. Cependant, la technique d'obtention des haploïdes et/ou haploïdes doublés par culture *in vitro* d'anthers est déterminée par nombreux facteurs aussi bien biologiques que physiques ou chimiques. Notre travail a porté sur l'optimisation de la réponse andro-génétique de trois cultivars d'orge (*Hordeum vulgare* L.): Saida183, Tichedrett et Igri, soumis à deux prétraitements au froid à 4°C pendant 7 à 14 jours et 21 à 28 jours.

Ce travail a permis de montrer que le génotype et les prétraitements des épis au froid à 4°C ont eu un effet significatif sur les paramètres androgénèses.

Le taux d'induction le plus levées obtenu à partir du génotype Igri et le plus faible obtenu à partir du génotype Saida183. Les taux de régénération enregistrés pour les trois cultivars sont 34,41% pour le cultivar Igri suivie par le cultivar Tichedrett avec 21,25% et 14,5% pour Saida183.

Le prétraitement des épis à 4°C pendant 21 à 28 jours a permis de produire plus de cals et/ou embryons et des plantes régénérer que le prétraitement au froid pendant 7 à 14 jours.

Dans le cadre de l'obtention des lignées haploïdes doublées (HDs) par culture *in vitro* (CIV) d'anthers (androgénèse), des lignées en ségrégation (F2), issues de croisements entre deux variétés locale cvs. Tichedrett, Saida183 et la variété introduite cvs. Express, ont été utilisés dans un essai d'obtention d'haploïdes doublés (HDs) par culture d'anthers. Un total de 1260 anthers a été mis en culture donnant un taux d'induction moyen de néoformations de 15,16% à savoir, 16% à partir de l'hybride Tichedrett × Express et 14,11 % à partir de l'hybride Saida183× Express. Un total de quarante-deux plantules a été régénéré. Vingt-neuf plantules ont été obtenues à partir de l'hybride Tichedrett × Express et treize à partir de l'hybride Saida183× Express. Le pourcentage de plantules vertes obtenues à partir de

l'hybride Tichedrett × Express est de 68,97%, le pourcentage d'albinos est de 31,03% alors que 46,15% de plantules vertes et 53,85% de plantules albinos ont été obtenues à partir de Saida183 × Express. Sur treize plantules placées en acclimatation, neuf (69,23%) plantes fertiles ont été récoltées à partir de Tichedrett × Express et trois (60%) à partir de l'hybride Saida183 × Express. Bien que les plantules vertes obtenues demeurent relativement faible, ils indiquent néanmoins que l'hybride Tichedrett × Express a mieux répondu que l'hybride Saida183 × Express.

L'utilisation de la culture d'anthers pour doubler la production d'haploïdes, même si elle demande beaucoup de travail est nécessaire pour optimiser les méthodes de prétraitement pour améliorer le pourcentage de taux de réussite haploïde doublé et diminuer le nombre de plantes stériles ainsi que d'albinos régénérés au cours du processus.

A l'issue de ce travail, des résultats encourageants ont été obtenus. Il serait envisageable d'entreprendre une étude beaucoup plus approfondie en augmentant le nombre de génotypes. Les travaux d'optimisation demeurent un passage obligé pour maximiser la production d'haploïdes doublés dans le cadre des programmes d'amélioration génétique. Ce travail pourrait être élargi à d'autres facteurs déterminés par la production d'haploïdes doublés comme les facteurs biologiques, physiques ou chimiques. Ces résultats contribueront à accroître la capacité de production du laboratoire, et à une meilleure compréhension des conditions favorisant l'obtention de plantes vertes haploïdes doublées.

Soixante-six (66) lignées haploïdes doublées (HDs) d'orge, issues de la culture d'anthers à partir d'hybrides Tichedrett × Express, Tichedrett × Plaisant et Tichedrett × Exito et leurs parents, ont été évaluées dans un dispositif expérimental en bloc aléatoire complètement randomisés avec trois répétitions. Au cours de la campagne agricole 2017/2018, l'expérimentation a été menée dans deux stations expérimentales de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) : Sétif et El-khroub, qui sont caractérisés par un climat semi-aride. Deuze caractères agronomiques quantitatifs ont été évalués. Ce travail a permis d'obtenir un groupe le plus intéressant caractérisé par des valeurs les plus élevées de l'indice de récolte, poids 1000 grains et rendement en grains, cependant il est constitué des lignée : HD10, HD11, HD38, HD39, HD46, HD126 et HD119 qui sont les meilleures pour améliorer la productivité.

Les résultats indiquent que les haploïdes doublés d'orge sont un matériel approprié pour l'analyse des interactions génotype × environnement. Les performances de leurs rendements en grain sont influencées par les effets de ces interactions. Ceci a entraîné une instabilité au

sein de la population HDs. De plus, notre analyse GGE- biplot a montré que la population HDs contenait des génotypes désirables en termes de stabilité et de performance. Les lignées HD49, HD74, HD35 et le génotype Exito performant médiocrement sur l'ensemble des sites d'évaluations. Les lignées HD52, HD94, HD98, HD92, HD84 et HD90 sont identifiées comme étant des lignées adaptées et stables avec un bon niveau de rendement et la ligne HD52 (Tichedrett x Express) comme étant la ligne la plus favorable et la plus proche du génotype «idéal» en termes de potentiel de rendement et de stabilité. Pour ces raisons, l'ensemble de ces lignées peut être considéré comme prometteur, il doit être valorisé et recommandé pour les environnements semi-arides testés sous réserve d'effectuer quelques analyses supplémentaires (qualités technologiques et caractérisation moléculaires).

La procédure d'haplo-diploïdisation appliquée sur des lignées en ségrégation issues des croisements entre la variété locale Tichedrett et trois variétés introduites, a permis un gain de temps considérable dans le processus de sélection à travers l'obtention de lignées (HDs) homozygotes en un temps record comparé à la procédure classique.

Il est important de mettre à profit ces aptitudes, en plus de l'efficacité qu'offre cette technique en matière de gain de temps et de réduction des coûts de création variétale et d'intégrer cette procédure dans les programmes d'amélioration de cultures aussi stratégiques que les céréales pour l'Algérie.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abbas K., et Abdelguerfi A., 2008.** Evaluation of a regenerated natural meadow in a semi - arid area of Algeria. *Option méditerranéennes A.* **79**: 179-185.
- Abebe TD., Bauer AM., Leon J.,2010.** Morphological diversity of Ethiopian barleys (*Hordeum vulgare* L.) in relation to geographic regions and altitudes. *Hereditas* 147:154-164.
- Ait-Abdallah-Djenadi F., N. Dekkiche, Z. Ghalem-Djender, K. Oumdjekane, F. Zaghouane-Boufnara. 2010.** Cultures et coûts de production des grandes cultures. Institut Technique des Grandes Cultures. 96 pages. Dépôt légal: 3894 - 2011; ISBN: 978-9961-881-18-7.
- Akdeniz H., Keskin B., Yilmaz I., Oral E., 2004.** A Research on yield and yield components of some barley cultivars. *J. Agric. Sci.* 14:119-125.
- Alberts, M.J.A., 2004.** Comparison of statistical methods to describe genotype environment interaction and yield stability in multi- location maize trials. M. Sc. Thesis, University of the Free State.
- Andersen SB., Due IK., Olsen A., 1987.** The response of anther culture in a genetically wide material of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant. Breed.* 99:181–186.
- Annicchiarico P., and Perenzin M., 1994.** Adaptation patterns and definition of macroenvironments for selection and recommendation of common wheat genotypes in Italy. *Plant Breed*, 113:197-205.1994.
- Anonyme, 2010.** Après 40 ans, l'Algérie redevient exportatrice d'orge. *econostrum.infl'* actualité économique en méditerranée. <http://www.econostrum.info/>.
- Arzani A., and Darvey N., 2001.** The effect of colchicine on triticale anther-derived plants: microspore pre-treatment and haploid-plant treatment using a hydroponic recovery system. *Euphyt.* 122:235–241.
- Asif M., 2013.** Progress and Opportunities of Doubled Haploid Production. Series: Springer Briefs in Plant Science, Vol. 6; 75 pp.
- Ataei M., 2006.** Path analysis of barley (*Hordeum vulgare* L.) yield. *Ankara Univ. Fac. Agric. J. Agric. Sci.* 12:227-232.
- Bantayehu M., 2009.** Analysis and correlation of stability parameters in malting barley. *Afr. Crop Sci. J.* **17**: 145 - 153.
- Becker H.C. and Léon, J., 1988.** Stability Analysis in Plant Breeding. *Plant Breeding*, 101, 1 23.
- Bedasa M., Berhane L. and Tadesse D., 2015.** Morphological diversity and association of traits in Ethiopian food barley (*Hordeum vulgare* L). Landraces in relation to regions of origin and altitudes. *Journal of Plant Breeding and Crop Science.* Doi: 10. 5897/JPBCS 2014. 0480. Number: 460648 D 49913 ISSN 2006-9758. Vol. 7(2), pp. 44-54, February 2015.
- Belaid DJ., 1986.** Aspect de la céréaliculture algérienne, OPU, 207 p.
- Belay G. et Brink M ., 2006.** Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1-Céréales et légumes secs-Fondation PROTA/BackuysPublishers/CTA-p.
- Belkherchouche H., Fellah S., Bouzerzour H., Benmahammed A, Chellal N., 2009.** Vigueur de la croissance, translocation et rendement grain du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *Courrier du savoir* (9) : 17- 24.
- Bellatreche A., Moustafa Yassine Mahdad M Y , Kaouadji Z, Gaouar SBS., 2017.** Agromorphological diversity of some accessions of bread wheat (*Triticuma aestivum*) in western Algeria. *Biodiversitas* 18: 409-415.

- Benbelkacem A., Kellou K., 2000.** Evaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) cultivées en Algérie. In: Royo C. (ed.), Nachit M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.). Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Zaragoza: *Ciheam*, p. 105-110.
- Bendjama A., Bouzerzour H., Benbelkacem A., 2014.** Adaptability of Durum Wheat Genotypes (*Triticum turgidum* L. *Var durum*) to Contrasted Locations. *Aust. J. Basic & Appl. Sci.*, 8(6): 390-396, 2014.
- Benmahammed A., 2004.** La production de l'orge et possibilité de développement en Algérie. *Céréaliculture*. ITGC El Harrach, 41:34-38.
- Benmahammed A., 2005.** Hétérosis, « Transgressions et efficacité de la sélection précoce et retardée de la biomasse, du nombre d'épis et utilisation des indices chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) », Thèse de Doctorat, Constantine, 2005.
- Benmahammed A., A. Kermiche, KL. Hassous, A. Djekoun, H. Bouzerzour. 2003.** Analyse de l'interaction génotype x milieux du rendement de l'orge *Hordeum vulgare* L. en zone semi-aride. *Revue Sciences & Technologie*, 19: 98-103.
- Benmahammed A., Hassous KL., 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 Siimane, Oued Smar, Khémis Miliana, Sétif et Khroub, au cours de la période 1980/81 à 1996/97. *Céréaliculture*, 36: 13-20.
- Benmahammed, A., Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, A. et Bouzerzour, H., 2010.** Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *BASE*. 14, 177-186.
- Bhutta WM, Barley T, Ibrahim M., 2005.** Path-coefficient analysis of some quantitative characters in husked barley. *Ser. Biol.* 17:65-70.
- Bingham I.J., A.J. Karley, P.J. White, W.T.B. Thomas and J.R. Russell. 2012.** Analysis of improvements in nitrogen use efficiency associated with 75 years of spring barley breeding. *Europ. J. Agronomy* 42: 49– 58.
- Bonjean A., 1995.** L'orgerevisitée. *Biofutur*, juilletaoût 147:28–32.
- Bouatrous Y., 2013.** Effet du stress salin et l'haplodiploïdisation chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse doctorat. Université Mentouri de Constantine. 126 pages.
- Bouchkout I., I. Akrou. 2011.** Analyse de l'effet de génotype et du traitement au froid sur la réponse à la culture d'anthères de quelques hybrides d'orge (*Hordeum vulgare* L.) issus de la variété locale Saïda. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en agronomie, Université Saad DAHLAB-BLIDA. Faculté des sciences de la vie et de la nature. *Blida*. 45 pages
- Boulal H., Zaghouane O., El Mourid M., et Rezgui L., 2007.** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orges) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. TIGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.
- Bouzerzour H. et Benmahammed A., 1993.** Environmental factors limiting barley yield in the high plateau of Eastern Algeria. *Rachis*, 12 (1) :14 – 19.
- Bouzerzour H., A. Benmahammed, N. Benkharbeche, KL. Hassous et R. Issolah. 2002.** Contribution de la sélection à l'amélioration et à la stabilité des rendements de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans l'étage bioclimatique semi-aride. *Recherche Agronomique*, 10 : 45-58.
- Bouzerzour H., A. Djekoun, A. Benmahammed, KL. Hassous. 1998.** Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement grain de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone d'altitude. *Cahiers de l'Agriculture*, 8:133-137.

- Bouzerzour H., A. Djekoune, A. Benmahammed. 1996.** Genotypic similarity of performance and stability of environmental responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.). *Actes Inst. Agron. Veto Maroc*, **16** (2): 33 – 38.
- Bouzerzour H., M. Dekhili. 1995.** Heritability, gain from selection and genetic correlation for yield of barley grown in two contrasting environments. *Field Crops Res.*, **41**:173-178.
- Brar D. et Khush G., 1994.** Cell and tissue culture for plant improvement. In: AS. Basra (éds). Mechanisms of plant growth and improvement productivity. Modern Approaches. New York, Basel, Hong-Kong, M. Dekker Inc.: 229-278.
- Brisibe EA, Olesen A, Andersen SB., 1997.** Characterization of anther culture-derived cell suspensions exclusively regenerating green plantlets in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphyt.* **93**:321–329.
- Butron A, Velasco P, Ordás A, Malvar RA., 2004.** Yield evaluation of maize cultivars across environments with different levels of pink stem borer infestation. *Crop Sci.* **44**: 741-747.
- Cai Q, Szarejko I, Polok K, Maluszynski M., 1992.** The Effect of sugars and growth regulators on embryoid formation and plant regeneration from Barley anther culture. *Plant. Breed.* **109**:218-226.
- Caredda S., P. Devaux, R. S. Sangwan, and C. Clément. 1999.** Differential development of plastids during microspore embryogenesis in barley. *Protoplasma* **208**: 248-256.
- Caredda S., P. Devaux, R.S. Sangwan, I. Prout, C. Clément. 2004.** Plastid ultrastructure and DNA related to albinism in androgenetic embryos of various barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *Plant Cell Tissue Organ Cult*, **76** :35-43.
- Castillo AM, Cistué L, Romagosa I, Vallés MP., 2001.** Low responsiveness of six-rowed genotypes to androgenesis in barley does not have a pleiotropic basis. *Genome* **44**:936–940.
- Castillo AM., MP Vallés, L. Cistué. 2000.** Comparison of anther and isolated microspore culture in barley. Effects of culture density and regeneration medium. *Euphytica*, **113**: 1-8.
- Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F.W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A.M., Francia, E., Mare, C., Tondelli, A., Stanca, A.M., 2008.** Drought tolerance improvement in crop plants, an integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Res.* **105**, 1–14.
- Ceccarelli S. and Grando S., 1996.** *Hordeum vulgare* L. In: Grubben, G.J.H. and Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia. Cereals Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands, **10**: 99–102.
- Ceccarelli S. and Grando, S., 2006.** *Hordeum vulgare* L. In: Brink, M. & Belay, G. Editeurs. PROTA 1: Cereals and pulses/Céréales et légumes secs. PROTA, Wageningen, Pays Bas , pp.92-97.
- Ceccarelli S., 1996.** Adaptation to low /high input cultivation. *Euphytica*, **92**:203-214.
- Ceccarelli S., S. Grando, F. Capettini. 2011.** Barley Breeding History, Progress, objectives and Technology - Near East, North and East Africa And Latin America. In: Steven E Ullrich ©, eds. BARLEY: Production, Improvement and Uses. Garsington Road, Oxford (U.S.A): Blackwell Publishing Ltd, pp: 210-220.
- Ceccarelli S., S. Grando, M. Baum, SM. Udupa. 2004.** Breeding for drought resistance in a changing climate. In: Rao S C, Ryan J, eds. Challenges and Strategies of Dryland Agriculture. CSSA Special Publication n°32. Madison, Wisconsin (U.S.A): CSSA/ASA, pp: 167-190.
- Ceccarrelli S., S. Grando, A. Impiglia. 1998.** Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. *Euphytica*, **103**: 307-318.

- Chalak L, Mzid R, Rizk W, Hmedeh H, Kabalan K, Breidy J, Hamadeh B, Machlab H, Rizk H, Samih Elhajj S., 2015.** Performance of 50 Lebanese barley landraces (*Hordeum vulgare* L. *subsp. vulgare*) in two locations under rainfed conditions. *Annals of Agricultural Science* (2015) 60(2), 325–334.
- Chan, S.W.L., 2010.** Chromosome engineering: power tools for plant genetics. *Trends in Biotechnology*, Vol. 28: No. 12.
- Chand N, Vishwakarma S.R, Verma, O.P Kumar M. 2008.** Phenotypic stability of elite barley lines over heterogeneous environments. *Barley Genetics Newsletter*, 38:14-17.
- Chennafi H., A. Aidaoui, H. Bouzerzour, A. Saci. 2006.** Yield Response of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions. *Asian Journal of Plant Science*, 5 (5): 854-860.
- Chennafi H., Bouzerzour H, et Saci A., 2008a.** Improvement of rainfed agriculture in semi-arid environment. In: Proceedings of the National Seminar on Constraints to the Production of Durum Wheat in Algeria. Université Chlef, le 29 et 30 Novembre 2008.
- Chennafi, H., Bouzerzour, H., et Saci, A., 2008b.** Amélioration de l'agriculture pluviale en environnement semi-aride. In: Proceedings du séminaire national sur les contraintes à la production du blé dur en Algérie. Université Chlef, le 29 et 30 novembre 2008, p : 62-68.
- Chlyah H, et SAIDI N., 1991.** Analyse des capacités androgénétiques de géotypes marocains de *Triticum durum*. P. 135-148 In : AUPELF-UREF (ed). L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Paris.
- Cistué L, Ziauddin A, Simion E, Kasha KJ., 1995.** Effects of culture conditions on isolated microspore response of barley cultivar Igri. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 42:163–169.
- Cistué L., A. Ramos, A.M. Castillo and I. Romagosa. 1994.** Production of large number of doubled haploid plants from barley anthers pretreated with high concentrations of mannitol. *Plant Cell Reports* 13: 709-712.
- Cistué L., MP. Vallés, B. Echavarri, J.M. Sanz, and A. Castillo. 2003.** Barley Anther culture. In: Doubled haploid production in crop plants: a manual. (Maluszynski M, Kasha KJ, Forster BP, Szarejko I, eds) Dordrecht Kluwer Academic Publishers, pp: 29-34.
- Cistué L., Ramos A., Castillo AM., 1999.** Influence of anther pretreatment and culture medium composition on the production of barley doubled haploids from model and low responding cultivars. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 55:159–166.
- CNCC. 2015.** Bulletin des variétés de céréales autogames. Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plantes.
- Dagnélie P., 1986.** Analyse statistique à plusieurs variables Gembloux, Presses agronomiques. 362 p.
- Davies PA, et Morton S., 1998.** A comparison of barley isolated microspore and anther culture and the influence of cell culture density. *Plant Cell Rep* 17:206–210
- Dehghani H., Ebadi A. Yousefi A., 2006.** Biplot analysis of genotype by environment interaction for barley yield in Iran. *Agron. J.*, 98: 388-393.
- Dejene T, Andrea MB, Jens L., 2010.** Morphological diversity of Ethiopian barleys in relation to geographic regions and altitudes. *Hereditas* 147: 154-164.
- Demarly Y. et Sibi M.L. 1996.** Amélioration des plantes et biotechnologies. AUPELF-UREF, éd., collection Universités Francophones, Rome, London, Paris, John Libbey Eurotext, 2^{ème} édition, 151 p.

- Derbal N., 2015.** Study of the Spatio-Temporal Variation of Certain Technological Characteristics of Some Varieties of Durum Wheat Grown in Algeria. [Dissertation]. Université Badji, Mokhtar, Annaba. 67 pp.
- Deshmukh, S.N.N., Basu, M.S. and Reddy, P.S., 1986.** Genetic variability, character association and path coefficient analysis of quantitative traits in Virginia bunch varieties of groundnut. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, vol. 56: 516 – 521.
- Devaux P., 2003 .** The *Hordeum bulbosum* (L.) method. In: **M. Maluszynski, Kasha K., Devaux P, Pickering R., 2005.** Haploids in the improvement of Poaceae In: Palmer CE, Keller WA, Kasha KJ (eds) Haploids in crop improvement II Springer-Verlag Berlin, p 215-242
- Devaux P. and Kasha KJ., 2009.** Overview of barley doubled haploid production. In: Forster BP, Jain SM, Touraev A (eds) *Advances in haploid production in higher plants*. Springer Science+ Business Media BV, the Netherlands.
- Devaux P., Hou L., Ullrich S.E., Huang Z., Kleinhofs A.,1993.** Factors affecting anther culturability of recalcitrant barley genotypes. *Plant Cell Rep.* 13: 32-36.
- Dimitrova – Doneva D., Valcheva D., Dylogerova B., Gotcheva M., Popova T., 2014.** Evaluation of grain yield in advanced lines two – rowed winter barley. *Agric. Sci. Technol.* 6(2): 165- 169.
- Djermoun A., 2009. La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques. *Nature et Technologie. 1 : 45 - 53.*
- Dodds JH., Roberts LW., 1985.** *Experiments in Plant Tissue Culture*. Cambridge University Press, Cambridge, 232 p. Dordrecht, Boston, London, Kluwer Academic Publishers: 15-20
- Drikvand R., Hossinpor T., Samiei K., 2011.** Plant Coefficient Analysis in Hull less Barley under Rainfed Conditions *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(12):277-279.
- Drikvand R., Salahvarzi E., Salahvarzi A., Hossinpour T., 2012.** Study of genetic diversity among rainfed barley genotypes using ISJ markers and morphological traits. *J. Agric. Sci.* 4(9):137-144.
- Dunwell JM., Francis RJ. et Powell W., 1987.** Anther culture of *Hordeum vulgare* L.: a genetic study of microspore callus production and differentiation. *Theor. A. Gen.* 74:60–64.
- Dunwell, JM. 1985.** Haploid cell cultures. In: Dixon RA (ed) *Plant Cell Culture: A Practical Approach*. IRL Press, Banberry.
- Eberhart SA., WA. Russell. 1966.** Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6: 36-40.
- Echavarri B., M. Soriano, L. Cistué, MP. Vallés, AM. Castillo. 2008.** Zinc sulphate improved microspore embryogenesis in barley. *Plant Cell Tissu Organ Cult*, 93: 295-301.
- El Goumi y., Fakiri M., Lamsaouri O., Benchekroun M., Hassani M.F., 2014.** Analyse de la capacité androgénétique de trois cultivars de blé dur (*triticum durum*) et trois cultivars de blé tendre (*triticum aestivum*), *Leb. Sci. J.*, 15 (2014).
- El-Hashash EF., KM. El-Absy. 2013.** Genotype × environment interaction, environmental indices and stability analyses for some selected genotypes of Barley. *J. Applied Sci. Res*, 9: 4371-4377.
- Esteves P., 2014.** Optimisation de la culture de microspores isolées chez les orges de printemps à six rangs. Thèse doctorat. Université Laval, Quebec City, Quebec, Canada. pp 100.

- Esteves, P., Clermont, I., Marchand, S., and Belzile, F., 2014.** Improving the efficiency of isolated microspore culture in six-row spring barley: II-exploring novel growth regulators to maximize embryogenesis and reduce albinism. *Plant Cell Rep.* 33, 871–879.
- Eudes F., Chugh A., 2009.** An overview of Triticale Doubled Haploids. In: Touraev A., Forster B.P., Jain S.M. (eds) *Advances in Haploid Production in Higher Plants*. Springer, Dordrecht. DOI 10.1007/978-1-4020-8854-4_6. (2009) 87-96.
- Falconer, D.S. 1981.** *Introduction to Quantitative Genetics*. 2nd Edition, Longman Group Ltd., London, 1-133.
- Fan XM., Kang MS., Chen H., Zhang Y., Tan J., Xu C., 2007.** Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agron J* 99: 220-228.
- FAO Stat., 2015.** Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome, Italy. Available at <http://faostat3.fao.org/>.
- FERIANI W., REZGUI S., CHERIF M., 2016.** Grain Yield Assessment of Genotype by Environment Interaction of Tunisian Doubled Haploid Barley Lines. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology*, 27(7), 1507-1512.
- Feriani W., S. Rezgui, M. Cherif. 2016.** Grain yield assessment of genotype by environment interaction of Tunisian doubled-haploid Barley lines. *J. New Sci*, 27 (7): 1507- 1512.
- Finlay K.W. and Wilkinson G.N., 1963.** The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.*, 14: 742-754.
- Foroughi-Wehr B., Mix G., 1979.** In vitro response of *Hordeum vulgare* L. anthers cultured from plants grown under different environments. *Environ. Exp. Bot.* 19:303–309.
- Forster B. and Szarejko I. (éds).** *Doubled haploid production in crop plants. A manual.*
- Forster, E. Heberle-Bors, K.J. Kasha and A. Touraev (2007).** The resurgence of haploids in higher plants. *Trends Plant Sci.* 12: 368–375.
- Friedt W., 2011.** Barley Breeding History, Progress, Objectives and Technology - Europe. In: Steven E Ullrich ©, eds. *BARLEY: Production, Improvement and Uses*. Garsington Road, Oxford (U.S.A): Blackwell Publishing Ltd, pp: 160- 171.
- Gabriel, K.R., 1971.** The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, 58: 453-467.
- Gallais A., 1990.** Quantitative genetics of doubled haploid populations and application to the theory of line development. *Genetics*. 124: 199-206.
- Gallais A., 1992.** Adaptation et adaptabilité en amélioration des plantes. *Sel FR* 42, 55-57.
- Gallais A., 2011.** Méthodes de création de variétés en amélioration des plantes. Editions Quæ. 278 pages.
- Gallais A., 2013.** De la domestication à la transgénése. Evolution des outils pour l'amélioration des plantes. Editions Quæ. 175 pages.
- Gauch H.G., 2006.** Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *CropSci* 46: 1488-1500.
- Gauch, H.G and Zobel R.W., 1997.** Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Sci.* 37:311-326.
- Gauch, H.G., 1992.** Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial design. Elsevier Health Sciences, Amsterdam, Netherlands. pp.xi + 278 pp. ref.12 pp.
- Germanà M.A. 2011.** Gametic embryogenesis and haploid technology as valuable support to plant breeding. *Plant CellRep* 30: 839–857.

- Gomez- Pando L.R, Timenez – Davalos J, Eguiluz de la Barra A., Aguilar-Castellanos E, Falconi- Palomino J, Ibanez- Tremolada M., 2009.** Euphytica 166 (2009) 269-276.
- Graner, A., Foroughi-Wehr, B., and A. Tekauz. 1996 .** RFLP mapping of a gene in barley conferring resistance to net blotch (*Pyrenophorateres*). Euphytica, 91: 229–234.
- Guasmi F., Elfalleh W., Hannachi H., Feres K., Touil L., Marzougui N., Triki T. et Ferchichi A., 2013.** Influence of various physical parameters on anther culture of barley. Journal of Plant Nutrition, 36:836–847, 2013 Journal of Plant Nutrition, 36:836–847, 2013. DOI: 10.1080/01904167.2012.759230.
- Guha S. and Maheshwari S., 1964.** In vitro production of embryos from anthers of *Datura*. Nature 212: 97-98.
- Hakimi M., 1993.** L'évolution de la culture de l'orge : le calendrier climatique traditionnel et les données agro-météorologiques modernes. Proceeding of an International Symposium, Tunis, Ed. Jones M., Marthys G., Rijks D., pp. 157 –166.
- Hanifi-Mekliche L., A. Mekliche, P. Monneveux. 2011.** Genotype × Environment interaction and stability analysis on barley (*Hordeum vulgare* L.) lines in Algeria. Acta Agronomica Hungarica, 59(4): 325–336. DOI: 10.1556/AAgr.59.2011.4.4.
- Hentour S., Y. El Goumi , M. Fakiri , O. Lamsaouri, M. Benbachir , M. Benchekroun. 2016.** Effect of cold and mannitol pretreatment on the androgenesis and gynogenesis in spring barley varieties (*Hordeum vulgare* L.). ISSN : 2028-2508. J. Mater. Environ. Sci. 7 (7) (2016) 2583-2594.
- Hoekstra S, van Bergen S, van Brouwershaven IR, Schilperoort RA, Wang M. 1997.** Androgenesis in *Hordeum vulgare* L.: Effects of mannitol, calcium and abscisic acid on anther pretreatment. Plant Sci 126:211-218.
- Höekstra S., Van Zijdelved MH., Heidkamp F., Van der Mark F., 1993.** Microspore culture of *Hordeum vulgare* L.: the influence of density and osmolarity. Plant Cell Reports, 12: 661-665.
- Hoekstra, S., M.H. van Zijderveld, J.D. Louwerse, F. Heidekamp and van der Mark F., 1992.** Anther and microspore culture of *Hordeum vulgare* L. cv. Igri. Plant Science 86: 89-96.
- Horlow C., Defrance M.C., Pollien J.M., Goujoud J., Delon R. et Pelletier G., 1992.** Transfer of cytoplasmic male sterility by spontaneous androgenesis in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). Euphytica 66(1-2): 45-53
- Hou L., Ullrich S.E., Kleinhofs A., Stiff C.M., 1993.** Improvement of anther culture methods for doubled haploid production in barley breeding. Plant Cell Rep. 12: 334-338.
- Hou L., Ullrich SE., Kleinhofs A., 1994.** Inheritance of anther culture traits in barley. Crop Sci. 34:1243–1247.
- Houben A., M. Sanei and R. Pickering. 2011.** Barley doubled-haploid production by uniparental chromosome elimination. Plant Cell Tissue and Organ Culture 104: 321–327.
- Huang, B., and N. Sunderland. 1982.** Temperature stress pretreatment in barley anther culture. *Annals of Botany* 49: 77–88.
- Hunter CP., 1988.** Plant régénération from microspores of barley *Hordeum vulgare* L. PhD thesis. Wye College, University of London. 235 pages.
- Hussain B., Ahsan Khan M., Qurban A. and S. Shaukat. 2012.** Double Haploid Production is the Best Method for Genetic Improvement and Genetic Studies of Wheat. IJAVMS, Vol. 6(4): 216-228.
- Jackson, P., Robertson, M., Cooper, M., Hammer, G.L. 1996.** The role of physiological understanding in plant breeding: From a breeding perspective. Field Crops Res. 49(1): 11-37.

- Jacquard C., 2007.** Embryogenèse pollinique chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.): Importance du prétraitement. Thèse Doctorale. Université des Sciences exactes et naturelles de Reims. Champagne-Ardenne. France. 210 pages.
- Jacquard C., Asakaviciute R., Hamalian AM., Sangwan RS., Devaux P., Clement C., 2006.** Barley anther culture: effects of annual cycle and spike position on microspore embryogenesis and albinism. *Plant Cell rep.* 25:375–381.
- Jacquard C., G. Wojnarowicz, C. Clément. 2003.** Anther culture in barley. In: *Doubled haploid production in crop plants. A manual* (Maluszynski, M., Kasha, K. Forster, B.P. and Szarejko, I., eds), Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, pp : 21-27.
- Jacquard C., R. Asakaviciute, AM. Hamalian, RS. Sangwan, P. Devaux, C. Clément. 2006.** Barley anther culture: effects of annual cycle and spike position on microspore embryogenesis and albinism. *Plant Cell Rep*, **25** (5): 375-381. DOI10.1007/s00299-005-0070-9.
- Jähne A. and Lörz H., 1995.** Cereal microspore culture. *Plant Sci* 109:1-12.
- Jähne A., H. Lörz. 1999.** Protocols for anther and microspore culture of barley. In: Hall RD ©, eds. *Methods in Molecular Biology, Vol.111: Plant Cell Culture Protocols*. Totowa: Humana Press Inc, pp: 269-279.
- Jähne GA., PA. Lazzeri, GM. JÄGER H. Lörz .1991.** Plant regeneration from embryogenic cell suspensions derived from anther cultures of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Theoretical and Applied. Genetics*, **82**: 74–80.
- Jalata Z., 2012.** Evaluation of ICARDA Barley genotypes for yield stability and lodging resistance in southeastern Ethiopia highlands. *Electron. J. Plant Breed*, **3**: 722-732.
- Jalata Z., A. Ayana, F. Fufa. 2011.** Assessment of yield stability and disease responses in Ethiopian barley (*Hordeumvulgare*L.) landraces and crosses. *Int. J. Agric. Res*, **6**: 754-768.
- Jestin., 1992.** L'orge. In: A. Gallais and H. Bannerot Amélioration des espèces Végétales cultivées. Paris, INRA: 55-70p.
- Johnson, R.A. and Wichern, D.W., 2002.** Applied Multivariate Statistical Analysis. Prentice Hall, New Jersey.
- Kadi Z., 2012.** Sélection de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) pour la tolérance aux stress abiotiques. Thèse doctorat en Sciences. Université Ferhat Abbas Sétif. pp124.
- Kadi Z., F. Adjel, H. Bouzerzour. 2010.** Analysis of the genotype × environment interaction of barley grain yield (*Hordeum vulgare* L.) under semi- arid conditions. *Adv. Environ. Biol*, **4**: 34-40.
- Kahani F., F. Bakhtiar, R. Bozorgipour, S. Hittalmani, H.R. NikKhah and K. Zargari. 2012.** Production and evaluation of doubled haploid lines of barley via detached-tiller culture method. *African Journal of Biotechnology* Vol. 11 (22), pp. 6075-6082.
- Kahrizi D. and Mirzaei M., 2012.** Induced Androgenic Embryogenesis in Cereals. Chapter 13, In: Embryogenesis, Ken-Ichi Sato (ed.). InTech, 2012.
- Kahrizi D., S. Mahmoodi, GB. Khaniki, M. Mirza. 2011.** Effect of genotype on androgenesis in barley (*Hordeum vulgare* L.). *BIHAREAN BIOLOGIST*, **5** (2): 132-134. <http://biologie-oradea.xhost.ro/BihBiol/index.htm>
- Kao KN., Saleem M., Abrams S., Pedras M., Horn D., Mallard C., 1991.** Culture conditions for induction of green plants from barley microspores by anther culture methods. *Plant Cell Rep* 9:595-601.
- Kasha K.J. et Kao K.N., 1970.** High frequency haploid production in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Nature* 225: 874-876.

- Kasha KJ., E. Simion, R. Oro, QA. Yao, TC. Hu, AR. Carlson. 2001.** An improved *in vitro* technique for isolated microspora culture of barley. *Euphytica*, **120**: 379-385.
- Kaya, Y., M. Akcura and S. Taner, 2006.** GGE-biplot analysis of multienvironment yield trials in bread wheat. *Turk. J. Agric. For.*, **30**: 325-337.
- Khajavi A., Aharizad S., Ahmadizadeh M., 2014.** Genetic diversity of promising lines of barley based on pheno-morphological traits in Ardabil area. *I. J. Adv. Biol. Biomed. Res.* **2(2)**:456-462.
- Khaldoun A, J Chery J, Monneveux P., 1990.** Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez l'orge (*Hordeum vulgare* L). *Agronomie*, EDP Sciences, 1990.10(5) pp. 369- 379. < hal – 00885297>.
- Kicherer S., Backes G., Walther U. et Jahoor A., 2000.** Localising QTLs for leaf rust resistance and agronomic traits in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Theoretical and Applied Genetics* **100** : 881-888.
- Kihara M., Fukuda K., Funatsuki H., Kishinami I., Aida Y., 1994.** Plant regeneration through anther culture of three wild species of *Hordeum* (*H. murinum*, *H. marinum* and *H. bulbosum*). *Plant. Breed.* **112**:244–247.
- Kintzios S., Fischbeck G., 1994.** Anther culture response of *Hordeum spontaneum*-derived winter barley lines. *Plant Cell Tissue OrganCult.* **37**:165–170.
- Kisana NS., Tahir M., Mujahid MY., Ahmed I., Majid A., Mustafa SZ., Ahmed Z., 1999.** Variability and relationship between morpho-phenological traits and grain yield in winter and facultative barley under stress environments. *Pak. J. Biol. Sci.* **2**:767-771.
- Knudsen S., Due IK., Andersen SB., 1989.** Components of Response in Barley Anther Culture. *Plant. Breed.* **103**:241–246.
- Komatsuda T. Pourkheirandish M., He C., Azhaguvel P., Kanamori H., Perovic D., Stein N., Graner A., Wicker T., Tagiri, A., 2007.** Six-rowed barley originated from a mutation in a homeodomain-leucine zipper I-class homeobox gene. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **104**, 1424–1429.
- Konichi T., Yano Y., Fukushima Y., 1993.** Genetic variation in barley landraces from Bhutan. *Genet. Resour. Crop. Ev.* **40**: 33-38.
- Kribaa M., Hallaire V., Curmi P., Lahmar R., 2001.** Effects of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of soil in semi-arid climate. *Soil & Tillage Research (60)* : 43-53.
- Kruczkowska H., H. Pawlowska, B. Skucinska. 2002.** Influence of anther pretreatment on the efficiency of androgenesis in barley. *Journal of Applied Genetic*, **34(3)**:287-296.
- Kumar R., Yachasvita C., 2018.** Correlation Analysis of Grains Yield and Important Agronomic Traits in Six Rowed Barley (*Hordeum Vulgare* L.) in Agra Region , *International Journal of Science and Research b(IJSR)* .Art 20181029 , Volume 7 Issue 3, March 2018 , 1836- 1840.
- Kumar V, Rathore A, Kharub AS, Kumar D and Sharma I., 2014.** GGE biplot analysis of multi-locational yield trials and identification of representative environments for barley (*Hordeum vulgare* L.) in India. *Research on Crops* **15**: 871-875.
- Kumar V., Kumar R., Verma PS., Verma A. Sharma I., 2013.** Recent trends in breeder seed production of barley (*Hordeum vulgare* L.) in India. *Indian Journal of Agricultural Sciences* **83**: 576-578.

- Labrani Z., Richard N., de Buyser J., Picard E., 2005.** Plantes chlorophylliennes de blé dur obtenues par culture de microspores isolées: importance de prétraitements. *Comptes Rendus Biologies* 328: 713–723.
- Laffont JL., Hanafi M., Wright K., 2007.** Numerical and graphical measures to facilitate the interpretation of GGE biplots. *Crop Sci* 47:990-996.
- Laroche L., 1997.** Influence de la concentration du milieu au début de la phase d'induction en culture in vitro d'anthere d'orge. Mémoire de maîtrise, Université Laval, QC, Canada. 95 p.
- Larsen ET., Tuvevsson IKD., Anderson SB., 1991.** Nuclear genes affecting percentage of green plants in barley (*Hordeum vulgare*L.). *Theor. A. Gen.* 82:417–420.
- Lazar MD., Schaeffer GW., Baenziger PS., 1984.** Cultivar and cultivar X environment effects on the development of callus and polyhaploid plants from anther cultures of wheat. *Theor. A. Gen.* 67:273–277.
- Lazaridou TB., Lithourgidis AS., Kotzamanidis ST., Roupakias DG., 2005.** Anther culture response of barley genotypes to cold pretreatments and culture media. *Russ. J. Plant Physiol.* 52:696–699.
- Lefebvre V., Pflieger S., 2000.** L'approche gène candidat pour la caractérisation moléculaire et fonctionnelle de locus de résistance aux parasites chez les plantes. *Sel Fr*, 51 : 31-45.
- Lezin F., Sarrafi A., Alibert G., 1996.** The effect of genotype, ploidy level and cold pretreatment on barley anther culture responsiveness. *Cereal Res. Commun.* 24: 7-13.
- Li H., Devaux P., 2001.** Enhancement of microspore culture efficiency of recalcitrant barley genotypes. *Plant Cell Rep* 20:475-481. doi 10.1007/s002990100368.
- Li H., Devaux P., 2005.** Isolated microspore culture over performs anther culture for green plant regeneration in barley (*Hordeum vulgare* L.). *ActaPhysiol Plant* 27:611-619.
- Li WZ., JK. Jing, GH. Yao, H. Hu. 1993.** The effect of genotype and mannitol pretreatment on high frequency androgenesis in barley. *Chinese Science Bulletin*, 38: 151-155.
- Li W-Z., Z-H. Song, J-K. Jing and H. Hu. 1995.** Effects of mannitol pre-treatment on androgenesis of barley *Hordeum vulgare* L. *Acta Bot Sin* 37: 552–557.
- Linsmaier EM. and Skoog F., 1965.** Organic growth factor requirements of tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 18:100-127.
- Lu R., Y. Wang, Y. Sun, L. Shan, P. Chen Huang J., 2008.** Improvement of isolated microspore culture of barley (*Hordeum vulgare* L.): the effect of floret co-culture. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 93: 21-27.
- Luckett DJ. and Smithard RA., 1992.** Doubled haploid production by anther culture for Australian barley breeding. *Austr. J. Agr. Res.* 43:67–78.
- Luckett DJ. and Smithard RA., 1995.** A comparison of several published methods for barley anther culture. *Plant Cell rep.* 14:763–767.
- Ma H., Busch R., Riera- Lizarazu O., Rines W. , Dill- Macky R., 1999.** *Theor Appl Genet* 99(1999) 432-436.
- Maemeche I., D. Menad. 2012.** Essai d'obtention de plantes haploïdes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) à partir de la culture d'anthers de trois hybrides issus de croisements entre variétés locales (Saïda, Ras El Mouch) et introduites (Rihane, Esterel, Express). Diplôme d'Ingénieur d'Etat en agronomie, Université Saad DAHLAB-Blida, Algérie. 55 pages
- Makowska K., S. Oleszczuk. 2014.** Albinism in barley androgenesis. *Plant Cell Rep*, 33 (3): 385–392. Doi: 10.1007/s00299-013-1543-x.

- Mandel J., 1969.** The partitioning of interaction in analysis of variance. Journal of Research of the National Bureau of Standards B. Mathematical Sciences 73B, 309-328.
- Mansouri S., Radhouane L., Nzeingui H. and Sadok B., 2005.** Effect of some physico chemical factors on *in vitro* gynogenesis of three varieties of durum wheat. ISSN 2351-8014 Vol. 14 No. 2 Apr. 2015, pp. 168-177.
- Marchand S, Fonquerne G, Clermont I, Laroche L, Huynh TT, Belzile FJ., 2008.** Androgenic response of barley accessions and F1s with Fusarium head blight resistance. Plant Cell Rep 27:443–45. doi 10.1007/s00299-007-0477-6.
- Marchetti S., A. Giordano, C. Pappalardo, AM. Olivieri. 1995.** Nuclear and cytoplasmic control of anther culture response in barley (*Hordeum vulgare* L.). J. Genet & Breed, **49** :15-20.
- MARD., 2014.** Ministère de l’agriculture et du développement rural. Série B, Statistiques Agricoles.
- Mekliche A., F. Dalhli, L. Hanifi-Mekliche. 2013.** Agro-morphological diversity and stability of durum wheat lines (*Triticum durum* Desf.) in Algeria. Acta Agronomica Hungarica, **61**(2): 149–159. DOI: 10.1556/AAgr.61.2013.2.6.
- Menad A., N. Meziani, H. Bouzerzour, A. Benmahammed. 2011.** Analyse de l’interaction génotype × milieux du rendement de l’orge (*Hordeum vulgare* L.): application des modèles AMMI et la régression conjointe. *Nature & Technologie*, 51: 99 -106.
- Mesfin A., K.P. Smith, R. Dill-Macky, C.K. Evans, R. Waugh, C.D. Gustus and G.J. Muehlbauer, 2003.** Quantitative trait loci for Fusarium head blight resistance in barley detected in a two-rowed by six-rowed population. Crop Sci., 43, 307-318
- Milomirka Madic A., Paunovic A., Djurovic D. Knezevic D., 2005.** Correlation and Path Coefficient Analysis for Yield and Yield Components in Winter Barley. Acta Agriculture Serbica, 20:3-9.
- Mirzaei M., D. Kahrizi and A. Rezaeizad. 2011.** Androgenesis and Spontaneous Chromosome Doubling in *Hordeum vulgare* L. Researches of The First International Conference (Babylon and Razi Universities). Euphrates Journal of Agriculture Science 3 (9): 248-252
- Mordhorst AP., H. Lörz. 1993.** Embryogenesis and development of isolated barley (*Hordeum vulgare* L.) microspores are influenced by amount and composition of nitrogen sources of culture media. J. Plant Physiol, **142**: 485-492.
- Moule C., 1980.** Orge. P.155–188. In: Cereales. Pub. La Maison Rustique, Paris.
- Muhleisen J., HP. Piepho, HP. Maurer, Y. Zhao, JC. Reif. 2014.** Exploitation of yield stability in barley. Theor. Applied Genet, **127**: 1949-1962.
- Muñoz-Amatriaín M., J.T. Svensson, A.M. Castillo, T.J. Close and Vallés M.P., 2009.** Microspore embryogenesis: Assignment of genes to embryo formation and green vs. albino plant production. Functional and Integrative Genomics 9 (3): 311-323.
- Murashige, T. and Skoog, F. 1962.** A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco cultures. Physiol. Plant., 15: 473-497.
- Mustatea P., NN. Saulescu, G. Ittu, G. Paunescu, L. Voinea, I. Stere, S. Mirlogeanu, E. Constantinescu, D. Nastase. 2009.** Grain yield and stability of winter wheat cultivars in contrasting weather conditions. Romanian Agricultural Research, **26**: 1-9.
- Mut Z, Gülümser A and Sirat A. (2010).** Comparison of stability statistics for yield in barley (*Hordeum vulgare* L.). Afr .J. of Biotechno.9 (11): 1610 – 1618.

- Nouar, H., H. Bouzerzour, L. Haddad, A. Menad, T. Hazmoune, H. Zerargui, 2012.** Genotype xEnvironment interaction assessment in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) using AMMI and GGE Models. *Advances in Environmental Biology*, 6: 3007-3015.
- Nuutila AM, Hamalainen J, Mannonen L., 2000.** Optimisation of media nitrogen and copper concentration for regeneration of green plants from polyembryogenic cultures of barley. *Plant Sci* 151:85–92. DOI: 10.1016/S0168-9452(99)00202-2.
- Ochoa, J. et Parlevliet, JE. 2007.** Effect of partial resistance to barley leaf rust, *Pucciniahordei*, on the yield of three barley cultivars. *Euphytica* 153 (3), pp: 309-312.
- Ohnoutková L., Novotný J., Müllerová E., Vagera J., Kuèera L., 2000.** Is a cold pretreatment really needed for induction of *in vitro* androgenesis in barley and wheat? In: *Biotechnological Approaches for Utilization of Gametic Cells* (B. Bohanec, ed.). COST 824, Bled, Slovenia 1-5 July 2000: 33-37.
- Oleszczuk S., Sowa S., Zimny J., 2006 .**Androgenic response to preculture stress in microspore cultures of barley. *Protoplasma* 228:95-100. Doi 10.1007/s00709-006-0179-x.
- Olsen FI., 1987.** Induction of microspore organogenesis in cultured anthers of *Hordeum vulgare*. The effect of ammonium nitrate, glutamine and asparagines as nitrogen sources. *Carlsberg Res. Commun*, 52: 393-404.
- Oosterom, V. E., Ceccarelli, S., Peacock, J. M., 1993.** Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments, *J. Agri. Sci*, 121: 307-313.
- Orshinsky BR. and Sadasivaiah RS., 1994 .** Effects of media on embryoid induction and plant regeneration from cultured anthers of soft white spring wheats (*Triticum aestivum* L.). *Plant Sci*. 102:99–107.
- Ouyang JW., He DG., Feng GH., Jia SE., 1987.** The response of anther culture to culture temperature varies with growth conditions of anther-donor plants. *Plant Sci*. 49:145–148.
- Pal D, Kumar S and Verma RPS. 2012.** Pusa Losar (BHS 380) – the first dual-purpose barley variety for northern hills of India. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 82: 164-165.
- Parisot-Baril, C., 1992.** Etude de la stabilité du rendement chez le blé tendre d’hiver (*Triticum aestivum* L. *Thell.*). Thèse de Doctorat de l’Université Paris-Sud – Centre d’Orsay, 210 p.
- Pask A. J. D., Pietragalla J., Mullan D. M. and Reynolds M. P., 2012 .** Physiological Breeding II: A field guide to wheat phenotyping. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Peighambari SA ., Samadi BY., Nabipour A. , Charmet G. , Srirafi A., 2005 .** QTL analysis for agronomic traits in a barley doubled haploid population grown in Iran .*Plant Science* 169 , 1008 1013.
- Perkowski J., I. Kiecana, J. Chelkowski. 1995.** Susceptibility of barley cultivars and lines to *Fusarium* infection and mycotoxin accumulation in kernels. *J. Phytopathol*, 143 : 547 - 551
- Picard, E., E. Crambes, C. Liu et A. Mihamou-Ziyyat, 1994.** Évolution des méthodes d'haplodiploïdisation et perspectives pour l'amélioration des plantes. *C. R. Soc. Biol.* 188:109-141.
- Pickering R.A. and P. Devaux, 1992.** Haploid production: approaches and use in plant breeding. In Shewry PR (Ed.) *Barley: Genetics, Biochemistry, Molecular Biology and Biotechnology*. CAB International, Oxford, pp 519-547.
- Pillen K., Zacharias A., Léon J., 2003.** Advanced backcross QTL analysis in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 107, 340-352.
- Planchenault D., 2012.** Rapport sur les biotechnologies et les nouvelles variétés. 60 pages. <http://agriculture.gouv.fr/ministere/les-biotechnologies-et-les-nouvelles-varietes-vegetales>.

- Powell W., 1988.** The influence of genotype and temperature pre-treatment on anther culture response in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 12(3) : 291-297.
- Powell W., PDS. Caligari, JM. Dunwell. 1986.** Field performance of lines derived from haploid and diploid tissues of *Hordeum vulgare* L. *TheorAppl Genet*, 72: 458-465.
- Powell W., Thomas W.T.B. Thompson D.M., 1992.** The agronomic performance of anther culture derived plants of barley produced via pollen embryogenesis. *Annals of Applied Biology* 120 : 137-150
- Puolimatka M. and Pauk J., 2000.** Effect of induction duration and medium composition on plant regeneration in wheat (*Triticum aestivum* L.) anther culture. *J. Plant Physiol.* 156:197–203.
- Rahal -Bouziane H., Berrkani S., Merdas S., Nait Merzoug S. Abdelguerfi A., 2015.** Genetic diversity of traditional genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L) in Algeria by phenomorphological and agronomic traits .*Afr. J. Agric. Res* .Vol. 10(31), ISSN 1991- 637X DOI: 10.5897/AJAR 2015. 9513, 30 July 2015, pp. 3041 -3048.
- Rahal-Bouziane H. et Abdelguerfi A., 2007.** Caractéristiques agronomiques et Morphologiques d’orges oasiennes (*Hordeum vulgare* L.) de la région d’Adrar (Algérie). *Recherche Agronomique*, Ed. INRA, Alger. 19 : 7-13.
- Rajcan I., Boersma JG., Shaw EJ., 2011.** *Plant Genetic Techniques: Plant Breeder’s Toolbox*. *Comprehensive Biotechnology* (Second Edition), Volume 4. Elsevier
- Rajiv KSR, Yashasvita C. 2018.** Correlation Analysis of Grains Yield and Important Agronomic Traits in Six Rowed Barley (*Hordeum Vulgare* L.) in Agra Region , *International Journal of Science and Research b(IJSR)* .Art 20181029 , Volume 7 Issue 3, March 2018 , 1836- 1840.
- Ramla D., Aissat A., Matallah H., Hamou M., Yakhou MS., Bilek N., Hannachi A., 2013.** Rapport final général du projet PNR Biotechnologie. Production de lignées haploïdes doublées d’orge (*Hordeum vulgare* L.) en vue de la sélection de nouvelles variétés associant haute productivité et meilleure adaptabilité aux conditions environnementales des zones semi arides. *Organisme pilote: ANDRS*. 178 pages.
- Ramla D., Yakhou M. S., Bilek N., Hamou M., Hannachi A., Aissa A. and Mekliche – Hanifi L., 2016.** Grain yield stability analysis of barley doubled haploid lines in Algerian semi – arid zones. *Asian J. Crop Sci.*, 8: 43 – 51.
- Ramla D., Yakhou M.S., Hamou M., Haninfi-Mekliche L., 2017.** Evaluation de la performance de quelques haploïdes doublés d’orge (*Hordeum vulgare* L.) et identification des lignées transgressives dans une zone semi-aride Algérienne. *Nature & Technology*. <http://www.univ-chlef.dz/revuenatec>.
- Razdan MK., 2002.** Introduction to plant tissue culture. (ed.). Science Publishers, Inc, USA, 330 p. Region: New challenges. Zaragoza: *Ciheam*, p. 105-110.
- Rimberia F., Sunagawa H., Urasaki N., Ishimine Y., Adaniya S., 2005** .Embryo induction via anther culture in papaya and sex analysis of the derived plantlets. *SciHortic* 103(2): 199-208.
- Ritala A, Mannonen L., Oksman-Caldentey KM., 2001.** Factors affecting the regeneration capacity of isolated barley microspores (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Cell rep.* 20:403–407.
- 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.

- Roberts-Ochlschlager SL., JM. Dunwell. 1990.** Barley anther culture: pretreatment on mannitol stimulates production of microspore-derived embryos. *Plant cell, Tissue and Organ Culture*, **20**: 235-240.
- Sabaghnia N., M. Mohammadi, R. Karimizadeh. 2013.** Yield stability of performance in multi-environment trial of (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae*, **XI(3)**:787-793. <http://dx.doi.org/10.11118/actaun201361030787>.
- Sahnoune F., M. Belhamel, M. Zelmat, R. Kerbachi. 2013.** Climate Change in Algeria: Vulnerability and Strategy of Mitigation and Adaptation. *Energy Procedia*, **36**: 1286 – 1294.
- Saisho D. and M.D. Purugganan. 2007.** Molecular Phylogeography of Domesticated Barley Traces Expansion of Agriculture in the Old World. *Genetics* **177**: 1765–1776.
- Samarrai SM., Seyam SM., Mian HR., Dafie AA., 1987.** Growth periods, harvest index and grain yield relationships in barley. *Rachis Barley Wheat Newsletter* **6**:21-24.
- Sameri M., Takeda K., Komatsuda T., 2006.** Quantitative trait loci controlling agronomic traits in recombinant inbred lines from a cross of oriental – and occidental – type barley cultivars. *Breeding Science* **56**, 242-252.
- Samonte SO., Wilson LT., McClung AM. and Medley JC., 2005.** Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. *Crop Sciences* **45**: 2414-2424.
- Sangaré M. 2008.** Optimisation de la culture d'anthers chez l'orge de printemps à six rangs (*Hordeum vulgare* L.). Maitrise en biologie végétale. Université de Laval. <http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/25691/25691.html>
- Savaskan Ç., Szarejko I., Toker CM., 1999.** Callus production and plant regeneration from anther culture of some Turkish barley cultivars. *Turk. J. Bot.* **23**: 359–365.
- Schmalenbach I., Léon J., Pillen K., 2009.** Identification and verification of QTLs for agronomic traits using wild barley introgression lines. *Theoretical and Applied Genetics* **118**: 483-497.
- Schulte D., Close T.J., Graner A., Langridge P., Matsumoto T., Muehlbauer G., Sato K., Schulman A.H., Waugh R., Wise R.P., 2009.** The International Barley Sequencing Consortium—At the Threshold of Efficient Access to the Barley Genome. *Plant Physiol.* **149**, 142–147.
- Scott P., RL. Lyne. 1994.** The effect of different carbohydrate sources upon the initiation of embryogenesis from barley microspores. *Plant Cell Tiss Organ Cult*, **36**: 129–133. Doi:10.1007/BF00048323.
- Serghini, M.A. 2006.** Apport des biotechnologies végétales. Congrès International de Biochimie, Agadir, Maroc, 09-12 Mai, p. 42-44.
- Setotaw TA., Dias L., Missio RF., 2010.** Genetic divergence among barley accessions from Ethiopia. *Crop. Breed. Appl. Biotechnol.* **10**:116-123.
- Shahinnia F., Rezai A., Sayed-Tabatabaei BE., Komatsuda T., Mohammadi SA., 2006.** QTL mapping of heading date and plant height in barley cross ‘Azumamugi’ × ‘Kanto Nakate Gold’. *Iranian Journal of Biotechnology* **4**, 88-94.
- Sibi, M. et Fakiri, M., 2000.** Androgenèse et gynogenèse, source de vitrovariation et tolérance à la salinité chez l'orge *Hordeum vulgare* L. *Sécheresse*, **11** (2): 125-32.
- Simmonds J., 1989.** Improved androgenesis of winter cultivars of *Triticum aestivum* L. in response to low temperature treatment of donor plants. *Plant Sci.* **65**:225–231.
- Singh, A.P., 2011.** Genetic variability in two-rowed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Indian J. Sci. Res.* **2**, 22–23.

- Smadhi D. and L. Zella. 2009.** Céréaliculture en sec et précipitations annuelles : le cas de l'Algérie du Nord. *Sécheresse*, **20** (2) : 199-203.
- Souri J., Dehghani H. and S. H. Sabbaghza S H. 2005.** Study of chickpea genotypes under water stress. *Iran J. Agric. Sci.* **36**. 1517- 1527.
- Spagnoletti-Zeuli. T.L. and Qualset. P. O., 1990.** Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. *Plant Breeding*. **105**: 189 – 202.
- Ssemakula, G. and Dixon, A., 2007.** Genotype X Environment Interaction, Stability and Agronomic Performance of Carotenoid-rich Cassava Clones *Sci. Res. Essay*, **2** (9), 390-399.
- Sunderland N., Huang B., Hills GJ., 1984.** Disposition of pollen in situ and its relevance to anther/pollen culture. *J. Exp. Bot.* **85**:521–530.
- Sunderland N., Roberts M., Evens LJ., Wildon DC., 1979.** Multicellular pollen formation in cultured barley anthers. *J. Exp. Bot.* **30**:1133–1144.
- Szarejko I., 2001.** *In vitro* androgenesis for doubled haploid production in barley (*Hordeum vulgare* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L). In: Szarejko I, Neil Jones R, eds. *Manual on general genetics and basic methods in plant biotechnology*. Katowice (Poland): Wydawnictwo Uniwersytetu Slaskeigo, pp: 159-173.
- Szarejko I. 2003.** Anther culture for doubled haploid production in barley (*Hordeum vulgare* L.). In: Maluszynski M, Kasha KJ, Forster BP and Szarejko I, eds. *Doubled haploid production in crop plants: a manual*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp: 35-42.
- Szarejko, I. and K. J. Kasha. 1991.** Induction of anther culture derived doubled haploids in barley. *Cereal Res. Commun.* **19** (1–2): 219–237.
- Teulat – Merah B., Zoumarou W, Douimi R., Ben Salem M., Bahri H., This D., 1998.** Etude de la tolérance à la sécheresse chez les céréales : l'orge comme modèle biologique, approche QTL. In : HAMON SERGE (ED.). *Des modèles biologiques à l'amélioration des plantes. Journées Scientifiques du réseau AUF : biotechnologies végétales : Amélioration des plantes et Sécurité Alimentaire*, 7 Montpellier (FRA), 2000/07/03-05. ISBN 2-7009-1472-7.
- Teulat B., Mareh O., Souyris I, This D., 2001.** QTL for agronomic traits from a Mediterranean barley progeny grown in several environments. *Theoretical and Applied Genetics* **103**, 774- 787.
- Thomas H.M. and Pickering R.A., 1988.** The cytogenetics of a triploid *Hordeum bulbosum* and of some of its hybrid and trisomic derivatives. *Theoretical and Applied Genetics* **76**(1) : 93-96.
- Thomas W., Forster B., Gertsson B., 2003.** Doubled haploid in breeding. In : M. Maluszynski, KJ. Kasha, BP. Forster and I. Szarejko (éds). *Doubled haploid production in crop plants, a manual*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 337-349.
- Timothy CP. and J. Steffenson. 2011.** Biotic Stress in Barley: Disease Problems and Solutions. In: *BARLEY Production, Improvement and Uses*. (Steven E Ullrich ©, eds). Garsington Road, Oxford (U.S.A) Blackwell Publishing Ltd, pp: 355-390.
- Torp A.M. and Andersen S.B., 2009.** Albinism in Microspore Culture. Chapter 12, in Touraev, Alisher; Forster, Brian P.; Jain, Shri Mohan (eds.) *Advances in Haploid Production in Higher Plants*, 348 pp, Springer Science + Business Media B.V. 2009.
- Touraev A., Pfosser M., Heberle-Bors E., 2001.** The microspore: a haploid multipurpose. *Adv Bot Res* **35**: 53-109.
- Touraev A., Vicente O., Heberle-Bors E., 1997.** Initiation of microspore embryogenesis by stress. *Trends in Plant Sci (Reviews)*, **2**(8):297-302

- Unay A. and C. Konak. 2004.** Stability Analysis for Malting Barley in Aegean region. Cereal Research Communications, **33** :39-43.
- Von Bothmer R. et Jacobsen N., 1985.** Origin, taxonomy and related species. In : D.Rasmusson (éds). Barley, Agronomy Monograph. 26: 19-26.
- Von Bothmer R., Jacobsen N., Baden C., Jorgensen R.B., Linde-Laursen I., 1995** .An ecogeographical study of the genus *Hordeum*. Systematic and ecogeographic studies on crop gene pools 7. Rome, IBPGR.
- Von Korff M., Grando S., Del Greco A., This D., Baum M., Ceccarelli S., 2008.** Quantitative trait loci associated with adaptation to Mediterranean dryland conditions in barley. Theoretical and Applied Genetic 117,653-669.
- Von Korff M., Wang H, Léon J., Pillen K., 2006.** AB- QTL analysis in spring barley: II. Detection of favorable exotic alleles for agronomic traits introgressed from wild barley (*H. vulgare ssp spontaneum*). Theoretical and Applied Genetics 112 .1221. 1231.
- Weyen J., 2009.** Barley and wheat doubled haploids in breeding. Ch. 15, in: A. Touraev *et al.* (eds.) Advances in Haploid Production in Higher Plants, 179. Springer Science + Business Media B.V. 2009.
- Wojnarowicz G., Jacquard C., Devaux P., Sangwan RS., Clément C., 2002.** Influence of copper sulfate on anther culture in barley (*Hordeum vulgare* L.). Plant Sci, 162:843–847. Doi: 10.1016/S0168-9452(02)00036-5.
- Wricke G., (von), 1962.** Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. Z. Pflanzenzücht 47, 92-96.
- Xu, Z.H., 1990.** Barley (*Hordeum vulgare* L.): anther culture and the production of haploids p. 125-175 Dans Bajaj, Y.P.S. (ed.). Haploids in crop improvement **1**. Biotechnology uAgriculture and Forestry vol. 12, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Yan W and Rajcan I., 2002.** Biplot evaluation of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Sci. 42: 11-20. 2002.
- Yan W. and Hunt LA., 2001.** Interpretation of genotype x environment interaction for winter wheat yield in Ontario. Crop Sci 41: 19-25.
- Yan W. and Kang MS., 2003.** GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists and Agronomists. 1st Edn., CRC Press LLC., Boca Roton, Florida, pp: 271.
- Yan W. and N.A. Tinker., 2006.** Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. Can. J. Plant Sci., 86: 623-645.
- Yan W., 1999.** Methodology of cultivar evaluation based on yield trial data-with special reference to winter wheat in Ontario. Ph.D. Thesis, University of Guelph, Guelph, ON., Canada.
- Yan W., 2001.** GGE biplot-a Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. Agronomy Journal, 93, 1-11. doi:10.2134/agronj2001.9351111x.
- Yan W., 2002.** Singular-value partitioning in biplot analysis of multienvironment trial data. Agronomy Journal, 94: 990–996.
- Yan W., 2014.** Crop variety trials: data management and analysis, 360 p.
- Yan W. and Holland J. B., 2010.** A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. Euphytica, 171: 355–369.
- Yan W. and Hunt L., 2002.** Biplot analysis of dialled data. Crop Science, 42 :21-30.

- Yan W., Hunt L.A., Sheng Q, Szlavnic Z., 2000.** Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci* 40:597-605.
- Yan W., Kang M. S., Ma B., Woods S. and Cornelius P. L., 2007.** GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Sci.*, 47: 643-653.
- Yan, W. and M.S. Kang., 2003.** GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists and Agronomists. 1st Edn., CRC Press, Boca Raton, FL., USA., ISBN-13: 9781420040371, Pages: 288.
- Yan, W., Hunt, L.A. 1998.** Genotype-by-environment interaction and crop yield. *Plant Breed. Rev.* 16: 135-178.
- Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnic., 2000.** Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.*, 40: 597-605.
- Yates, F., Cochran, W.G, 1938.** The analysis of groups of experiments. *J. Agric. Sci.* 28, 556-580.
- Zaheer A., Saif UA., Muhammad M., Muhammad Z., Muhammad SM., 2008.** Genetic diversity for morphogenetic traits in barley germplasm. *Pak .J. Bot.* 40:1217-1224.
- Zeghida A., Amrani R. et djennaidi F., 2004.** Etude de la variabilité de réponse des plantules de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à la salinité. *Céréaliculture.* ITGC. 42. Constantine, 5p.
- Zheng M.Y., W. Liu, Y. Weng, E. Polle and C.F. Konzak. 2001.** Culture of freshly isolated wheat (*Triticum aestivum* L.) microspores treated with inducer chemicals. *Plant Cell Rep.* 20: 685–690
- Ziauddin A., A. Marsolais, E. Simion, KJ. Kasha. 1992.** Improved plant regeneration from wheat anther and barley microspore culture using phenylacetic acid PAA. *Plant Cell Reports*, 11 :489–498.
- Ziauddin, A., Simion E. and Kasha K.J., 1990.** Improved plant regeneration from shed microspore culture in barley (*Hordeum vulgave* L.) cv. Igri. *Plant Cell Reports* 9: 69-72.
- Zobel RW., Wright MJ. Gauch HG., 1988 .** Statistical analysis of a yield trial. *Agron.J.*80:388.399.

Annexes

Annexe 1 : Gamme variétale proposée à la production (Ramla, 2017)

Variétés disponibles en Algérie		NR ² / Situation ³	Obtenteur/Origine/Année inscription
Autorisées à la commercialisation Et à la production (inscrites au JO ¹)	Saïda 183	6/E.P ⁴	ITGC/Algérie/1998
	Tichedrett	6/E.P	ITGC/Algérie /1998
	El Fouara	6/E.P	ITGC/Algérie/2001
	Barberousse (Hamra)	6/E.P	INRA/France/ ?
	Jaidor (Dahbia)	6/E.P	INRA/France/1998
	Rihane 03	6/E.P	ICARDA /Syrie/1998
	Soufara	6/ ?	Variétés étrangères homologués/ ?
	Princess	6/ ?	Serasem/ France/2001
	Majestic	6/R. C. P ⁵	Serasem/France/2001
	Djebel	6/R. C. P	Serasem/France/1998
	Badia	6/R. C. P	ICARDA/Syrie/ ?
	Express	6/R. C. P	Serasem/France/ ?
	Acsad 176 (Naïlia)	6/R. C. P	ACSA/Syrie/1998
	Nikel	6/R. C. P	Serasem/France/2001
	Plaisant	6/R. C. P	Variétés étrangères homologués/ ?
	Rebelle	6/R. C. P	Variétés étrangères homologués/ ?
	Acsad 68 (Remada)	6/R. C. P	ACSA/Syrie/ ?
	Acsad 60 (Bahria)	2/R. C. P	ACSA/Syrie/1998
Vertige	2/ R.P ⁶	Serasem/ France/2001	
Autorisées à la commercialisation Et à la production (non inscrites au JO)	EL Bahia	6/?	ITGC/Algérie/2008
	Djurdjura	6/ ?	Serasem/ France5/2011
	Dingo	6/ ?	PRO-SE-ME/Italie/2012
	Exito	6/ R.P	Secobra recherche /France/2007
	Siberia	6/ R.P	Secobra recherche /France/2007
	Zibeline	2/ ?	Serasem/France/2011
	Hispanic	2/ R.P	Florimond desprez/France/2007
	Hermione	2/ R.P	Florimond desprez/France/2007
	Marnie	2/ ?	Saatzucht Josef Breun GDBR/Allemagne/2012

1 : Journal officiel ; **2** : Nombre de rangs ; **3** : Situation vis-à-vis du système de production ; **4** : En production ; **5** : Retiré du circuit de production ; **6**: Recommandé à la production. Tableau élaboré à partir de la synthèse des données du JO N° 39 du 16 juin 2004, du Bulletin des variétés de Céréales autogame, CNCC 2015 et des données éditées par Ait-Abdallah et *al.*, 2010 cite par Ramla,2017.

Annexe 2 : Les données climatiques

❖ Données climatique de la station ITGC Sétif

Mois	2017/2018					Neige	Gelée	1981/2016	
	Pluviométrie		Température					Cumul de pluie (mm)	T° Moy (°C)
	Cumul de pluie (mm)	Nbre de jours De pluie	T° Min (°C)	T° Max (°C)	T° Moy (°C)				
Septembre	41	5	13,5	28,3	20,9	0	0	42,4	21,1
Octobre	10,7	2	9,63	22,26	15,94	0	0	46,3	16,3
Novembre	55,7	9	3,6	14,8	9,2	2	9	41,1	10,2
Décembre	33,5	13	1,19	9,38	5,28	4	12	48,2	6,5
Janvier	13,9	5	1,05	11,81	6,43	3	15	44,6	5,6
Février	23,9	11	0,6	9,6	5,1	7	18	38,1	6,5
Mars	90,4	14	4,2	13,46	8,83	4	5	44,3	9,1
Avril	81,3	13	4,7	17,72	11,21	0	1	46,5	12,1
Mai	51,9	11	9,47	21,33	15,4	0	0	55,3	16,8
Juin	39,8	5	13,93	27,63	20,78	0	0	30,3	22,2
Juillet	1,4	3	20,3	36,47	28,38	0	0	14,5	26,2
Total	442,1	91	6,87	18,48	12,67	20	60	451,6	13,87

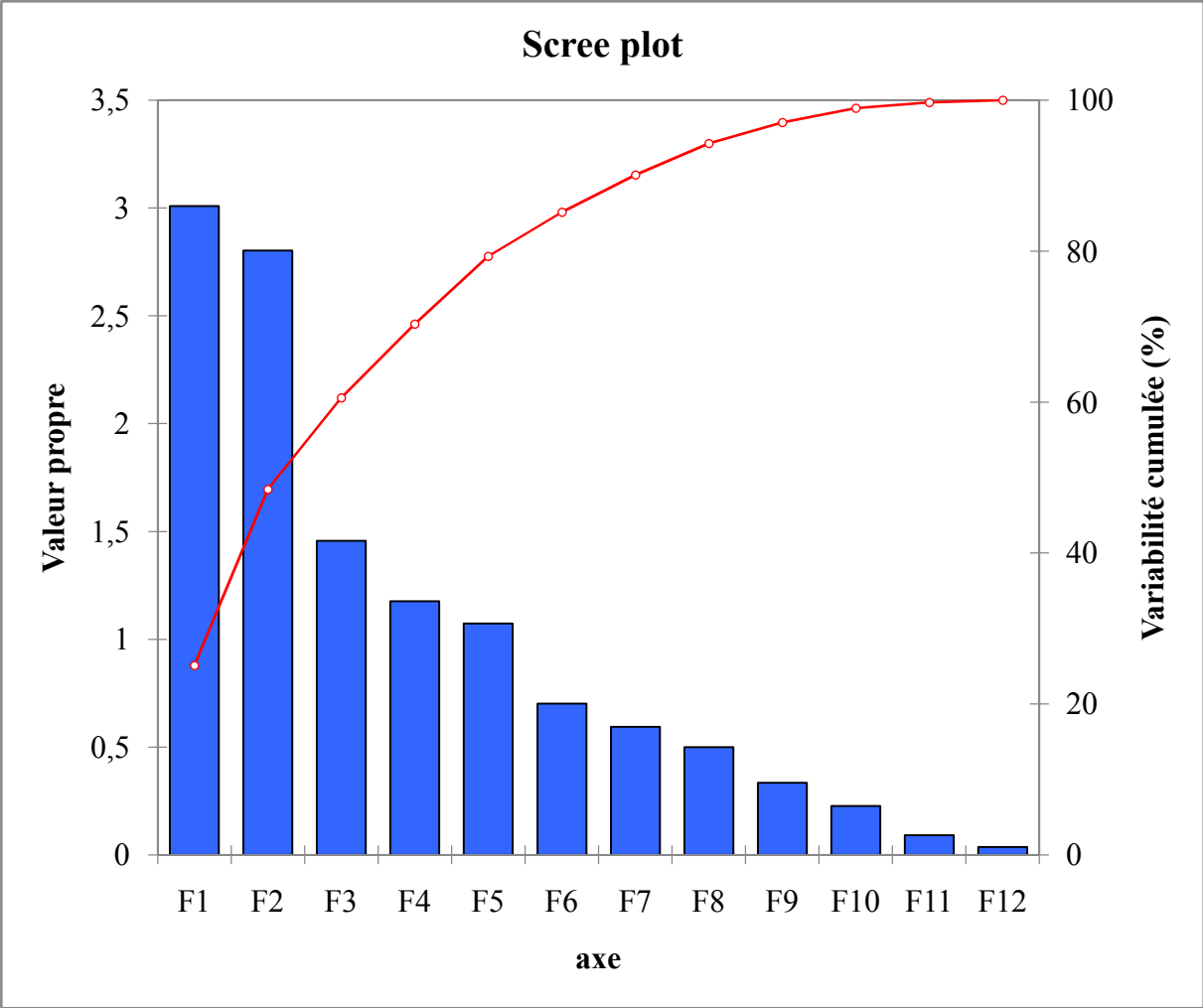
Source : Station ITGC de Sétif.

❖ Données climatiques de la station ITGC El-khroub.

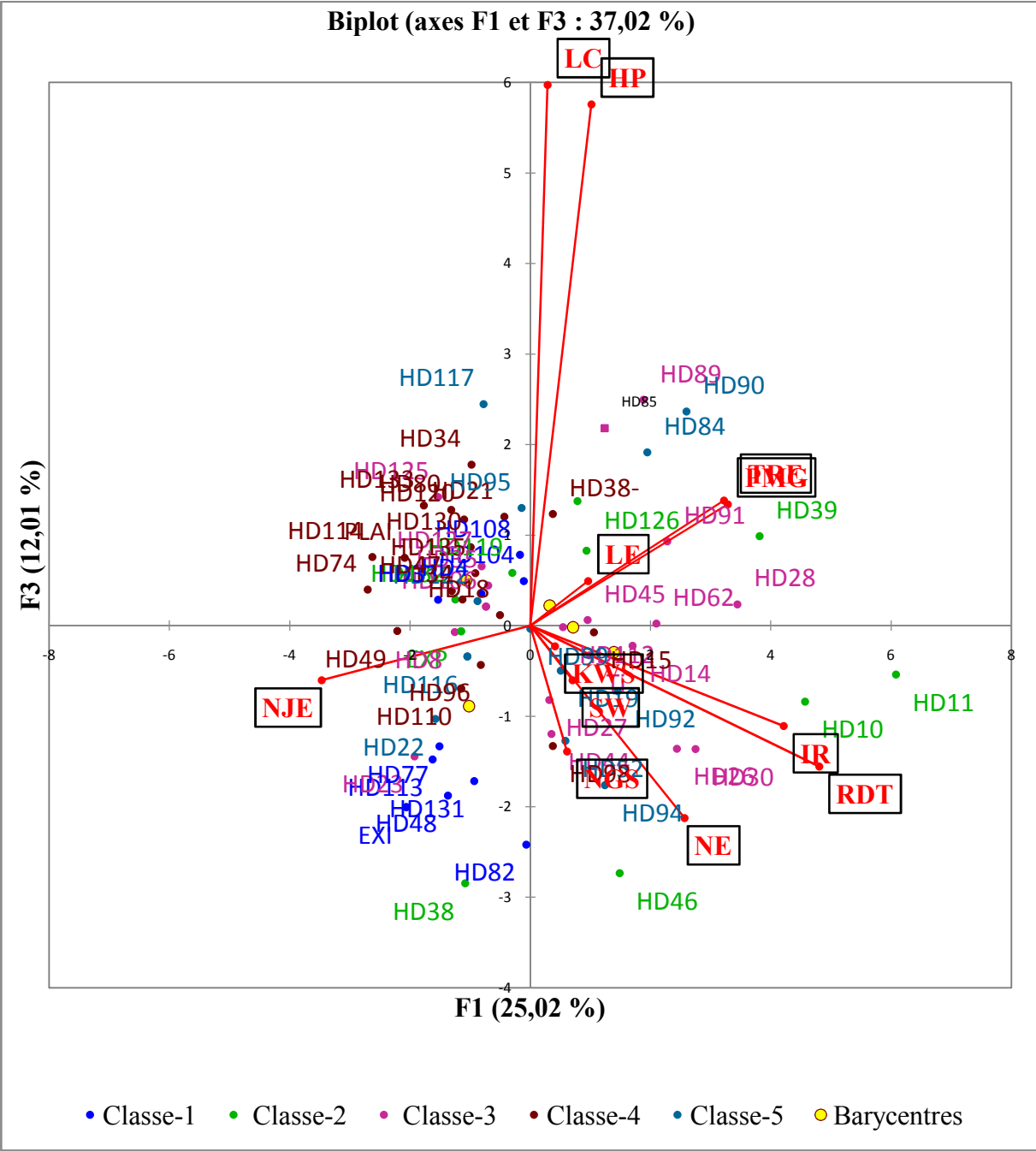
Mois	2017/2018				Cumul de pluie (mm)	T° Moy (°C)
	Pluviométrie		Température			
	Cumul de pluie (mm)	T° Min (°C)	T° Max (°C)	T° Moy (°C)		
Septembre	13	14,4	29,6	20,8	36,9	22,2
Octobre	12	9,9	23,6	15,7	50,5	17,9
Novembre	76	5,6	16,3	9,1	60,7	12,1
Décembre	41	3,7	11,9	5,4	80,5	8,4
Janvier	16	3,2	14,4	6,4	71,2	7,3
Février	35	1,7	11,9	4,8	63,5	8
Mars	94	6,1	16,5	9,1	64,6	10,4
Avril	80	7,5	20,2	12,9	52,2	13,3
Mai	49	10,4	22,8	15,4	56,7	17,7
Juin	12	13,8	29,8	20,5	22,9	22,7
Juillet	0	18,6	38,2	28,8	9	26,3
Total	428	8,7	20,4	14,6	568,7	15,12

Source : Station ITGC d'El Khroub et ONM.

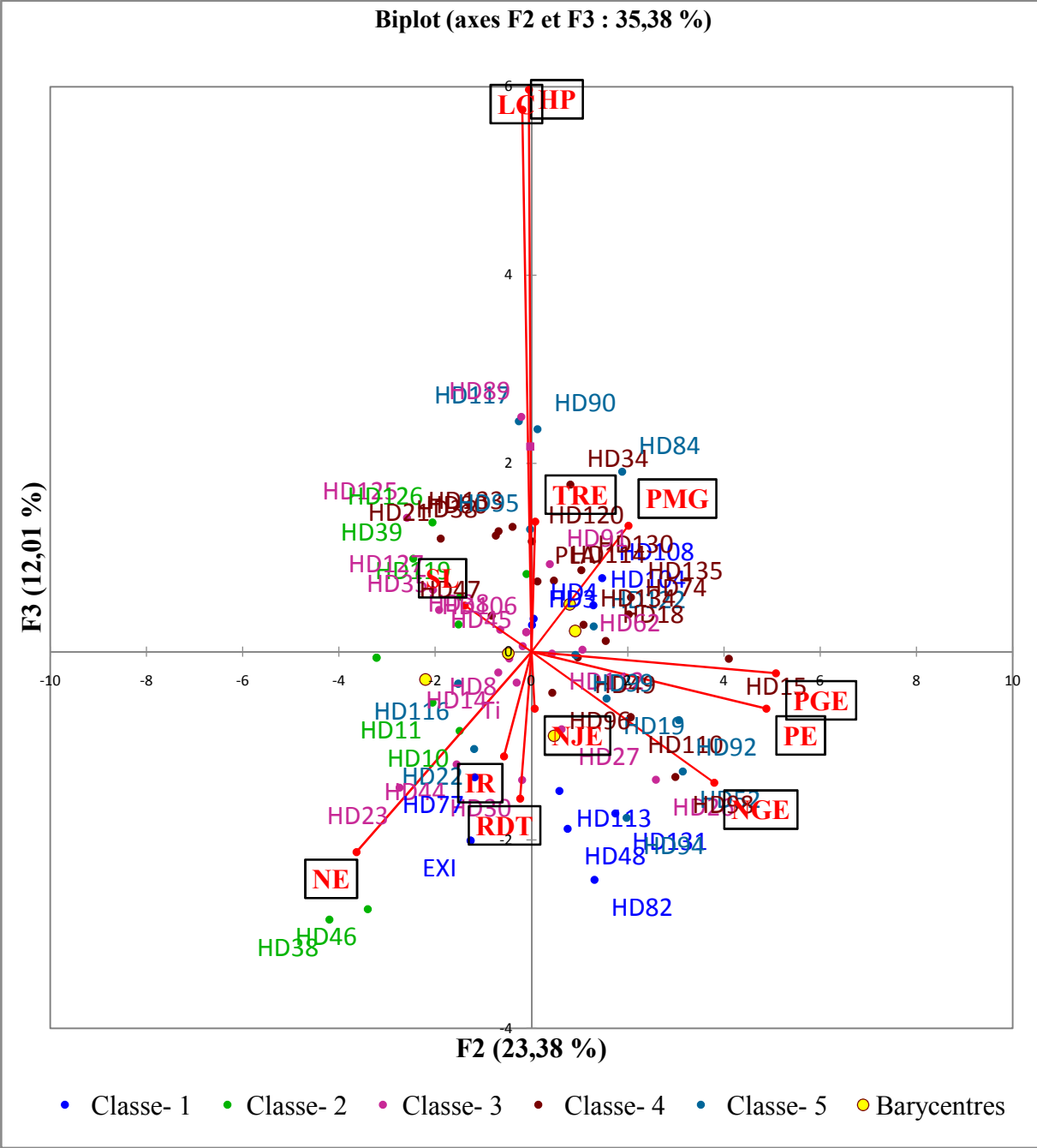
Annexe 3 : Histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux pour l'ensemble des deux sites.



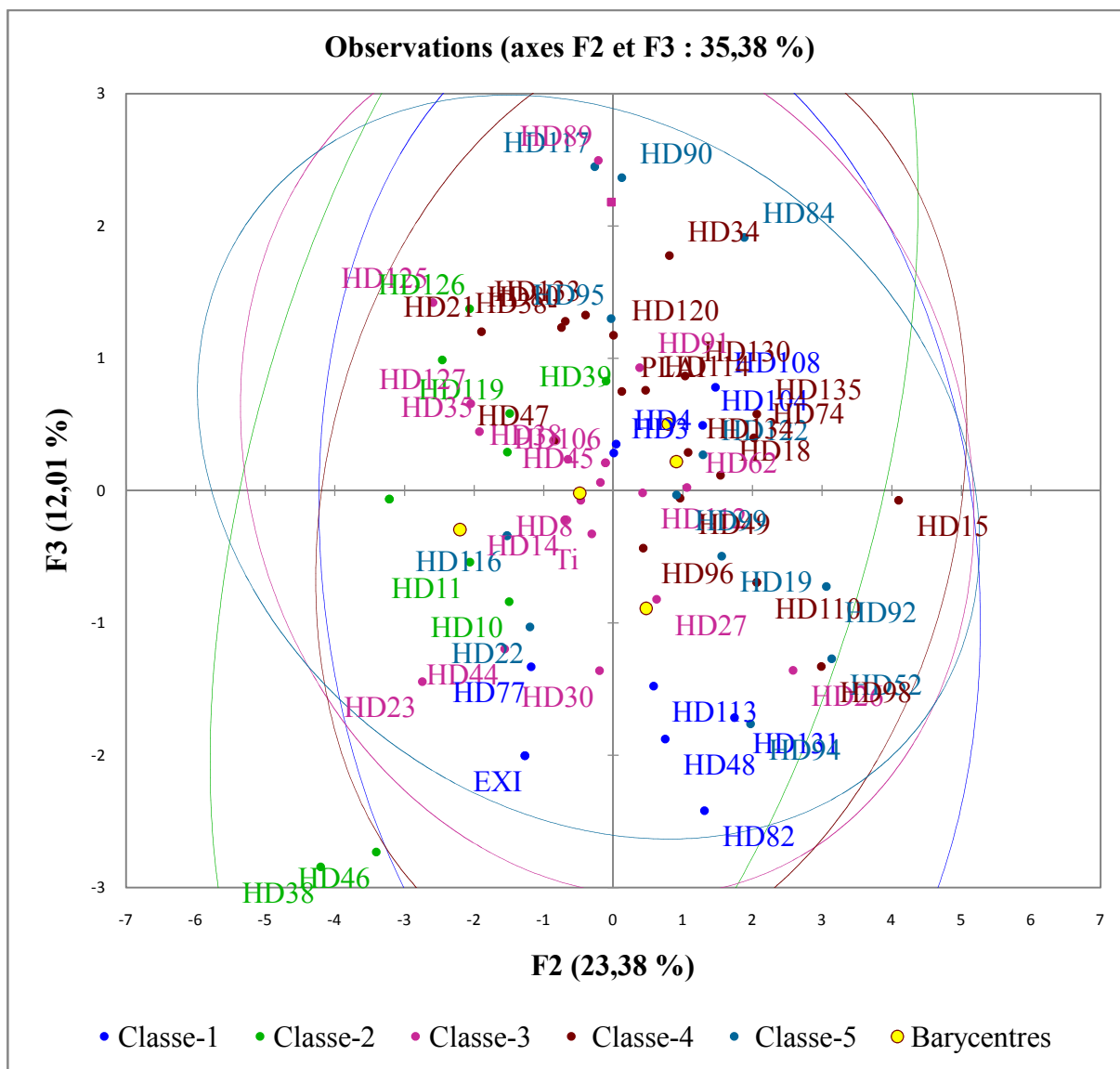
Annexe 4 : Représentation des variables mesurées des parents et des populations de doubles haploïdes d'orge sur le plan formé par les axes 1 et 3 de l'analyse en composantes principales.



Annexe 5 : Représentation des variables mesurées des parents et des populations de doubles haploïdes d'orge sur le plan formé par les axes 2 et 3 de l'analyse en composantes principales.



Annexe 6 : Représentation graphique des classes dans le plan factoriel 2-3, obtenu à partir des données des deux sites.



Annexe 7 : Rendement en grain moyen (q/ha) de 62 génotypes d'orge (58 HDs et 4 parents) évalués dans 3 environnements.

Génotypes	E1 Constantine 2017/2018	E2 Sétif 2017/2018	E3 Sétif (Rmada) 2018/2019	Moyenne du rendement (N=3)
HD52	43,58	45,25	58,77	49,2
HD98	46,4	33,7	50,25	43,45
HD130	40,84	21,96	49,97	37,59
HD92	43,86	37,6	48,84	43,43
Tichedrett	43,1	36,59	46,17	41,95
HD84	41,41	43,03	44,81	43,08
HD117	39,67	22,79	44,38	35,61
HD106	46,07	26,85	43,25	38,72
HD94	49,97	38,37	42,1	43,48
HD96	41,34	23,09	41,77	35,4
HD8	44,04	17,19	41,54	34,26
HD22	39,49	23,83	41,07	34,8
HD120	42,24	17,26	40,57	33,36
HD127	44,66	27,68	40,52	37,62
HD90	47,54	40,06	40	42,53
HD132	40,42	21,82	39,24	33,83
HD49	36,65	14,68	38,86	30,06
HD91	54,69	31,37	38,01	41,36
HD110	40,26	30,78	37,75	36,26
HD131	45,89	31,16	37,25	38,1
HD113	46,15	29,55	36,91	37,54
HD104	54,39	27,04	36,86	39,43
HD85	43,7	41,56	36,85	40,7
HD45	39,29	40,51	36,64	38,81
HD126	51,54	32,32	35,95	39,94
HD41	42,79	22,48	35,73	33,67
HD48	30,88	29,69	35,39	31,99
HD44	48,36	32,68	35,33	38,79
HD34	39,56	19,57	35,05	31,39
HD99	46,69	31,08	34,94	37,57
HD134	24,66	32,57	34,87	30,7
HD26	46,14	47,17	33,84	42,38
HD108	44,28	30,13	32,99	35,8
HD3	41,92	29,46	32,97	34,78
HD23	40,72	26,81	32,78	33,44
HD77	40,32	20,61	32,53	31,15

**Annexe 7 (Suite) : Rendement en grain moyen (q/ha) de 62 génotypes d'orge
(58 HDs et 4 parents) évalués dans 3 environnements**

HD122	29,26	33,22	32,11	31,53
HD74	27,84	19,12	31,48	26,15
HD125	37,94	23,79	31,02	30,92
HD89	44,82	44,24	29,38	39,48
HD62	45,2	47,42	29,18	40,6
HD133	40,19	22,07	29,08	30,45
HD112	48,99	25,51	28,99	34,5
HD116	42,54	21,88	28,97	31,13
Express	38,95	22,85	28,25	30,02
HD27	46,44	28,01	28,11	34,19
HD19	44,31	27,74	26,72	32,92
HD38	50,49	48,75	26,69	41,98
HD12	49,75	33,02	25,57	36,11
HD18	43,76	27	23,49	31,42
HD95	43,31	31,04	23,25	32,53
HD119	49,12	26,16	23,09	32,79
HD47	41,83	20,39	22,92	28,38
HD82	41,24	38,14	22,85	34,08
HD28	46,49	27,9	22,63	32,34
HD114	37,4	17,49	21,92	25,6
Plaisant	36,83	19,38	21,57	25,93
HD4	45,62	23,69	20,19	29,83
HD135	37,73	17,06	19,25	24,68
HD80	21,43	23,44	19,22	21,36
HD35	38,62	24,55	13,88	25,68
Exito	39,83	19,31	11,49	23,54
Min	16.90	11.0	9.31	9,3
Moy site± SE	42.31±0.60	28.89±0.67	33.32±0.84	34.84±1.54
Max	66.61	51.25	67.33	67

Evaluation of agronomic performances of rainfed barley double-haploids (DHs) lines under semi-arid conditions

LARBI KARKOUR^{1,2,*}, MOHAMMED FENNI³, DALILA RAMLA⁴, DJOUHER GAAD²,
ABDELKADER BENBELKACEM⁵

¹ Department of Agronomy, Faculty of Life and Natural Sciences, Ferhat Abbas University. Setif-1, 19000 Setif, Algeria
Tel.: +213-71-91-85-66. *email: l.karkour@crbt.dz

² Division of Agriculture and Biotechnology, National Research Center for Biotechnology. Constantine, Algeria

³ Valorization of Natural Biological Resources Laboratory, Faculty of Life and Natural Sciences, Ferhat Abbas University. Setif-1, 19000 Setif, Algeria

⁴ National Agronomic Research Institute of Algeria (INRAA). BP 37, Baraki, Algeria

⁵ Plant Breeding and Biotechnology Division, National Agronomic Research Institute of Algeria (INRAA). 25000 Constantine, Algeria

Manuscript received: 9 April 2019. Revision accepted: 27 April 2019.

Abstract. Karkour L, Fenni M, Ramla D, Gaad D, Benbelkacem A. 2019. Evaluation of agronomic performances of rainfed barley double-haploids (DHs) lines under semi-arid conditions. *Biodiversitas* 20: 1398-1408. Sixty-six doubled-haploid (DHs) barley lines derived from F2 plants of three bi-parental single crosses, between the local variety (Tichdrett) and three introduced genotypes (Express, Plaisant, and Exito) were evaluated in 2017 for agronomic performance. The experiment was undertaken at two locations under rainfed conditions in semi-arid zone of Algeria in a randomized block design with three replications. Each line was scored for fifteen quantitative traits: number of days to heading, thousand grains weight, number of grains per spike, spikes number per m², plant height, spike length, leaf relative water content, awn length, peduncle length, spike weight, grain weight per spike, leaf area, specific leaf weight, grain yield and harvest index. The results indicated that the presence of highly significant genotype effect for all traits except for leaf area and highly significant environment effect for all characters, except spikes number per m² and awns length. Genotype x environment interaction was highly significant for all traits, except specific leaf weight and leaf area. Significant positive correlation between the twelve agronomic traits, ranging from 0.45 to 0.87, were observed among the number of grains per spike, thousand grains weight, the number of spikes per m², yield of grains and harvest index. The principal component analysis showed that four components could describe 72% of total variances. Cluster analysis divided all genotypes studied into three cluster groups. Overall, results of agronomic parameters and those related to the biotic and abiotic stresses will be used for better identifying this germplasm and better-directing studies of genetic improvement.

Keywords: Cluster analysis, *Hordeum vulgare*, quantitative traits, Tichdrett, yield components

INTRODUCTION

Barley (*Hordeum vulgare* L.), is one of the first domesticated cereals, which contributes from approximately 6% global cereals and 11.5-12% of the coarse cereals production (Pal et al. 2012; Kumar et al. 2013b; Kumar et al. 2014). Barley is used as food crop in many countries of Africa, Middle East, South America, and Asian. During 2013, barley was grown on 49.14 million hectares with a production of 143 million metric tonnes (FAOSTAT 2015). In Algeria, barley is the second most important rainfed cereal after durum wheat (*Triticum durum* Desf.) with 1 million ha harvested annually (Ramla et al. 2017). Its production is mainly located in semi-arid, highland climatic zones (300-400 mm rainfall) characterized by highly variable and severe of climate conditions (irregular quantity and distribution of rainfall, spring frost, low winter temperatures and high temperatures of end growing period. These harsh climatic conditions have a negative impact on the level and stability of grain yields which varied between 11.0 q ha⁻¹ in dry years and 27 q ha⁻¹ in rainy years (MADR 2014). For a long time, the national food security program focused on grain yield as

criteria of selection. However, this strategy was conditioned by favorable and stable conditions (Ceccarelli 1996). Consequently, few varieties have been released and released varieties have poor adaptation and low stability. Therefore, they have not been adopted by the farmers. Only two varieties, Tichdrett, and Saida, selected from within local germplasm, remain widely used and cover the major areas occupied by this crop (Ceccarelli et al. 2011; Rahal-Bouziane et al. 2015). In regions with unfavorable cultivation conditions, the creation of genetic gain varieties is an important research objective (Ceccarelli and Impiglia 1998). Obtaining these varieties is, however, conditioned by the use of local germplasm and by the implementation of the selection process in the environment for which these new varieties are intended (Ceccarelli 1996; Ceccarelli et al. 2004). Compared to conventional breeding, plant biotechnologies, and more precisely haploid production techniques, are a powerful tool for rapidly obtaining new pure lines from hybrids, thus simplifying and shortening the selection cycle (Ma et al. 1999; Gomez-Pando et al. 2009).

The adaptability of a variety of diverse environments is usually tested by the degree of its interaction with different

environments under which it is grown. Particular genotypes normally demonstrate their full genetic potential only under optimum environmental conditions. Therefore, relative performance in a set of varieties should be evaluated over a series of environments. Unstable varieties are those that show significant fluctuations in agronomic performance across different environments which is due to the presence of Genotype \times Environment interactions (GEI) (Alberts 2004). Because of their importance in plant breeding and evolution, G \times E of quantitative traits have been the subject of extensive investigations for several crops including barley (Teulat et al. 2001; Pillen et al. 2003; Peighambari et al. 2005; Sameri et al. 2006; Shahinnia et al. 2006; Von Korff et al. 2006).

The objectives of this study are to evaluate doubled-haploid (DHs) barley lines that are derived from the crossing between the local variety Tichedrett and the three introduced lines: Express, Plaisant and Exito, for their agronomic characteristics and to analyze their agronomic performance in two locations under rainfed conditions of Algerian semi-arid zones.

MATERIALS AND METHODS

Plant materials

Plant material consisted of sixty-six (66) doubled-haploid (DHs) along with fourth six-row barley parental genotypes (Table 1). These double-haploids derived from F2 plants of 3 bi-parental single crosses between the local variety (Tichedrett) and three introduced genotypes (Express, Plaisant, and Exito) using anther culture as described by Jacquard et al. (2006) cited by Ramla et al. (2017). Tichedrett is characterized by drought resistant and low yielding (Khaldoun et al. 1990), and the three genotypes Express, Plaisant and Exito are high yieldings and susceptible to drought stress (Teulat-Merah et al. 1998). The cross was carried out at the National Agronomic Research Institute of Algeria (INRAA).

Experimental design

These materials were evaluated at two locations in 2017/2018 year, under rainfed conditions in the Algerian semi-arid region. The locations were: the field Crop Institute of Agricultural Experimental Station of Setif (ITGC-AES) at 979 m above sea level with 334.7mm precipitations and the second locations was: Crop Institute-Agricultural Station of EL-Khroub (ITGC-AES), Constantine at 584 m altitude with 403 mm rainfall. Details of the geographic and climatic conditions of trials conditions are presented in Table 2. Field experiments were conducted at each location in a randomized complete block design with three replications. The experimental plots were 2.5 m long and 1.20 m wide with 20 cm between rows. The seeding rate was 270 seeds m². Sowing was performed on 11/12/2017 and 29/12/2017 at the Setif and Constantine station, respectively. Recommended cultural practices for the area were followed.

Table1. Name and code of tested genotypes (parental varieties and double-haploid lines)

Genotypes/Lines	Code
Tichedrett	Ti
Express	EXP
Plaisant	PLAI
Exito	EXI
DH3 F2 Tichedrett*express	HD3
DH4 F2 Tichedrett*express	HD4
DH8 F2 Tichedrett*express	HD8
DH12 F2 Tichedrett*express	HD12
DH18 F2 Tichedrett*express	HD18
DH19 F2 Tichedrett*express	HD19
DH10 F2 Tichedrett*express	HD10
DH22 F2 Tichedrett*express	HD22
DH23 F2 Tichedrett*express	HD23
DH27 F2 Tichedrett*express	HD27
DH28 F2 Tichedrett*express	HD28
DH11 F2 Tichedrett*express	HD11
DH14 F2 Tichedrett*express	HD14
DH15 F2 Tichedrett*express	HD15
DH34 F2 Tichedrett*express	HD34
DH35 F2 Tichedrett*express	HD35
DH38 F2 Tichedrett*express	HD38
DH21 F2 Tichedrett*express	HD21
DH44 F2 Tichedrett*express	HD44
DH47 F2 Tichedrett*express	HD45
DH47 F2 Tichedrett*express	HD47
DH48 F2 Tichedrett*express	HD48
DH49 F2 Tichedrett*express	HD49
DH131 F1Tichedrett*express	HD131
DH130 F1Tichedrett*express	HD130
DH52 F2 Tichedrett*express	HD52
DH94 F1Tichedrett*express	HD94
DH95 F1Tichedrett*express	HD95
DH96 F1Tichedrett*express	HD96
DH98 F1Tichedrett*express	HD98
DH99 F1Tichedrett*express	HD99
DH104 F1Tichedrett*express	HD104
DH106 F1Tichedrett*express	HD106
DH108 F1Tichedrett*express	HD108
DH110 F1Tichedrett*express	HD110
DH112 F1Tichedrett*express	HD112
DH113 F1Tichedrett*express	HD113
DH114F1Tichedrett*express	HD114
DH116 F1Tichedrett*express	HD116
DH117 F1Tichedrett*express	HD117
DH119 F1Tichedrett*express	HD119
DH120 F1Tichedrett*express	HD120
DH122 F1Tichedrett*express	HD122
DH125 F1Tichedrett*express	HD125
DH126 F1Tichedrett*express	HD126
DH127 F1Tichedrett*express	HD127
DH132 F1Tichedrett*express	HD132
DH133 F1Tichedrett*express	HD133
DH134 F1Tichedrett*express	HD134
DH26F2 Tichedrett*express	HD26
DH30 F2 Tichedrett*express	HD30
DH39 F2 Tichedrett*express	HD39
DH38 F2 Tichedrett*express	HD38
DH46 F2 Tichedrett*express	HD46
DH62 F2 Tichedrett*express	HD62
DH84 F2 Tichedrett*express	HD84
DH85 F2 Tichedrett*express	HD85
DH89 F2 Tichedrett*express	HD89
DH90 F2 Tichedrett*express	HD90
DH91 F2 Tichedrett * plaisant	HD91
DH92 F2 Tichedrett * plaisant	HD92
DH74 F1Tichedrett*Exito	HD74
DH77 F2Tichedrett*Exito	HD77
DH80 F2Tichedrett*Exito	HD80
DH82 F2Tichedrett*Exito	HD82
DH135 F1Tichedrett*Exito	HD135

Table 2. Geographic coordinates and climatic characteristics of the two-field trial locations

Location characteristics	Experimental sites	
	Institute-Agricultural Experimental Station of EL-Khroub, (ITGC-AES)	Institute-Agricultural Experimental Station of Setif (ITGC-AES)
Geographic coordinate	High plains	Highlands
Latitude	36°29' N	36°10'N
Longitude	6°41'E	5°21'E
Altitude	584	979
Climate type	Mediterranean type, Semi-arid	Mediterranean type, continental, Semi-arid
Rainfall (Novembre-June) mm	403	334.7
Temperature Minimal (°C)	8.7	6.87
Temperature Maximal (°C)	20.4	18.48
Soil characteristics	clay-loam with clay varies from 30 to 39% and organic matter 0.95-1.25 %, rich in limestone with a content of 12% (Derbal 2015)	silt-clay soil with calcium carbonate and organic matter contents of 30.4 % and 1.4%, respectively (Kribaa et al. 2001; Chennafi et al. 2008).

Notation and measurements

DHs lines were evaluated for the fifteen agronomic traits: Number of days to heading (DHE) was recorded as the number of calendar days from the date of sowing to the time when 50% of the spikes were halfway out from the flag leaf. At the heading stage, four leaves were sampled per plot from each DH line and parents to measure leaf relative water content (RWC), leaf area (LA) and specific leaf weight (SLW). The leaf area was estimated using the method described by Bekherchouche et al. (2009). Specific leaf weight was calculated according to the following formulae: $SLW = FW/LA$, where FW is the sample fresh weight and LA is the leaf area (Araus et al. 1998).

The same leaf samples were used to measure leaf relative water content (RWC) using Barrs and Weartherly (1962) method described by Pask et al. (2012). At maturity, Plant height (PH) was calculated as the average height of five randomly selected plants per line measured from the ground to the top of the terminal spikelet (excluding awns). Ten consecutive plants were randomly collected from each plot were used to calculate: spike length (SL); number of grains per spike (NGS); grain weight per spike (GWS); peduncle length (PL); awns length (AL) and spike weight (SW). Spikes number per m² (SN) and grain yield (GY) were recorded from a vegetative sample harvested from one row, 1.0 m long per plot. Harvest index (HI) was derived as 100 times the ratio of grain yield to above ground biomass: $HI = 100 \times GY/BIO$. Thousand grains weight (TGW) was determined as the weight of a sample of 250 grains after harvest.

Statistical methods

PROC GLM within Statistical Analysis System (SAS) version 9 was used for the statistical analyses of quantitative data (SAS, 2015) For each Location and for each trait, mean \pm standard deviation, coefficients of variation, and treatment means were compared statistically using Student-Newman-Keuls test at $p=0.05$. Pearson's correlation coefficient between traits was also calculated. Principal Component Analysis (PCA) was performed in

order to identify the most discriminant quantitative and traits. The nearest neighbor option based on Euclidean distances was used to explore relationships among the accessions, which were performed using Ward's minimum variance method. PCA and cluster analysis were performed with XLSTAT v13.01 software (Addin Soft, New York, USA). Furthermore, significance was determined a priori at $\alpha = 0.05$ probability.

RESULTS AND DISCUSSION

The summary statistics of the phenotypic performance of the 66 DHs lines and 4 parents for 15 agronomic traits assessed in two each location are shown in Table3. The mean phenotypic values of the twelve significant characters for both locations are reported in Table 4.

Single location

Analysis of variance across environments indicated the presence of highly significant genotype effect for all traits except leaf area (LA) and a highly significant environment effect for all characters studied, except spikes number per m² (SN) and Awns length (AL). The effect for location was height significant for harvest index. HI was earlier at Setif location (mean 29.8%) with coefficients of variation (CV) (38%), and late at Constantine location (mean 19.54%), with CV (30%). If average data of the two locations are considered, line HD10 (28.88%), HD39 (25.30%) and HD11 (24.77%) with the lowest Harvest index at Constantine, and line HD11 (59.54%), HD10 (42.21%), and HD126 (42.15%) that has showed the highest harvest index at Setif.

Location effect is very significant ($p < 0.001$) for number of days to heading (DHE). At Constantine location, the days to heading ranged between 106 and 121 days after sowing (DAS) with a mean of 112 DAS. The lines HD39, HD10, HD11, HD14, and HD46 were the earliest for number of days to heading (107 at 109 DAS). Whereas, the locale variety Tichedrett (Ti) was later in days to heading

(mean 112DAS). At Setif location, days to heading was greater ranged between 125 and 135 DAS with a mean of 132 DAS. The lines HD38, HD11, HD80, HD92, and HD91 were the earliest for days to heading (128 at 129DAS) and the lines HD10, HD126 was later in days to heading (130 DAS).

Highly significant differences have existed between various barley genotypes in thousand grains weight (TGW). Lines HD11, HD90, HD10, HD81, and HD26 at Setif location and lines HD39, HD38, HD26 and HD112 at Constantine location gave the highest values for thousand grains weight. Variation was observed for number of grains per spike over the two locations. Lines HD104, HD62, HD48, HD52, HD12, HD84, and HD92 recorded the highest number of grains per spike at Constantine. At Setif location the highest number of grains per spike was recorded by the lines HD84, HD39, HD110, HD98, HD130, and HD92.

The grain yield (GY) was influenced by location. It was higher at Constantine (70.1 Qx.ha⁻¹) compared to the Setif. Significant (P<0.001) grain yield differences were observed among lines of barley for both locations. The lines HD116, HD91, HD62, HD38, HD90, and HD11, had the highest grains yield at Constantine; whereas, the lines HD84, HD39, HD110, HD98, HD130, and HD92 had the highest grain yields at Setif location.

At Constantine location the highest Spike weight was produced by the lines HD26 (5.64g), HD45 (3.87g) followed by HD52 (4.16g). At Setif, the highest Spike weight was 3.13g, 2.93g, 2.88g, and 2.56g obtained by the HD96, HD135, HD94, and HD30 respectively. At Setif location the tallest lines were at Setif location HD15 (97.67cm), HD133 (97.00cm) followed by HD44 (96.00cm); however, genotype express produced minimum

plants height (78.67cm). At Constantine, maximum plant heights were 111.00, 109.67, 108.00 and 107.67cm, obtained by HD62, HD90, HD119, and HD44 respectively.

Variation was observed for peduncle length over the two locations. The lines HD11, HD125, HD38, and HD62 recorded the longest peduncles measuring 28.33, 28.33, 27.67 and 27.33cm respectively at Setif. The shortest peduncle length was recorded for Exito (21.00cm). At Constantine the longest peduncle lengths were 32.67, 34.33 and 31.00 cm for HD84, HD117 and Plaisant respectively, the shortest was recorded for HD116 (21.67cm).

Combined locations

Among the traits reported here, except the specific weight leaf and Awns length, days to heading and plant height manifested the lowest variability with a coefficient of variation of 8.53% and 9.69%, respectively, followed by peduncle length, spike length, thousand-grain weight and grain weight per spike. At the same time, grain yield and yield components were the most variable traits with coefficients of variation ranging from 12.37% for thousand grains weight to 17.46% for number of grains per spike. Number of days to heading was influenced by genotype location. Lines HD38, HD91, and HD90 are early with flowering dates 116.3, 117.3 and 117.2 days respectively. The latest flowering was the introduction of genotype (Plaisant) at 126 days.

A significant genotype x location interaction for Harvest index. The lines HD11, HD10, and HD39 with 58.38.16 and 36.34% respectively, gave the highest value for harvest index while HD49 had the lowest harvest index at 15.32%.

Table 3. Statistical data recorded with fifteen agronomic traits for sixty-six double-haploid (DH) barley lines and four parents evaluated in two locations (Constantine and Setif)

SV	Mean squares					Mean Min. and Max. values and coefficients of variation (%)							
	Block	Loc	Gen	Loc*Gen	Resi	Constantine location			Setif location				
	2	1	69	69	138	Mean ± SD	Min	Max	CV	Mean ± SD	Min	Max	CV
HI	9.06	11126***	226.76***	142.50***	32.70	19.54±5.81	6.24	51.5	30	29.8±11.48	9.76	60	38
TGW	0.23	158.35***	164.90***	16.29***	0.44	45.27±8.48	30.2	56.5	12	44±5.651	29.3	55.4	13
NGS	5.95	5378.59***	183.77***	100.84***	8.17	49.8±15.66	35	78	16	42.6±6.638	25	58	16
GY	65.08	17051.3***	316.31***	114.25***	30.13	40.13±11.73	11.1	70.1	29	30.5±11.37	11	61.6	35
SN	7740.3	9737.61 ^{ns}	9241.77***	4533.7***	1927.4	183.6±61.83	40.6	391	34	174±58.41	50	376	34
RWC	109.5	45005.1***	308.37***	208.12***	70.72	84.09±9.694	33.5	97.2	12	63.4±13.11	15.6	89.4	21
PH	91.8	10510***	160.37***	125.11***	20.27	101.4±8.104	75	124	8	91.4±7.511	70	107	8
SL	1.02	30.56***	5.83***	3.16***	0.40	5.696±1.405	3	10	25	5.16±1.244	3	9	24
AL	1.04	2.95 ^{ns}	9.08***	7.33***	0.80	13.23±1.597	10	17	12	13±2.011	10	24	15
PL	8.06	239.26***	55.09***	41.30***	4.97	29.02±4.75	18	40	16	27.5±3.991	15	36	16
SW	1.32	80.58***	1.03***	0.53***	0.21	2.978±0.79	1.47	9.39	27	2.2±0.444	1.04	3.54	21
GWS	0.31	56.49***	0.81***	0.39***	0.09	2.46±0.62	1.02	5.5	25	1.73±0.376	0.87	3.16	22
LA	50.6	506.73***	22.15 ^{ns}	17.52 ^{ns}	17.05	8.143±5.44	1.39	75.7	67	5.94±2.575	0.5	14.7	43
SLW	31.10 ⁻³	32.10 ^{-3ns}	30.10 ^{-3ns}	34.10 ^{-3ns}	35.10 ⁻³	0.017±0.13	0.01	0.18	75	0.02±0.018	001	0.2	88
DHE	0.37	42280.4***	29.65***	13.08***	0.80	112±3.27	106	121	3	132±2.112	125	135	2

Note: DF: degrees of freedom, SV: Source of variation, Loc: location, Gen: Genotype, Resi: Residual. *** Significant at p_< 0.001, NS= Non-significant at p_< 0.05. HI: Harvest index, TGW: Thousand grains weight, NGS: Number of grains per spike, GY: Grain yield, SN: Spike number per m² RWC: leaf relative water content, PH: Plant height, SL: Spike length, AL: Awns length, PL: peduncle length, SW: Spike weight, GWS: grain weight per spike, LA: leaf area, SLW: specific leaf weight, DHE: Number of days to heading.

Plants height (PHT) varied significantly ($p < 0.001$) among genotypes and across locations. The maximum height was attained by the lines HD89 (108.5cm), HD133 (106.3cm) followed by another line HD85 with 105.2cm, while the shortest line was HD28 (77.66cm) and the genotype Exito (84cm). It was observed that the thousand-grain weight (TGW) differed between accessions for genotype x location. The grand mean was 44.65 g and mean values varied from 55.92 to 34.08g. The heaviest weight was detected in the lines HD10 (55.95g), HD39 (54.17g) and HD26 (54.15g), the lightest weight (34.08g) was the line HD35. The lines HD62 and HD11 had the great value for spike length with 8.1 and 7.3cm respectively. The lowest value was recorded for HD92 about 3.5cm. For the character of peduncle length, the lines HD90 and HD89 had the greatest value by 34.33 and 34.16 cm. Signification variation for leaf relative water content (RCW) detected for genotype x, it varied from 52.54 to 86.07% the height value for was observed in two lines HD38 (86.07 mg.cm⁻²) followed by HD84 (85%) and the light value was recorded in the line HD3 (52.54%).

The Grain yield (GY) was influenced by genotype x location interaction, the grand mean was 36.92 Qx.ha⁻¹ and mean values varied from 22.43 to 57.27 Qx.ha⁻¹. The heaviest value of grain yield was detected in the lines HD10 (57.27 Qx.ha⁻¹), HD11 (55.12Qx.ha⁻¹) and HD30 (50.03Qx.ha⁻¹). The lightest value of grain yield (22.43Qx.ha⁻¹) was the line HD80. Number of grain per spike differed among genotype x location interaction, ranged from 32.8 to 56.83grains with an overage mean of 46.21grains. The lines HD84, HD98, and HD62 had greatest number of grains per spike with 56.83, 56.5 and 56 grains respectively. The line Hd116 had the least of NGS (32.83 grains).

Variation was observed for grain weight per spike (GWS) over two, the lines HD15 (3.18g), HD52 (3.01g) and HD92 (2.72g) recorded the highest grain weight per spike. The minimum number was also obtained by HD28 (1.21g).

Correlation between characters

The correlation coefficients between 70 barley genotypes including 66 double-haploid (DHs) and their four parents (*Hordeum vulgare*) evaluated in two locations are presented in Table 5.

Harvest index was highly significant and positive correlation with grain yield ($r = 0.741$, $p < 0.001$), spikes number ($r = 0.567$, $p < 0.001$) and thousand grains weight ($r = 0.366$, $p < 0.01$). However, HI was negatively correlated with number of days to heading ($r = -0.315$, $p < 0.01$). Thousand grain weight is highly significant and correlated positively with grain yield ($r = 0.511$, $p < 0.001$), leaf relative water content ($r = 0.369$, $p < 0.01$), spike weight ($r = 0.316$, $p < 0.01$) and grain weight per spike ($r = 0.321$, $p < 0.01$). Number of grains per spike weight exhibited highly significant and positive correlation with spike weight ($r = 0.560$, $p < 0.001$) and grain weight per spike ($r = 0.576$,

$p < 0.001$). Grain yield exhibited highly significant and positive correlation with thousand grain weight ($r = 0.511$, $p < 0.001$), spike number per m² ($r = 0.597$, $p < 0.001$) and relative leaf water content ($r = 0.410$, $p < 0.001$). However, negative correlation of this character was noted with number of days to heading ($r = -0.465$, $p < 0.001$). Peduncle length exhibited highly significant and positive correlation with plant height ($r = 0.405$, $p < 0.001$). Spike length exhibited highly significant and negative correlation with grain weight per spike ($r = -0.253$, $p < 0.001$). Spike weight was highly significant and positively correlated with number of grains per spike ($r = 0.576$, $p < 0.001$) and grain weight per spike (0.875, $p < 0.001$).

Principal compound analysis

Principal compound analysis (PCA) was performed based on twelve characters. There were four Eigenvalues greater than one, which determined the choice of the four components (Table 6). The PCA exhibited variances of 25.07, 23.35, 12.13 and 9.79%, were extracted for the first four principal components and accounts about 72% of total variation. Harvest index, relative leaf water content, thousand grains weight, grain yield and number of days to heading showed greater loading for variation in the first principal component. For Number of grains per spike, spike length, spike weight, grain weight per spike and spikes number most variation was explained by the second principal component. Variation in the third principal component was mainly due to plant height and peduncle length, while the fourth principal component showed 10% of total variation with greater loading from spike length and number of grains per spike. In line with the present finding, Bedasa et al. (2015) employed principal component analysis for detecting variation in 49 barley population in which the first four PCs contributed 70.36% of total variation. Generally, days to 50% flowering, days to maturity, and number of seeds per spike was the most loading character for the variation among accessions

Based on the 2D graph analysis, five major classes were formed (Figure 1). The first class contained all lines characterized by the highest number of grains per spike, grain weight per spike and spike weight. Class 2 contains primarily the lines belonging with highest value of harvest index, grain yield, and thousand grains weight. The third class contained the lines characterized by the highest value of spike length and spikes number per m². Class four contained the line characterized by long number of days to heading. The fifth class was characterized by tall Lines and those with long peduncles.

Cluster analysis

The dendrogram performed by cluster analysis confirmed the PCA results and indicated that the sixty-six double-haploid (DHs) barley lines and four parents could be divided into three major groups (Figure 2).

Table 5. Pearson's correlation coefficients

Traits	HI	TGW	NGS	GY	SN	RWC	PH	SL	PL	SW	GWS	DHE
HI	1											
TGW	0.366	1										
NGS	0.078	0.028	1									
GY	0.741	0.511	0.171	1								
SN	0.567	-0.138	-0.354	0.597	1							
RWC	0.246	0.369	-0.033	0.410	0.179	1						
PH	0.058	0.148	-0.037	0.136	0.016	0.185	1					
SL	0.172	-0.142	0.053	0.081	0.092	0.067	-0.013	1				
PL	0.107	0.064	-0.075	-0.070	-0.061	0.036	0.405	0.091	1			
SW	0.036	0.316	0.560	0.099	-0.393	0.069	-0,041	-0.136	-0.015	1		
KWS	0.049	0.321	0.576	0.028	-0.478	0.045	-0.035	-0.253	0.030	0.875	1	
DHE	-0.315	-0.395	-0.099	-0.465	-0.113	-0.435	-0.044	-0.260	-0.022	-0.006	0.052	1

Note: The values in bold are different from zero to a level of significance alpha=0.05

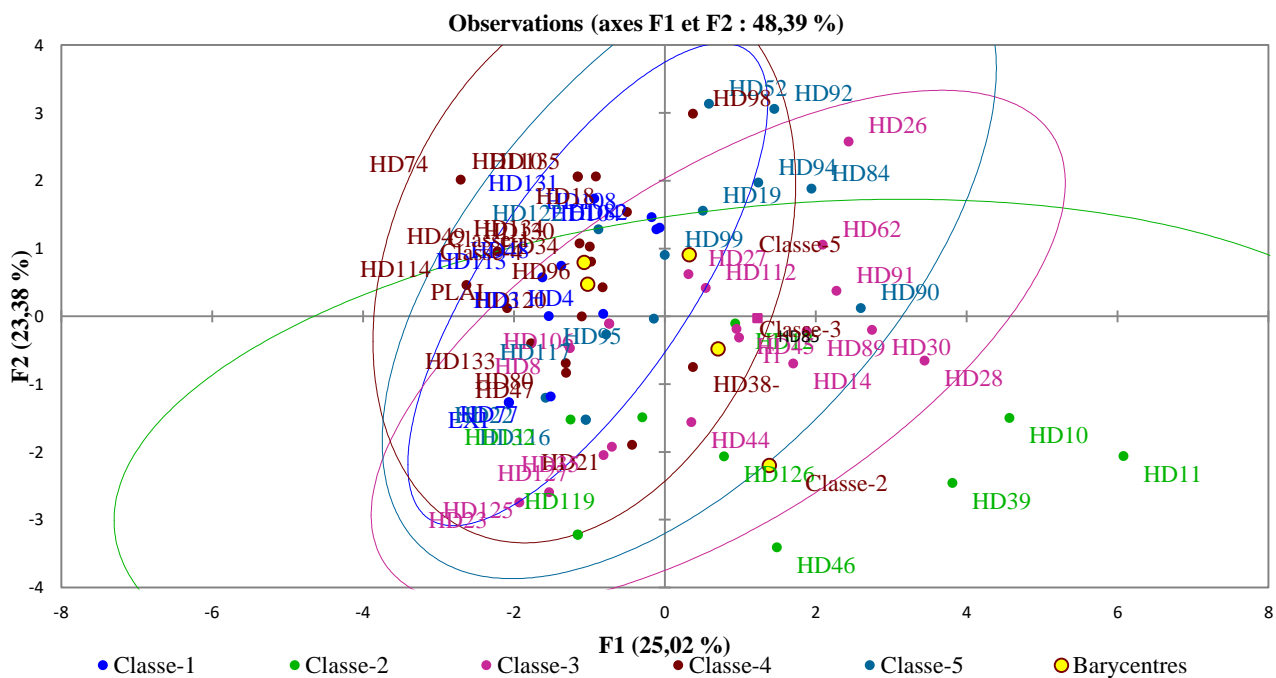


Figure 1. Scatter diagram with the distribution of sixty-six double-haploid (DH) barley line and four parents according to the first two principal components (PC1 and PC2)

The first group includes 38 genotypes, where the first subgroup contains 21 doubled haploid (DHs) barley lines (HD15, HD91, HD52, HD45, HD112, HD90, HD89, HD94, HD26, HD77, HD22, HD116, HD95, HD108, HD4, HD104, HD82, HD48, HD131, HD113, HD3 and the variety Exito (Exi)). The second subgroup of the first group consisted of 17 double-haploid (HD) barley lines HD27, HD23, HD132, HD127, HD35, HD8, HD125, HD126, HD119, HD44, HD12, HD30, HD14, HD62, HD28 and

Tichedrett (Ti) local variety. The second group consisted of the lines HD10, HD11, HD38, HD39, HD46, HD126 and HD119. The third group includes 26 genotypes, where the first subgroup contains 12 double haploid (DHs) barley lines HD134, HD120, HD47, HD34, HD135, HD133, HD114, HD49, HD130, HD18, HD74 and Plaisant (PLAI). The second subgroup of third group consisted the lines HD99, HD96, HD122, HD110, HD80, HD 117, HD21, HD 98, HD15, HD 84, HD92, HD19 and HD85.

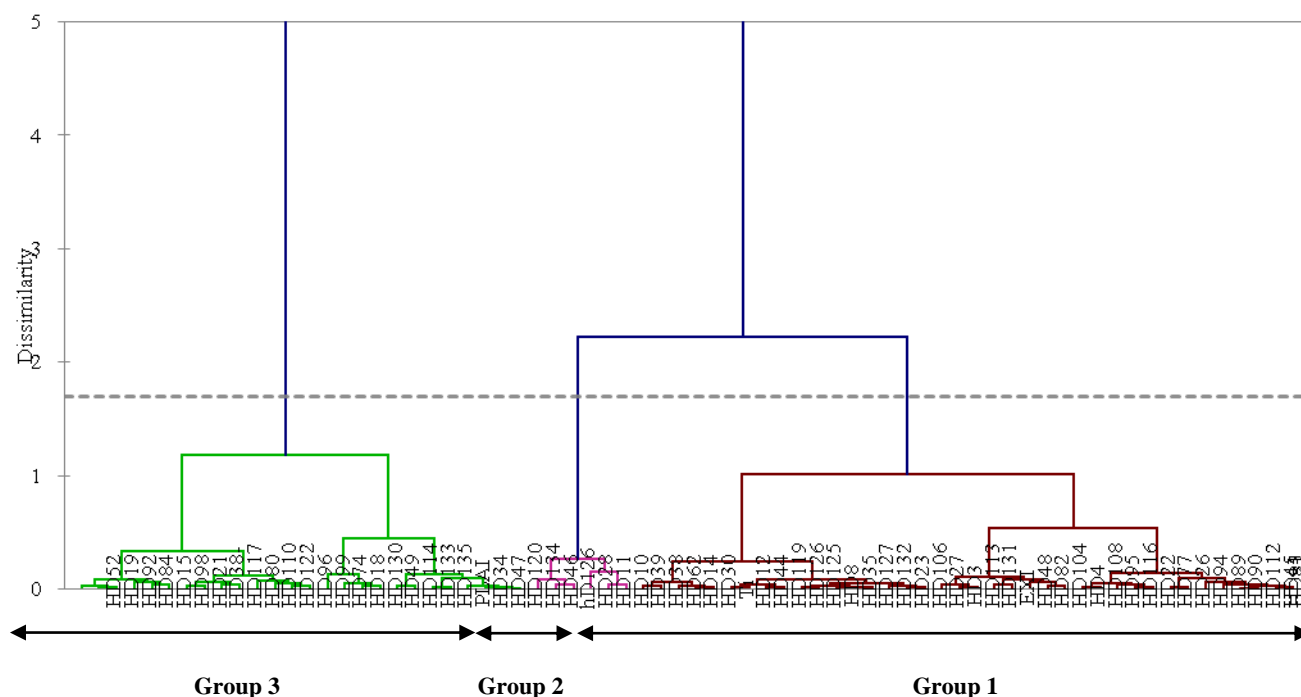


Figure 2. Dendrogram computed from the Euclidean distance for sixty-six double-haploid (DH) barley line and four parents

Table 6. Eigenvalues, individual and cumulative percentage variations, and Eigenvector explained by four vectors explained by four principal components based on agronomic traits in sixty-six double-haploid (DH) barley line and four parents evaluated in two locations (Constantine and Setif)

Parameters	PC1	PC2	PC3	PC4
Eigen value	3.009	2.803	1.456	1.176
% of variance	25.077	23.358	12.132	9.798
Cumulative %	25.077	48.434	60.567	70.364
Characters	Eigenvector			
HI	0.797	-0.106	-0.153	-0.031
TGW	0.625	0.367	0.181	-0.281
NGS	0.111	0.695	-0.212	0.377
GY	0.909	-0.044	-0.195	-0.11
SN	0.486	-0.666	-0.256	-0.197
RWC	0.614	0.014	0.178	-0.026
PH	0.215	-0.035	0.771	-0.065
SL	0.174	-0.254	-0.021	0.064
PL	0.082	-0.011	0.786	0.153
SW	0.134	0.893	-0.074	0.006
GWS	0.079	0.93	-0.022	-0.081
DHE	-0.651	0.012	-0.015	-0.349

Discussion

Sixty-six doubled-haploid (DHs) barley lines derived from F_2 plants of 3 bi-parental single crosses, between the local variety (Tichdrett) and three introduction varieties (Express, Plaisant, and Exito) were evaluated in 2017 using randomized block design with three replication at two

locations under rainfed conditions of semi-arid zone in Algerian. Pooled analysis of variance across environments indicated the presence of highly significant genotype effect for all traits except leaf area (LA) and a highly significant environment effect for all characters studied, except spikes number per m^2 (SN) and Awns length (AL).

The results of ANOVA for quantitative traits indicated the influence of climatic conditions on phenological, and traits related to yield. Setif has a semi-arid climate, with winter rainfall (annual rainfall of 334.7 mm) as well as in Constantine location (annual rainfall of 403 mm). According to Ramla et al. (2015), barley production is mainly located in the highland semi-arid agro-climatic zone (300-400 mm rainfall) characterized by variable and severe climatic conditions. These environmental factors appear to have substantial impact on the phenological and yield components of barley. The main limitation to higher yield in the Mediterranean environment is water availability (Rizza et al. 2004); therefore, superior germplasm under the water-limited growing conditions may carry some positive drought tolerance traits. Abundant research on drought tolerance of crops indicates that different mechanisms may be relevant at different productivity levels (Cattivelli et al. 2008).

A wide range of variations was found among the DHs lines for all the traits. Moreover, the HDs lines expressed better performance for seed production in Constantine. At Setif earlier heading and a higher vegetative development were observed. Generally, DHs lines grown in Constantine produced longer spikes with higher number of grains per spike (NGS) and superior thousand-grain weight (TGW), than those grown in Setif. In addition, the mean grain yield

(GY) and Harvest index (HI) were superior at Constantine compared to Setif. Whereas, Results indicated also that more important DHs lines proportion were associated with leaf relative water content (RWC) and plant height (PHT) in Constantine region. These results would suggest that high temperature and rainfall distribution during the vegetative growth are among the factors that enhanced the expression of these traits. The mode of inheritance of grain yield and most agronomic traits is complex, governed by several genes and influenced by environmental conditions (Falconer 1981; Peighambari et al. 2005). A number of genes control these traits, and in general, they react in the same manner according to environmental conditions (Bellatreche 2017).

Genotypes x location interaction was height significant for all traits, except specific weight leaf (SWL) and leaf area (LA). These results agree much with those found by Drikvand et al. (2012) where traits contributing to the most variance concerned awn length, plant height, grain yield, grain number per spike, peduncle length, spike length, and 1000-grain weight. Many of these traits have also contributed to the genetic differentiation among accessions of barley (Setotaw et al. 2010). Previous studies have also reported significant G x E effect for different agronomic characters in barley populations (Teulat et al. 2001; Pillen et al. 2003; Peighambari et al. 2005; Von Korff et al. 2006; Chand et al. 2008; Schmalenbach et al. 2009).

Genotypes x environment interactions are important sources of variation in any crop and the term stability is sometimes used to characterize a genotype, which shows a relatively constant yield, independent of changing environmental conditions (Becker and Leon 1988).

Significant differences were observed among barley cultivars for grain yield, 1000-grain weight, plant height and heading date (Mut et al. 2010). The significant estimates of G x E interaction indicated that the characters were unstable and may considerably fluctuate with change in environments (Chand et al. 2008). These results indicated the presence of variability among genotypes as well as environments under which the experiments were conducted. Therefore, an understanding of genotypes x environments interaction provides valid insights to words the selection of new stable genotypes in the diversified environmental conditions prevailing in a region.

Variability of quantitative traits of any crop is influenced by genetic factors, environmental factors, and their interaction. Uniformity of individuals and stability of quantitative traits are major requirements for the development of improved varieties and their release. Since the preservation of broad genetic base of landraces could be much appreciated, then the study of variability of quantitative traits becomes increasingly important. In our experiment, the most variable trait was harvest index (HA) followed by yield components: spike number per m² (SN), grain weight per spike (GWS), gains yield of grains (GY) with respective coefficient of variation values of 42.33%, 33.68%, 30.23%, and 31.10%. Such a strong variability was caused by the fact that grain yield is a complex trait controlled by a polygenetic system and is strongly influenced by environmental factors. Darwinkel (1978) in

Chalak et al. (2015) reported similar pattern of variability in winter wheat grown at the Netherlands a wide range of plant population densities.

Days to heading expressed the lowest variability with a coefficient of variation of 8.53%, followed by plant height (9.6%) and peduncle length (15.73%). These results match with the findings of Singh (2011), who reported that days to heading were the most stable traits, whereas yield and yield components were noticed for strong phenotypic and genotypic variability about 30%.

The genetic correlations among the twelve agronomic traits were estimated from data combined across environments table. Significant positive correlation, ranging from 0.45 to 0.87, were observation among number of grains per spike, thousand grains weight, spikes number per m², grain yield and harvest index. Similar results have been reported by Peighambari et al. (2005) in Iran and Rajiv and Yashasvita (2018) in India. Many workers have also reported similar positive and significant association of grain yield with Spikes number per m² (Akdeniz et al. 2004; Ataei 2006), number of grains per spike (Drikvant et al. 2011). Thousand-grain weight and with harvest index (Khajavi et al. 2014; Kumar et al. 2014). The same finding for grain yield and plant height were reported by other studies (Samarrai et al. 1987; Kisana et al. 1999; Bhutta et al. 2005). Akdeniz et al. (2004) observed positive and significant correlations between grain yield and yield components such as plant height, spike length and spike number per m² but found negative and non-significant correlations between grain yield and grains number per spike. Ataei (2006), reported positive and significant correlations of grain yield with spike number per m² and thousand grains weight.

Principal component analysis was used to observe the general pattern for variation of traits. The first four principal components with eigenvalues greater than unity (1) together extracted about 72 % of the total variation. According to Johnson and Wichern (2002), based on the Eigenvalues and vectors, it is possible to indicate which traits are mainly responsible to explain the variation. Accordingly, the first principal components, which contributed about 48.42% of total variation, were due to harvest index, leaf relative water content, thousand grains weight, grain yield and number of days to heading, respectively (Table 4). Similarly, about 23.35% of the variation, accounted for by the second principal component, was due to contributions of number of grains per spike, spike length, spike weight, grain weight per spike and spikes number.

On the other hand, the third principal component, which explained about 12.13% of the variation, mainly plant height followed by Peduncle length, while the fourth principal component showed 10% of total variation with greater loading from spike length and number of grains per spike. In the work of Abebe et al. (2010) for Ethiopian barleys in relation to geographic regions and altitudes, the first three principal components (PCs), with eigenvalues greater than unity, explained about 73% of the total variation among accessions for the nine quantitative traits. Hence, even if the genotypes and the number of traits used

vary, the value of the first three principal components greater than unity shows a better percentage in this study than the genotypes investigated by Abebe et al. (2010). According to the study of Zaheer et al. (2008) in Pakistan, the variation studied through Principal Component Analysis revealed that five principal components having greater than 1 eigenvalues contributed 83.40% of the total variation.

Although the cluster analysis grouped, barley accessions with greater morphological similarity, the dendrogram of the evaluated sixty-six double-haploid (DHs) barley lines and four parents genotypes grouped into three cluster groups. Konichi et al. (1993) in Bhutan, six-row barley genotypes investigated were also classified into three groups. It is the same for a study by Dimitrova-Doneva et al. (2014).

The first group includes 38 genotypes which was 54.28% of the total experimental materials, where the first subgroup contains 21 double-haploid (DHs) barley lines, among these lines: HD77, HD4, HD104, HD82, HD48, HD131, HD113, HD3 and the variety Exito (Exi), characterized by the highest number of grains per spike, grain weight per spike and spike weight. The second subgroup of the first group consisted of 17 double-haploid (HD) barley lines, among which: HD27, HD23, HD132, HD127, HD35, HD8, HD125, HD44, HD28 and a local variety Tichedrett (Ti), characterized by the highest value of spike length and spikes number per m². The second group consisted of the lines HD10, HD11, HD38, HD39, HD46, HD126 and HD119, characterized by the highest values of harvest index, thousand grains weight, and grain yield.

The third group includes 25 genotypes, 35.71% of the population, where the first subgroup contains 12 double haploids (DHs) barley lines HD134, HD120, HD47, HD34, HD135, HD133, HD114, HD49, HD130, HD18, HD74, and the introduced variety Plaisant (PLAI), characterized by long number of days to heading. The second subgroup of third group consisted of 13 lines, among them: HD122, HD117, HD84, HD92, HD19, and HD95, characterized by long plant height and peduncle length. The confirmation of these results and the study of other agronomic parameters and those related to the biotic and abiotic stresses will be used for better identifying this germplasm and better directing works of genetic improvement.

REFERENCES

- Abebe TD, Bauer AM, Leon J. 2010. Morphological diversity of Ethiopian barleys (*Hordeum vulgare* L.) in relation to geographic regions and altitudes. *Hereditas* 147: 154-164.
- Akdeniz H, Keskin B, Yilmaz I, Oral E. 2004. Research on yield and yield components of some barley cultivars. *J Agric Sci* 14: 119-125.
- Alberts MJA. 2004. Comparison of Statistical Methods to Describe Genotype-Environment Interaction and Yield Stability in Multi-Location Maize Trials. [Thesis]. University of the Free State, South Africa.
- Araus JL, Amaro T, Voltas J, Nakkoul H, Nachit MM. 1998. Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Field Crops Res* 55 (3): 209-223.
- Ataei M. 2006. Path analysis of barley (*Hordeum vulgare* L.) yield. *Ankara Univ Fac Agric J Agric Sci* 12: 227-232.
- Becker HC, Leon J. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breed* 101: 1-23.
- Bedasa M, Berhane L, Tadesse D. 2015. Morphological diversity and association of traits in Ethiopian food barley (*Hordeum vulgare* L.). Landraces in relation to regions of origin and altitudes. *J Plant Breed Crop Sci* 7 (2): 44-54.
- Belkherchouche H, Fellah S, Bouzerzour H, Benmahammed A, Chellal N. 2009. Vigor growth, translocation and grain yield of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi-arid conditions. *Courrier du savoir* 9: 17-24. [French]
- Bellatreche A, Moustafa Yassine Mahdad M Y, Kaouadji Z, Gaouar SBS. 2017. Agro-morphological diversity of some accessions of bread wheat (*Triticum aestivum*) in western Algeria. *Biodiversitas* 18: 409-415.
- Bhutta WM, Barley T, Ibrahim M. 2005. Path-coefficient analysis of some quantitative characters in husked barley. *Ser Biol* 17: 65-70.
- Cattivelli L, Rizza F, Badeck FW, Mazzucotelli E, Mastrangelo AM, Francia E, Mare C, Tondelli A, Stanca AM. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants, an integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Res* 105: 1-14.
- Ceccarelli S, Grando S, Baum M, Udupa SM. 2004. Breeding for Drought Resistance in a Changing Climate. In: Rao SC, Ryan J (eds.). *Challenges and Strategies of Dryland Agriculture*. CSSA Special Publication No. 32, CSSA/ASA, Madison, Wisconsin.
- Ceccarelli S, Grando S, Capetini F. 2011. Barley Breeding History, Progress, Objectives and Technology-Near East, North and East Africa and Latin America. In: Ulrich SE (ed.). *Barley: Production, Improvement and Uses*, Wiley, New York.
- Ceccarelli S. 1996. Adaptation to low/high input cultivation. *Euphytica* 92: 203-214.
- Ceccarelli S, Grando S, Impiglia A. 1998. Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. *Euphytica* 103: 307-318.
- Chalak L, Mzid R, Rizk W, Hmedeh H, Kabalan K, Breidy J, Hamadeh B, Machlab H, Rizk H, Samih Elhajj S. 2015. Performance of 50 Lebanese barley landraces (*Hordeum vulgare* L. subsp. *vulgare*) in two locations under rainfed conditions. *Ann Agric Sci* 60 (2): 325-334.
- Chand N, Vishwakarma S.R, Verma, O.P, Kumar M. (2008). Phenotypic stability of elite barley lines over heterogeneous environments. *Barley Genetics Newslett* 38: 14-17.
- Chennafi H, Bouzerzour H, et Saci A. (2008). Improvement of rainfed agriculture in semi-arid environment. In: Proceedings of the National Seminar on Constraints to the Production of Durum Wheat in Algeria. Université Chlef, le 29 et 30 Novembre 2008, [French]
- Derbal N. 2015. Study of the Spatio-Temporal Variation of Certain Technological Characteristics of Some Varieties of Durum Wheat Grown in Algeria. [Dissertation]. Université Badji, Mokhtar, Annaba. [French]
- Dimitrova-Doneva D, Valcheva D, Vulchev D, Dylogerova B, Gotcheva M, Popova T. 2014. Evaluation of grain yield in advanced lines two-rowed winter barley. *Agric Sci Technol* 6 (2): 165-169.
- Drikvand R, Hossinpor T, Samiei K. 2011. Plant Coefficient Analysis in Hull less Barley under rainfed conditions *Austr J Basic Appl Sci* 5 (12): 277-279.
- Drikvand R, Salahvarzi E, Salahvarzi A, Hossinpor T. 2012. Study of genetic diversity among rainfed barley genotypes using ISJ markers and morphological traits. *J Agric Sci* 4 (9): 137-144.
- Falconer DS. 1981. *Introduction to Quantitative Genetics*. 2nd ed, Longman Group Ltd., London.
- FAOSTAT. 2015. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome, Italy.
- Gomez-Pando LR, Timenez-Davalos J, Eguiluz de la Barra A, Aguilar-Castellanos E, Falconi-Palomino J, Ibanez-Tremolada M. 2009. Field performance of new in vitro androgenesis derived double haploids of barley. *Euphytica* 166: 269-276.
- Johnson RA, Wichern DW. 2002. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Prentice Hall, New Jersey.
- Khajavi A, Aharizad S, Ahmadzadeh M. 2014. Genetic diversity of promising lines of barley based on pheno-morphological traits in Ardabil area. *I J Adv Biol Biomed Res* 2 (2): 456-462.
- Khaldoun A, Chery J, Monneveux P. 1990. Study of rooting characteristics and their role in water deficit adaptation in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Agronomie EDP Sci* 10 (5): 369-379. [French]
- Kisana NS, Tahir M, Mujahid MY, Ahmed I, Majid A, Mustafa SZ, Ahmed Z. 1999. Variability and relationship between morpho-

- phenological traits and grain yield in winter and facultative barley under stress environments. *Pak J Biol Sci* 2: 767-771.
- Konichi T, Yano Y, Fukushima Y. 1993. Genetic variation in barley landraces from Bhutan. *Genet Resour Crop Ev* 40: 33-38.
- Kribaa M, Hallaire V, Curmi P, Lahmar R. 2001. Effects of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of soil in semi-arid climate. *Soil Tillage Res* 60: 43-53.
- Kumar V, Kumar R, Verma PS, Verma A, Sharma I. 2013 b. Recent trends in breeder seed production of barley (*Hordeum vulgare* L.) in India. *Indian J Agric Sci* 83: 576-578.
- Kumar V, Rathore A, Kharub AS, Kumar D, Sharma I. 2014. GGE biplot analysis of multi-locational yield trials and identification of representative environments for barley (*Hordeum vulgare* L.) in India. *Res Crops* 15: 871-875.
- Ma H, Busch R. H, Riera-Lizarazu O, Rines H. W, Dill-Macky R. 1999. Agronomic performance of lines derived from anther culture, maize pollination and single-seed descent in a spring wheat cross. *Theor Appl Genet* 99: 432-436.
- MARD. 2014. Ministry of Agriculture and Rural Development. Série B, Statistiques Agricoles. DSASI.
- Mut Z, Gülümser A, Sirat A. 2010. Comparison of stability statistics for yield in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Afr J Biotechnol* 9 (11): 1610-1618.
- Pal D, Kumar S, Verma RPS. 2012. Pusa Losar (BHS 380)-the first dual-purpose barley variety for northern hills of India. *Indian J Agric Sci* 82: 164-165.
- Pask AJD, Pietragalla J, Mullan DM, Reynolds MP. 2012. Physiological Breeding II: A field guide to wheat phenotyping. CIMMYT, Mexico, D.F.
- Peighambari SA, Samadi BY, Nabipour A, Charmet G, Srafi A. 2005. QTL analysis for agronomic traits in a barley doubled haploid population grown in Iran. *Plant Sci* 169: 1008-1013.
- Pillen K, Zacharias A, Léon J. 2003. Advanced backcross QTL analysis in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Theor Appl Genet* 107: 340-352.
- Rahal-Bouziane H, Berrkani S, Merdas S, Nait Merzoug S, Abdelguerfi A. 2015. Genetic diversity of traditional genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L) in Algeria by phenomorphological and agronomic traits. *Afr J Agric Res* 10 (31): 3041-3048.
- Rajiv KSR, Yashasvita C. 2018. Correlation analysis of grains yield and important agronomic traits in six-rowed barley (*Hordeum Vulgare* L.) in Agra Region, *Intl J Sci Res* 7 (3): 1836-1840.
- Ramla D, Yakhou M. S Bilek N, Hamou M, Hhannachi A, Aissa A, Mekliche-Hanifi L. 2016. Grain yield stability analysis of barley doubled haploid lines in Algerian semi-arid zones. *Asian J. Crop Sci* 8: 43-51.
- Ramla D, Yakhou S, Hamou M, Haninfi-Mekliche L. 2017. Evaluation of the performance of some barley-doubled haploids (*Hordeum vulgare* L.) and identification of transgressive lines in an Algerian semi-arid zone. *Nature & Technology*. <http://www.univ-chlef.dz/revuenatec>. [French].
- 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.
- Samarrai SM, Seyam SM, Mian HR, Dafie AA. 1987. Growth periods, harvest index and grain yield relationships in barley. *Rachis Barley Wheat Newslett* 6: 21-24.
- Sameri M, Takeda K, Komatsuda T. 2006. Quantitative trait loci controlling agronomic traits in recombinant inbred lines from a cross of oriental-and occidental-type barley cultivars. *Breed Sci* 56: 242-252.
- SAS Institute Inc. 2015. SAS/IML® 14.1 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Schmalenbach I, Léon J, Pillen K. 2009. Identification and verification of QTLs for agronomic traits using wild barley introgression lines. *Theor Appl Genet* 118: 483-497.
- Setotaw TA, Dias Lads, Missio RF. 2010. Genetic divergence among barley accessions from Ethiopia. *Crop. Breed. Appl. Biotechnol*. 10: 116-123.
- Shahinnia F, Rezaei A, Sayed-Tabatabaei BE, Komatsuda T, Mohammadi SA. 2006. QTL mapping of heading date and plant height in barley cross 'Azumamugi' × 'Kanto Nakate Gold'. *Iranian J Biotechnol* 4: 88-94.
- Singh AP. 2011. Genetic variability in two-rowed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Indian J Sci Res* 2: 22-23.
- Souri J, Dehghani H, Sabbaghza SH. 2005. Study of chickpea genotypes under water stress. *Iran J Agric Sci* 36: 1517-1527.
- Teulat B, Mareh O, Souyris I, This D. 2001. QTL for agronomic traits from a Mediterranean barley progeny grown in several environments. *Theor Appl Genet* 103: 774-787.
- Teulat-Merah B, Zoumarou W, Douimi R, Ben Salem M, Bahri H, This D. 1998. Study of drought tolerance in cereals: barley as a biological model QTL approach. In: Serge H (ed.). *From Biological Models to Plant Improvement*. Scientific Days of the AUF Network: Plant Biotechnology: Plant Improvement and Food Security, 7. Montpellier (FRA), 2000/07/03-05..
- Von Korff M, Wang H, Léon J, Pillen K. 2006. AB-QTL analysis in spring barley: II. Detection of favorable exotic alleles for agronomic traits introgressed from wild barley (*H. vulgare* ssp. *spontaneum*). *Theor Appl Genet* 112 .1221. 1231.
- Zaheer A, Saif UA, Muhammad M, Muhammad Z, Muhammad SM. 2008. Genetic diversity for morpho-genetic traits in barley germplasm. *Pak J Bot* 40: 1217-1224.