

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة الحراش - الجزائر

ECOLE NATIONAL SUPERIEURE AGRONOMIQUE (ENSA) EL HARRACH -  
ALGER



THESE PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLOME DE DOCTORAT EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Option: Production Végétale

THEME

*ANALYSE DES CARACTÈRES  
LIÉS AU RENDEMENT DE L'ORGE (*Hordeum vulgare L.*)  
SOUS CONTRAINTES ABIOTIQUES*

Présentée par : MEZIANI NASSILA

Soutenue publiquement le : 02/06/2016

Devant le jury :

Mr. ABDELKRIM H.

Président

Professeur, ENSA

Mr. BOUZERZOUR H.

Directeur de thèse

Professeur, U. Sétif

Mr. BENMAHAMMED A.

Examineur

Professeur, U. Sétif

Mr. BENBELKACEM A.

Examineur

Maître Recherche A, INRAA

Mr. MEFTI M.

Examineur

Maître Conférence A, ENSA

Année Universitaire 2015/2016

## *Dédicaces*

*A la mémoire de mon père,*

*A ma très chère mère,*

*Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.*

*A mon mari,*

*Sans ton aide, tes conseils et tes encouragements ce travail n'aurait vu le jour. Que dieu réunisse nos chemins pour un long commun serein et que ce travail soit témoignage de ma reconnaissance.*

*A ma fille Loubna,*

*A mon frère Karim et mes sœurs Nawel et Mouna*

*A mon oncle Slimane*

*A mon beau-frère Farid*

*A ma belle-sœur Nawel*

*A mes neveux Anis et Kamel*

*A mes nièces Yasmine et Amina*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail,*

*Veillez trouver en ce modeste travail l'expression de mon affection.*

*Nassila*



## Remerciements

Louanges à Dieu le tout puissant et le miséricordieux qui a guidé mes pas vers cette issue.

Je remercie mon directeur de thèse le professeur **BOUZERZOUR Hamenna** qui a accepté avec toute modestie de m'encadrer, malgré ses multiples charges, tout le long de ces années d'études. Je le remercie pour son aide, sa patience, ses conseils précieux qui ont conduit à l'achèvement de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression mon plus profond respect et ma profonde gratitude.

Mes vifs remerciements et ma profonde gratitude s'adressent à Monsieur **ABDELKRIM Hacène**, qui m'a fait l'honneur de présider le jury et à Messieurs **BENMAHAMMED Amar**, **BENBELKACEM Abdelkader** et **MEFTI Mohamed** d'avoir accepté d'examiner et juger ce travail.

Mes remerciements vont aussi pour Monsieur **Pierre DEVAUX** du laboratoire de Biotechnologie Florimond Desprez pour son aide dans la réalisation de la caractérisation génétique des génotypes.

Je tiens à remercier tout le personnel de l'ITGC de la station d'Oued Semar pour leur aide durant les deux années d'expérimentation (2006/07 et 2007/08).

Ma gratitude va aussi à toutes les personnes qui m'ont aidé et qui m'ont encouragé afin de finaliser ce travail.

**MEZIANI N.**



## Liste des tableaux :

**Tableau 1.** Caractéristiques des sites expérimentaux testés **31**

**Tableau 2.** Moyennes des carrés des écarts de l'analyse de la variance du rendement en grains obtenu par localité, moyenne du rendement en grains par localité et liste des génotypes à haut rendement par site **30**

**Tableau 3.** Analyse de la variance combinée du rendement en grains, intégrant la régression conjointe et l'AMMI **31**

**Tableau 4.** Moyennes du rendement en grains (RDT, t ha<sup>-1</sup>), coefficient de régression (b), contribution au carré moyen des écarts de l'interaction génotype x localités (CME<sub>GxL</sub>), carré moyen des écarts de la déviation de la régression (CME<sub>DEV.</sub>) et ordonnée à l'origine (a, t/ha) des 12 variétés d'orge évaluées sur 6 localités **33**

**Tableau 5.** Liste des 15 génotypes d'orge et leurs origines **46**

**Tableau 6.** Moyennes des carrés des écarts de l'analyse de la variance par année et des deux années des variables mesurées des 15 génotypes étudiés **50**

**Tableau 7.** Moyennes de la campagne 2006/07, 2007/08 et déviations entre les moyennes des deux campagnes, moyennes globales, valeurs minimale, maximale, amplitude et la plus petite différence significative des variables mesurées des 15 génotypes étudiés **51**

**Tableau 8.** Valeurs des écarts  $[100*(X_{G_i}-X_{G_4})/X_{G_4}]$  entre les moyennes des six variables morphologiques des groupes G1, G2 et G3 relativement aux valeurs moyennes du groupe 4 **60**

**Tableau 9.** Moyennes des carrés des écarts de l'analyse de la variance par année et des deux années combinées des variables mesurées des 15 génotypes étudiés **61**



## Liste des figures :

**Figure 1.** Production d'orge des principaux pays producteurs de l'année 2010/11 (Adaptée de Bensemane, 2015) í .05

**Figure 2.** Productions, rendements et superficies récoltées de l'orge de la période 1961 à 2011 (adaptée de Bensemane, 2015) í .06

**Figure 3.** AMMI<sub>1</sub>-biplot du rendement en grains (t ha<sup>-1</sup>) des 12 génotypes d'orge évalués sur 6 diverses localités í ..35

**Figure 4.** Biplot-AMMI<sub>2</sub> du rendement en grains des 12 génotypes d'orge évalués sur 6 diverses localités í ..í ...37

**Figure 5.** Variation du rendement en grains nominal des 12 génotypes sur les 6 localités testées í ..38

**Figure 6.** Liaisons entre les valeurs de l'ASV et les moyennes de rendement en grains des 12 génotypes d'orge évalués dans 6 localités í í í í í í í í í í í í í í í .40

**Figure 7.** Moyenne du rendement en grains et valeurs de l'indice de reliabilité (I) des 12 génotypes d'orge évalués dans 6 diverses localités í í í í í í í í í í í í í í í ..41

**Figure 8.** Classement des variétés étudiées sur la base du degré de ressemblance pour les longueurs du dernier entrenòud, des barbes, du col de l'épi, de l'épi et de la durée de la phase végétative í .58

**Figure 9.** Classement des variétés étudiées sur la base du degré de ressemblance pour les longueurs du dernier entrenòud, des barbes, du col de l'épi, de l'épi et de la durée de la phase végétative í .59

**Figure 10.** Variation du nombre de grains par épi des 15 génotypes au cours des deux campagnes í í í í í í í í í í .í .64

**Figure 11.** Variation du nombre d'épis produit par m<sup>2</sup> des 15 génotypes au cours des deux campagnes í í .í .65



## Liste des abréviations

|            |   |
|------------|---|
| ACP        | Analyse en composantes principales                                |
| ACSAD      | Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands           |
| ADN        | Acide Désoxyribonucléique   |
| AFC        | Analyse Factorielle des Correspondances                           |
| AMMI       | Additive Main effect and Multiplicative Interaction               |
| ARN        | Acide ribonucléique   |
| Df         | Degre of freedom  |
| dNTP       | Mélange de plusieurs désoxyribonucléotides                        |
| G x L      | Génotype × Localité   |
| ICARDA     | International Center for Agricultural Research in Dry Areas       |
| ITGC       | Institut Technique des Grandes Cultures                           |
| INRAFrance | Institut National de la Recherche Agronomique France              |
| QTL        | Quantitative traits loci  |
| MADRP      | Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche |
| Max.       | Maximum   |
| Mini.      | Minimum   |
| MS         | Mean squares  |
| PCR        | Polymerase Chain Reaction   |
| PHT        | Hauteur de la plante  |
| SS         | Sum of squares  |
| SSR        | Simple Sequence Repeats   |



## **SOMMAIRE**

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUCTION GENERALE</b> | <b>01</b> |
|------------------------------|-----------|

### **CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

|   |    |
|---|----|
| 1. Importance de la culture de l'orge ( <i>Hordeu vulgare</i> L.)             | 04 |
| 2. Taxonomie de l'orge  | 07 |
| 3. Contraintes abiotiques   | 08 |
| 3. 1. Déficit hydrique  | 08 |
| 3. 2. Température   | 09 |
| 4. Traits adaptifs  | 10 |
| 4. 1. Vigueur de croissance, statut thermique et hydrique<br>et translocation | 11 |
| 4. 1. Précocité   | 14 |
| 5. Sélection  | 15 |
| 5. 1. La sélection pour la précocité  | 15 |
| 5. 2. La sélection pour la stabilité  | 16 |
| 5. 3. Sélection assistée par marqueurs  | 21 |

### **CHAPITRE II : PERFORMANCE ET ADAPTATION DES GENOTYPES**

#### **D'ORGES A DIVERS LOCALITE**

|   |    |
|---|----|
| I. Introduction   | 22 |
| II. Matériel et Méthodes                                    | 25 |
| II. 1. Mise en place des essais                             | 25 |
| II. 2. Notation et analyse des données                      | 27 |
| III. Résultats et discussion                                | 30 |
| III. 1. Analyse de l'interaction Génotypes x localité (IGL) | 30 |
| III. 2. Rendement nominal et stabilité des performances     | 38 |
| IV. Conclusion  | 42 |

**CHAPITRE III : EVALUATION AGRONOMIQUE DES GENOTYPES D<sub>0</sub>ORGE**

|   |    |
|---|----|
| I. Introduction                                       | 43 |
| II. Matériel et méthodes                              | 46 |
| II. 1. Site expérimental et matériel végétal          | 46 |
| II. 2. Caractères mesurés                             | 47 |
| II. 3. Analyse des données                            | 48 |
| III. Résultats et Discussion                          | 49 |
| III. 1. Analyse de la variabilité phénotypique        | 49 |
| III. 1. 1. Caractères morphologiques et phénologiques | 49 |
| III. 1. 2. Caractères agronomiques                    | 61 |
| III. 2. Relation entre caractères                     | 71 |
| III. 3. Typologie variétale                           | 76 |
| III. 3. 1. Groupement des variétés                    | 76 |
| III. 3. 2. Sélection pour la tolérance vs performance | 82 |
| IV. Conclusion  | 88 |

**CHAPITRE IV : CARACTERISATION GENETIQUE DES GENOTYPES  
D<sub>0</sub>ORGE**

|   |     |
|---|-----|
| I. Introduction                                       | 89  |
| II. Matériel et méthodes                              | 90  |
| II. 1. Matériel végétal                               | 90  |
| II. 2. Extraction et amplification d <sub>0</sub> ADN | 90  |
| II. 3. Analyse des données                            | 93  |
| III. Résultats et Discussion                          | 93  |
| IV. Conclusion  | 100 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>CONCLUSION GENERALE</b> | 101 |
|----------------------------|-----|

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> | 104 |
|------------------------------------|-----|

## **Introduction générale**

L'orge (*Hordeum vulgare L.*) est la quatrième céréale, la plus importante au monde, en termes de surface et de production. Elle est relativement adaptée diverses conditions environnementales et plus tolérante aux stress abiotiques que les blés. En Algérie, 35 % de la superficie céréalière est occupée par cette espèce qui est localisée entre les isohyètes 250 et 450 mm où elle est conduite en pluvial (Bouzerzour et Dekhili, 1995). Sa culture s'inscrit dans le cadre des systèmes extensifs associant la céréaliculture à l'élevage ovin où elle joue un rôle important dans l'équilibre précaire dans l'économie des petites exploitations (Bouzerzour et Monneveux, 1992).

Le déficit hydrique constitue une contrainte majeure limitant la productivité des céréales en Algérie. La sécheresse affecte la culture tout le long de son cycle avec des effets plus prononcés à des stades tardifs. L'effet au cours de la phase reproductive a suscité beaucoup d'études (Hunt *et al.*, 1991 ; Leterme *et al.*, 1994 ; Annichiarico *et al.* ; 2002). Pour limiter la fluctuation des rendements, liée à la variabilité de l'environnement, de nombreuses recherches se sont intéressées à la contribution des caractères phénologiques et morpho-physiologiques à l'adaptation de la plante aux contraintes abiotiques (Turner, 1986 ; Monneveux et This, 1997 ; Ehdaie *et al.*, 2006 ; Belkharchouche *et al.*, 2015 ; Hamli *et al.*, 2015).

La recherche vise à sélectionner des lignées à haut potentiel de rendement et à production plus régulière, peu sensibles aux variations climatiques d'un lieu de production à l'autre et d'une année à l'autre (Bahlouli *et al.*, 2005 ; Kadi *et al.*, 2010). Cette recherche passe par l'identification d'une architecture génotypique qui s'harmonise au mieux avec le milieu de production, grâce à un rythme de développement approprié et d'une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau (Richards *et al.*, 2002). Les nouvelles sélections d'orge ainsi que celles du blé dur montrent généralement une faible stabilité spatio-temporelle des rendements et les variétés les

moins variables ne sont pas toujours les plus productives (Bouzerzour *et al.*, 1998, Nouar *et al.*, 2012 ; Menad *et al.*, 2011 ; Meziani *et al.*, 2011). En effet, la sélection sous stress abiotiques est onéreuse et difficile, pour de nombreux chercheurs, parce que, sous ces conditions, le phénotype est largement influencé par l'effet de l'environnement. La conséquence est une faible liaison entre phénotype-génotype, réduisant fortement la reproductibilité et la fiabilité des résultats de la sélection réalisée (Annichiarico *et al.*, 2005 ; Kadi *et al.*, 2010; Menad *et al.*, 2011 ; Meziani *et al.*, 2011). De nouveaux outils d'analyse des données, plus performants, sont disponibles pour mieux interpréter et exploiter l'interaction génotype x environnements (Gauch, 1992 ; Brancourt-Hulmel *et al.*, 1999 ; Annichiarico *et al.*, 2005 ; Sinebo, 2005 ; Kadi *et al.*, 2010 ; Menad *et al.*, 2011 ; Ramburan, 2012 ; Meziani *et al.*, 2011).

L'étude de l'interaction offre, en effet, l'opportunité de sélectionner des génotypes qui montrent une interaction positive dans certaines localités et sous certaines conditions environnementales spécifiques. Comme elle offre aussi l'opportunité de sélectionner des génotypes à large adaptation ayant un rendement en grains au-dessus de la moyenne, associé à une faible variation inter-sites (Ceccarelli *et al.*, 1998; Sinebo, 2005 ; Annichiarico *et al.*, 2005 ; Kadi *et al.*, 2010, Nouar *et al.*, 2012).

Diverses techniques de marquage moléculaires ont été développés en puissants outils pour l'analyse de la diversité et de l'établissement de relations entre les variétés (Abdellaoui *et al.*, 2007). Parmi ces moléculaires, les microsatellites ou SSR (simple sequence repeats) sont réputés être les plus performants pour les analyses de la diversité dans de vastes collections de ressources génétiques (Balfourier *et al.*, 2006), et sont aussi à l'origine de nombreuses cartes génétiques, notamment pour les espèces autogames qui ont un polymorphisme élevé (Samouelian *et al.*, 2009).

Notre travail a pour objectif l'évaluation de quinze géotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en se basant sur les caractères phéno-morphologiques et agronomiques dans le but de sélectionner des géotypes stables pour les conditions algériennes et d'analyser l'interaction GL du rendement de douze géotypes évalués au niveau de 6 sites, en utilisant les modèles de la régression conjointe et l'analyse AMMI. Ainsi que l'évaluation de la diversité génétique chez huit géotypes d'orge par l'utilisation des marqueurs moléculaire SSR.

## **1. Importance de la culture de l'orge (*Hordeum vulgare* L.)**

L'orge présente une grande histoire en tant qu'espèce domestiquée. Elle est l'une des premières cultures adoptées dans le monde. Elle figure parmi les sept céréales les plus cultivées au monde. Elle occupe la quatrième position de par sa production après le maïs, le blé tendre et le riz et avant le sorgho, l'avoine et le seigle (FAO, 2012).

La production mondiale de l'orge avoisine les 135 millions de tonnes, sur une superficie emblavée de près de 57 millions d'hectares. L'Europe se distingue par la plus grande superficie emblavée en orge, avec 29 millions d'hectares, produisant, en 2011, plus de 80 millions de tonnes, soit l'équivalent de 60% de la production mondiale. Les Etats Unis d'Amérique et le Canada viennent en seconde position pour les surfaces et la production (FAO, 2012).

La production de quelques pays producteurs d'orge de l'année 2010/11 est donnée en figure 1. Ainsi au cours de la période 1961 à 2011, les surfaces récoltées, en Algérie, ont varié de 0.2 à 1.6 millions d'hectares, avec une moyenne de 825 000 hectares, la production a varié de 1.3 à 22.0 millions de quintaux et le rendement a varié de 2.2 à 18.0 q/ha, avec des moyennes de 0.72 millions de tonnes pour la production et 0.84 t/ha pour le rendement (Figure 2, Bensemmane 2015). L'orge est surtout utilisée pour l'alimentation animale, en vert, sous forme de paille et en grains. Elle trouve une utilisation en alimentation humaine dans certains pays comme l'Éthiopie, le Pérou et le Tibet (Khaldoun, 1989 ; Grando *et al.*, 2005). L'orge (*H. vulgare* L.)

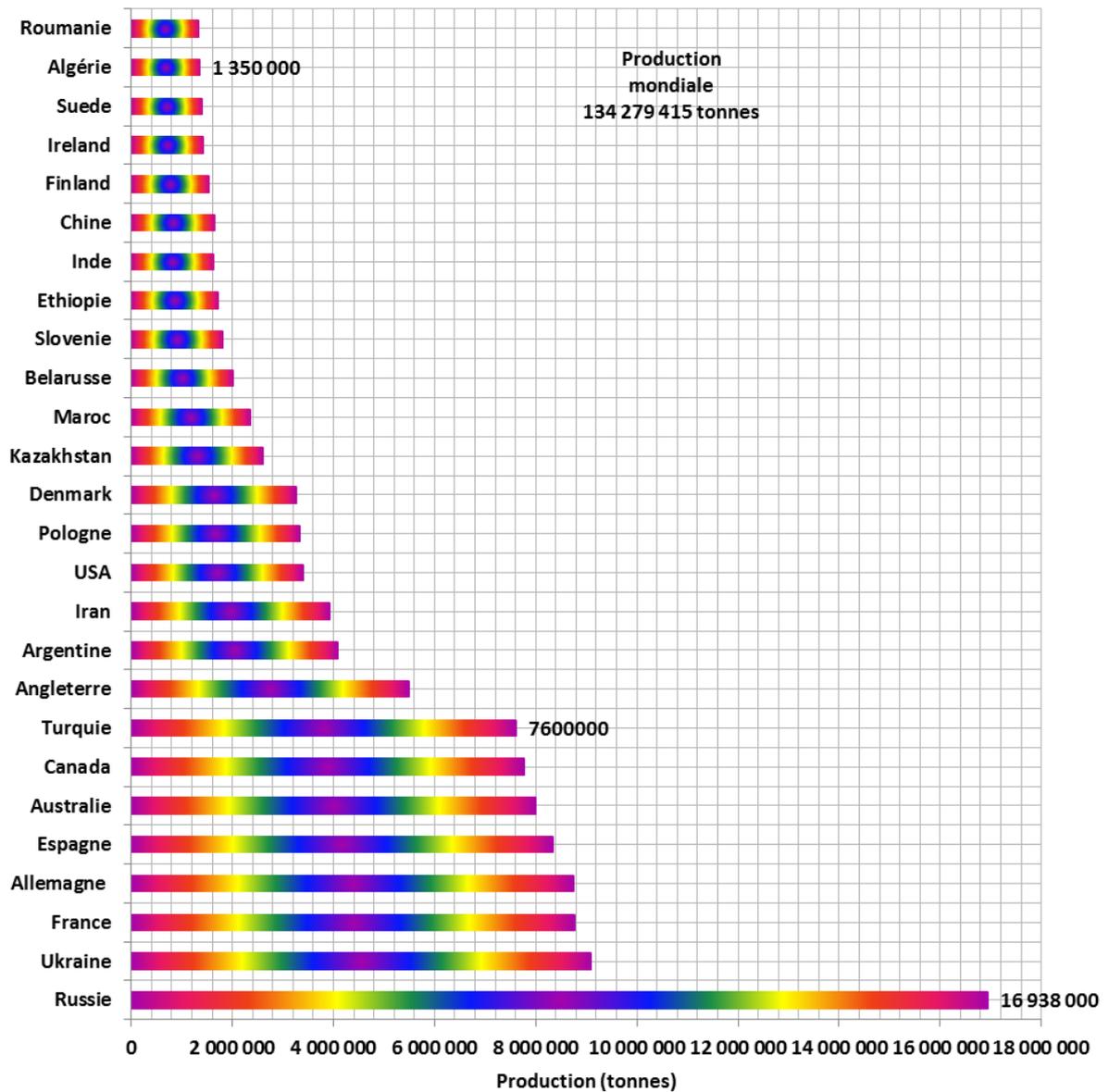


Figure 1. Production d'orge des principaux pays producteurs de l'année 2010/11  
(Adaptée de Bensemane, 2015)

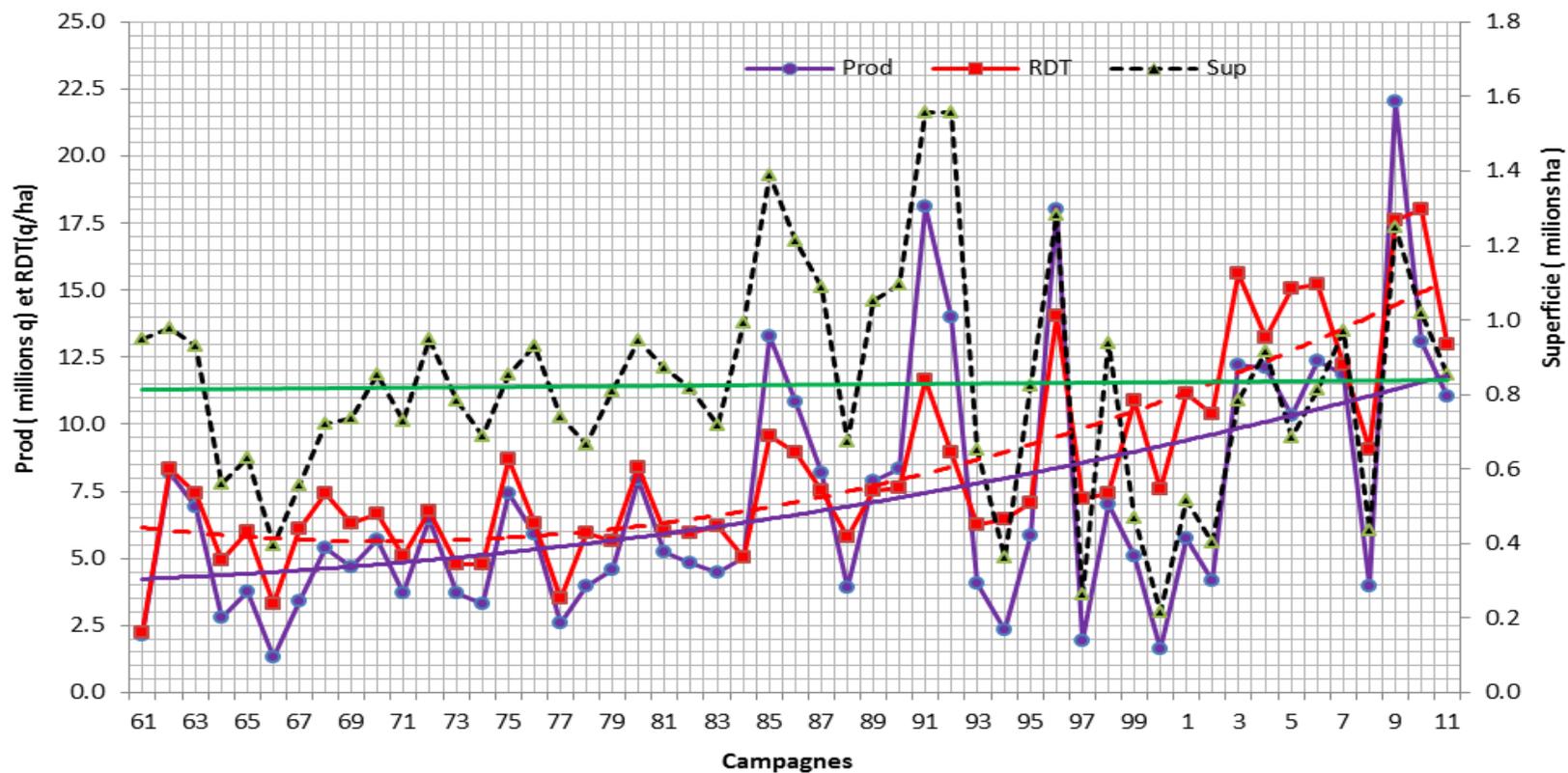


Figure 2. Productions, rendements et superficies récoltées de l'orge de la période 1961 à 2011 (adaptée de Bensemane, 2015).

## **2. Taxonomie de l'orge**

L'orge appartient à la tribu des *Triticeae*. Cette tribu représente une grande branche de la famille des graminées (*Poaceae*) et renferme un grand nombre d'espèces et de genres. La tribu a une large distribution au niveau des principales zones tempérées et elle est présente également dans la zone subtropicale (Bothmer, 2003). L'orge est une espèce diploïde ( $2n= 2x= 14$ ) et autogame, des formes tétraploïdes peuvent apparaître spontanément (Bonjeau et Picard, 1990).

Des gènes induisant des variations au niveau de ploïdie ont été rapportés : inducteur de triploïdie (Ahokas, 1977) ou d'haploïdie (Hagberg et Hagberg, 1980). Des haploïdes peuvent aussi apparaître spontanément (Clavier et Cauderon, 1951), comme ils peuvent être obtenus également après hybridation interspécifique avec *Hordeum bulbosum* par élimination d'un des génomes et par culture d'anthere ou d'ovaires (Gallais et Bonnerot, 1992). Les orges sont des monocotylédones, famille des poacés, sous famille des festucoïdés.

L'orge appartient au genre *Hordeum*, avec 32 espèces et 45 taxa au total (Bothmer et Jacobsen, 1985). Toutes les espèces du genre *Hordeum* ont des caractères morphologiques similaires. Elles se caractérisent par des épillets uniflores, groupés par trois (1 central flanqué de 2 latéraux). Des épillets latéraux confèrent la morphologie « orge à 6 rangs, des escourgeons (Gallais et Bennerot, 1992). Lorsque les épillets latéraux sont réduits à des vestiges (glumes glumelles sans le grain), on a la morphologie classique de l'orge à 2 rangs (Jestin, 1993 ; Gallais et Bennerot, 1992 ; Brink *et al.*, 2006).

Malgré la structure homogène apparente au niveau de la morphologie basique, *Hordeum* montre une grande diversité biologique. Certaines espèces sont annuelles tels que *H. marinum* Huds., *H. murinum* L. et *H. pussillum* Nutt. D'autres

espèces sont pérennes avec un système d'auto-incompatibilité, tels que *H. bulbosum* L. et *H. brevisubulatum* (Trin.) Link. (Bothmer *et al.*, 2003).

Selon <http://www.itis.gov/> la classification de l'orge est la suivante :

Règne : *Plantae*

Sous règne : *Tracheobionta*

Super-division : *Spermaphyta*

Division : *Magnoliophyta*

Classe : *Liliopsida*

Sous classe : *Commelinidea*

Ordre : *Cyperales*

Famille : *Poaceae*

Genre : *Hordeum*

Espèce : *vulgare*

Sous espèce : *H. vulgare L. subsp spontaneum C. Koch*

### **3. Contraintes abiotiques**

#### **3.1. Déficit hydrique**

La culture de l'orge rencontre des contraintes d'ordre techniques, dépendantes du savoir-faire des producteurs et abiotiques, liés à la variabilité de l'environnement de production, en termes d'humidité et de températures. La culture de l'orge est pratiquée à la limite inférieure du semi-aride où le déficit hydrique est plus prononcé.

Les conséquences sont une réduction et une variation des productions, des rendements et des surfaces récoltées (Hakimi, 1993 ; Menad *et al.*, 2011, Benbelkacem, 2013). Le manque d'eau affecte la croissance en inhibant l'activité

photosynthétique par suite de la fermeture des stomates et du dessèchement précoce du feuillage (Chaves *et al.*, 2002).

Les moyens d'adaptation à cette contrainte existent chez l'orge qui met en œuvre diverses stratégies pour rétablir la turgescence cellulaire, dont entre autres le développement des racines pour avoir accès à plus d'humidité en profondeur du sol, la régulation stomatique pour minimiser les pertes d'eau qui accompagnent l'entrée du CO<sub>2</sub> nécessaire à la photosynthèse, la synthèse de solutés compatibles pour résister au manque d'eau et le raccourcissement du cycle pour limiter les effets du manque d'eau de fin de cycle (Chaves *et al.*, 2002).

### **3.2. Températures**

L'aire de culture de l'orge est connue par les hivers froids et le printemps et l'été secs et chauds. Ces contraintes sont engendrées par la fréquence du gel printanier, les hautes températures et la rareté des pluies, en fin de cycle (Annichiarico *et al.*, 2005).

Les basses températures hivernales ne permettent pas à la plante de valoriser l'humidité du sol qui est plus disponible, alors que l'avènement des hautes températures accélère la croissance de la plante qui souffre du manque d'eau. La résultante est une production faible et variable dans l'espace et le temps (Bouzerzour *et al.* 1998).

Les hautes températures du semis affectent la longueur de la coléoptile, causant un ancrage superficiel des plantules et une mauvaise installation de la culture. Les hautes températures de fin de cycle réduisent le nombre d'épis, le nombre grains par épi et le poids moyen d'un grain. Les basses températures

causent une chute de la fertilité des épis au cours du stade gonflement (Abbassenne *et al.* 1998 ; Mekhlouf *et al.*, 2006).

#### **4. Traits adaptatifs**

Sous conditions de production variables, différentes combinaisons de caractères sont susceptibles de conférer l'adaptation aux stress (Ceccarelli *et al.*, 1998; Fellah *et al.*, 2002 ; Annichiarico *et al.*, 2005 ; Nouar *et al.*, 2010 ; Benmahammed *et al.*, 2010). Ceccarelli *et al.*, (1998) mentionnent que différentes combinaisons de caractères conduisent à un même niveau de rendement en grains, sous stress.

L'inefficacité du rendement en grains, utilisé comme critère de sélection, à améliorer et stabiliser la production en conditions environnementales variables, suggère le recours à l'utilisation des caractères morpho-physiologiques (Richards *et al.*, 2002 ; Ehdaie *et al.*, 2006 ; Hamli *et al.*, 2015 ; Oulmi *et al.*, 2014 ; Belkharhouche *et al.*, 2015).

La variation du gain de rendement réalisé par la sélection résulte de la variation du degré d'expression de la multitude de caractères qui conditionnent le rendement sous stress (Araus *et al.*, 1998 ; Richards *et al.*, 2002 ; Benmahammed *et al.*, 2010).

Dans ce contexte, Bensemane (2015) rapporte que, sous conditions semi-arides des hautes plaines orientales, les orges à 6 rangs sont plus adaptées que les orges à 2 rangs. Cette adaptation, toute relative, semble être liée à une biomasse aérienne accumulée, un poids des épis et un nombre de grains par m<sup>2</sup> plus élevés.

De plus cette auteure rapporte que la sélection indirecte, mono et multi caractères, identifie, à des degrés variés de 30 à 90%, les mêmes lignées issues de la sélection directe et que malgré des différentielles de sélection élevées en valeurs aussi bien pour les caractères sélectionnés que pour les caractères non pris en compte par la sélection, la réponse à la sélection est nulle ou négative suite à l'interaction avec l'environnement.

Ainsi sur les 50 lignées sélectionnées, seules trois lignées, deux à 6 rangs et une à 2 rangs, ont maintenu leur performance, comparativement au meilleur témoin, au cours de la seconde année d'étude (Bensemene, 2015). Ces résultats font suggérer à cette auteure que la stratégie à déployer pour améliorer le rendement et l'adaptation, sous conditions semi-arides, doit être basée essentiellement sur l'utilisation, en croisements, des géniteurs à 6 rangs, pour cumuler, chez la descendance, les gènes favorables à l'expression du nombre d'épis, du nombre de grains par épi et par m<sup>2</sup> et de la biomasse aérienne. La combinaison de ces caractères, par croisements, suivie de criblage de la descendance, déboucherait, à long terme, à la sélection de génotypes performants et adaptés.

#### **4.1. Vigueur de croissance, statuts thermique et hydrique et translocation**

Une installation rapide de la culture, juste après le semis, permet à la végétation de couvrir le sol, de réduire de l'évaporation et ainsi de valoriser la température clémente et l'humidité du sol, en début de cycle, avant l'avènement du froid hivernal qui arrête la croissance du végétal.

La sélection de tels génotypes doit se faire sur la base d'une meilleure vigueur de croissance précoce (Soltani et Galeshi, 2002 ; Rebetzke *et al.*, 2007). Bensemene (2004) observe des différences de vigueur de croissance chez le blé dur

où le cultivar Waha se développe notamment plus vite très tôt en début de cycle comparativement au cultivar Mohammed Ben Bachir.

Une croissance rapide en début du cycle peut, cependant, engendrer une plus grande consommation et un gaspillage d'eau avant l'anthèse, au détriment de la part qui doit assurer un remplissage de grain satisfaisant. Dans ce contexte El Hafid *et al.*, (1998) suggère de chercher un équilibre entre la part d'eau économisée par suite de la réduction de l'évaporation du sol et la part d'eau utilisée suite à l'amélioration de la croissance sous basses température.

L'amélioration de la vigueur de la croissance précoce, déterminée principalement par l'énergie germinative, la taille de l'embryon et la surface spécifique foliaire, améliore la production de la biomasse aérienne accumulée et le rendement en grains sous conditions méditerranéennes (Botwright *et al.*, 2002 ; Richards et Lukacs, 2002).

La mesure de la température de la canopée est attractive comme technique de criblage pour la résistance au stress. Dakheel *et al.* (1993) notent que jusqu'au stade épiaison, la température de la canopée est corrélée positivement avec le rendement en grains et négativement après ce stade végétatif.

Balota *et al.*, (2007) rapportent que la dépression de la température du couvert végétal ou de la feuille étendard est un critère capable de discriminer entre les génotypes tolérants et ceux qui sont sensibles à la contrainte hydrique et thermique.

Une basse température de la canopée est suggestive d'une turgescence élevée et de la capacité de la plante à extraire l'eau du sol, ce qui permet le maintien de l'activité photosynthétique (Blum et Pnuel, 1990 ; Dakheel *et al.* 1993).

Dans ce contexte le contenu relatif en eau du feuillage est un bon indicateur de la résistance aux stress abiotiques. Cette caractéristique de rétention de l'eau par le feuillage est utilisée pour évaluer la résistance des plantes vis-à-vis des stress thermique et hydrique (Clarke et Mc Craig, 1982 ; Yang *et al.*, 2001 ; Balota *et al.*, 2007 ; Oulmi *et al.*, 2015).

Sous stress, une paille haute est plus apte à stocker les réserves glucidiques, qui sont transférées vers le grain (Siddique *et al.*, 1989, Belkharchouche *et al.*, 2015). Le pédoncule de l'épi est le siège de transfert d'hydrates de carbone vers le grain, sous stress (Ehdaie *et al.*, 2006 ; Bahlouli *et al.*, 2005).

Belkharchouche *et al.*, (2015) rapportent que la limitation de la source induit une baisse de 14.7%, 21.7% et 8.0 % du nombre de grains/épi, du rendement épi et du poids d'un grain. Waha minimise l'effet de la limitation de la source, alors que Megress<sub>3</sub> en est affecté. Ces comportements s'expliquent par la présence/absence de la compensation qui s'instaure différemment entre les organes de la plante.

Belkharchouche (2015) rapportent que la quantité totale des assimilats remobilisée, venant des entrenœuds, varie de 543.5 mg à 1117.0 mg, ce qui représente 26.6 % à 60.9% du rendement grain/épi. Pour maximiser l'appel des assimilés vers le grain et ainsi développer des génotypes à haut potentiel de rendement et adaptés aux conditions sèches méditerranéennes, cette auteure propose que la sélection soit faite sur la base de la taille de l'épi, le stay green des glumes, la longueur et la densité des barbes, les nombres de grains par m<sup>2</sup> et par épi, le poids de 1000 grains, le poids spécifique, la longueur du dernier entrenœud et du col de l'épi.

## **4.2. Précocité**

En conditions semi-arides d'altitude, les génotypes précoces à l'épiaison se caractérisent par des vitesses de remplissage par m<sup>2</sup> élevées, alors que les génotypes tardifs font plus appel aux assimilats stockés dans la tige (Abbassenne *et al.*, 1998). Pour éviter les effets du gel tardif printanier, qui caractérise les régions semi-arides, la sélection des génotypes tardifs à l'épiaison et précoces à maturité est prometteuse (Mekhlouf *et al.*, 2006). Haddad (2009) montre que les génotypes tardifs valorisent peu, sous forme de grains produits par unité de surface, la matière sèche totale accumulée au stade épiaison, suite à leur faible indice de récolte.

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

Ludwig et Asseng (2006) mentionnent que dans les cas où les contraintes limitantes du rendement sont le déficit hydrique et les hautes températures de fin de cycle, parce que les pluies deviennent rares ou parce que le sol a une faible capacité de rétention d'eau ou parce que le milieu se caractérise par une demande climatique élevée, il est judicieux de sélectionner des génotypes alternatifs qui se distinguent par un cycle végétatif court, pour positionner la phase de remplissage du grain en dehors du pic de l'avènement de la contrainte.

## **5. Sélection**

La sélection des plantes s'appuie largement sur les lois de la génétique qui permettent aux sélectionneurs de raisonner le choix des génotypes. Elle a pour objectifs principaux la recherche d'une productivité, d'une adaptation et d'une qualité meilleures. Selon Bonjean et Picard (1990), l'objectif de la sélection est l'identification de nouvelles lignées qui portent un ensemble de caractéristiques désirables leurs permettant d'être adoptées comme variétés agricoles sans de grands risques pour les producteurs. Elles doivent produire plus pour réduire les coûts de production au niveau de l'exploitation et surtout doivent se distinguer par une meilleure régularité des rendements en grains et une nette amélioration de la qualité du produit récolté.

### **5.1. La sélection pour la productivité**

Les stratégies d'augmentation des rendements des plantes cultivées ont longtemps été basées sur une augmentation de la productivité. La productivité est définie comme étant la capacité potentielle d'une variété à produire des rendements élevés sous conditions optimales (Ceccarelli *et al.*, 1998). En sélection, la productivité désigne souvent le rendement en grains. Une variété productive ne l'est, en fait que par rapport à une autre variété qu'elle remplace et à laquelle elle est comparée. Cette dernière est alors utilisée comme témoin de référence (Benmahammed, 2005).

Depuis la domestication des céréales, l'amélioration du rendement en grains est le plus vieux problème posé à la recherche agronomique. De grands efforts ont été accomplis dans la sélection des variétés avec une meilleure amélioration de la résistance aux maladies, une nette amélioration à la verse et une précocité accrue

pour échapper aux effets de la sécheresse et des hautes températures en fin de cycle (Olmedo-Arcega *et al.*, 1995).

L'amélioration du rendement en grains est généralement abordée de manière directe ou indirecte. La sélection directe utilise le rendement lui-même qui est mesuré après la maturité de la plante. La sélection indirecte utilise les composantes du rendement et les caractères morpho-physiologiques (Adjabi *et al.*, 2007). En milieux relativement plus stables, les progrès de la sélection directe sont, donc plus évidents, qu'ils ne le sont en milieux variables où les interactions génotype x environnements amenuisent le gain génétique réalisé (Bouzerzour *et al.*, 1995).

Sayar *et al.* (1995) mentionnent que la sélection indirecte sur la base des traits fortement liés avec le rendement, moins influencés par l'environnement et plus héréditaires, est généralement plus efficace que la sélection directe. Selon Ceccarelli *et al.* (1998), la sélection sur la base du rendement en grains n'est efficace que si les conditions du milieu qui ont permis la réalisation d'un rendement en grains donné se répètent de façon régulière.

## **5.2. La sélection pour la stabilité**

La stabilité du rendement est un critère important pour le développement d'une variété. Parmi la multitude de termes employés, les termes de stabilité phénotypique, de stabilité du rendement et d'adaptation ou d'adaptabilité sont le plus souvent utilisés avec des sens parfois différents (Lin *et al.*, 1986 ; Brancourt-Hulmel ; 1997, Annichiarico *et al.* 2002), La sélection adapte les plantes aux conditions d'utilisations (milieu, techniques culturales, utilisation) en accumulant de plus en plus de gènes d'adaptation à différentes conditions environnementales. Ainsi, selon Gallais (2010), les variétés modernes sont plus stables, plus productives et plus homogènes que les anciennes variétés.

L'adaptation au milieu est un objectif de sélection recherché pour un grand nombre d'espèces végétales. Elle est basée, le plus souvent, sur l'analyse du rendement en grains (Brancourt-Hulmel, 2000). L'améliorateur a le choix entre des génotypes présentant une adaptation spécifique à certains milieux spécifiques, ou des génotypes à large adaptation à des conditions de milieux variés (Annichiarico *et al.*, 2002).

L'adaptation spécifique pourra être obtenue pour des stress particuliers, observés, en l'occurrence, dans des milieux particuliers. L'adaptation générale, parfois appelée adaptabilité, est conférée par une adaptation simultanée à un ensemble de contraintes du milieu, telles que le froid, la sécheresse, le manque d'eau, le manque ou l'excès d'azote, les maladies (Annichiarico *et al.*, 2002).

La notion d'adaptation est à replacer dans le contexte des interactions génotype x milieux car des variations d'adaptation se traduisent par des interactions génotype x milieux. Lorsque plusieurs génotypes sont étudiés dans plusieurs milieux, le caractère mesuré est la somme de deux sources de variation dues aux effets moyens du génotype et du milieu, plus l'interaction.

Pour des caractères agronomiques complexes tels que le rendement, l'interaction est rarement de nature additive (Brancourt-Hulmel, 2010 ; Annichiarico *et al.*, 2002). Il faut noter que la sélection pour la stabilité de comportement sera d'autant plus efficace que les facteurs d'adaptation au milieu ou aux conditions de culture auront été identifiés. A ce niveau, la sélection assistée par marqueurs permettra une plus grande efficacité par une identification des génotypes recombinants les plus favorables (Gallais, 2010).

Pour une meilleure efficacité de la sélection, il apparaît que le sélectionneur doit placer les génotypes à tester dans des environnements qui diffèrent pour des caractéristiques connues et si possible mesurables (altitude, type de sol, pluie, gel, température élevée, radiation solaire, localité) croisés à des itinéraires techniques variés (date, densité de semis, fertilisation N, désherbage, phytosanitaire, irrigation). Un tel dispositif permet d'identifier les génotypes à large adaptation qui se montrent relativement peu sensibles à la variation inter environnementale dans le sens le plus large, de ceux qui se montrent plus spécialisés à certaines conditions plus qu'à d'autres (Godfray *et al.*, 2010 ; Prowse et Brook, 2011).

Dans ce contexte, Menad *et al.*, (2011) rapportent que l'adoption d'une stratégie, qui exploite positivement l'interaction sur les sites à haut potentiel de production et l'adaptation générale sur les sites au potentiel relativement plus faible, permet d'améliorer le rendement grain de 6%.

Il en est de même que Asseng *et al.*, (2003) à travers des simulations faisant varier la pluie et les températures saisonnières sur une période de 100 ans (1900 à 2000), montrent que le rendement grain varie de 0.1 à 4 t/ha lors des campagnes peu pluvieuses et 1 à 7 t/ha lors des années pluvieuses. Ceci montre que l'effet de certaines contraintes ne peut être évité ou minimisé parce qu'il est de nature imprévisible.

Nouar (2015) rapporte le cas de deux cultivars nouvellement sélectionnés et qui sont largement adoptés sur les hautes plaines Sétifiennes. Ces cultivars montrent des différences de réponses vis-à-vis des stress abiotiques. Waha montre une sensibilité au nombre de jours dont la température est supérieure à 25°C, alors que Bousselam montre une sensibilité au déficit hydrique. Ceci suggère que lors des campagnes caractérisées par une fin de cycle chaude, c'est Waha qui présente une interaction génotype x environnements significative alors que lors des années

caractérisées par une fin de cycle sec, c'est Bousselam qui présente une interaction significative.

Basford et Cooper (1998) font remarquer que prétendre connaître les explications des causes de la présence de l'interaction est une tâche difficile parce que l'interaction n'est généralement pas répétable ni dans le temps ni dans l'espace. De plus la variation intra environnement est la résultante d'une composante prévisible et d'une composante non prévisible. La pluie et les températures d'un lieu constituent la composante imprévisible alors que la nature du sol d'un lieu, les dates de semis ainsi que l'itinéraire appliqué constituent la composante prévisible (Allard et Bradshaw, 1964).

La composante imprévisible est la plus difficile à gérer en amélioration des plantes et notamment la variation des conditions de croissance (pluie et température) d'une année à l'autre. De plus l'interaction génotype x années représente la plus large contribution à la somme des carrés des écarts de l'interaction, elle est souvent 4 à 5 fois plus importante que l'interaction génotype x localités (Allard et Bradshaw, 1964).

Kadi *et al.*, (2010) analysent l'interaction du rendement de 13 variétés d'orge évaluées au cours cinq campagnes agricoles, par les modèles de la régression conjointe et AMMI. Les résultats indiquent une interaction significative dont 26.8% sont expliqués par la régression conjointe contre 84.7% par le modèle AMMI.

L'adaptation générale était absente parmi les génotypes évalués qui montrent plutôt une adaptation étroite et aucun génotype n'était performant sur l'ensemble des environnements testés, suggérant de pratiquer la sélection pour l'adaptation spécifique. Cependant comme la variation est d'origine temporelle (années), dont imprévisible, la sélection spécifique est peu opérante.

Meziani *et al.*, (2011) analysent l'interaction du rendement de 12 variétés large évaluées au cours d'une seule campagne agricole, dans 6 localités par les modèles de la régression conjointe et l'AMMI. L'analyse AMMI indique que 29.33% de la somme des carrés des écarts des traitements sont dus à l'interaction dont les deux premières composantes absorbent 82.65%.

Le modèle AMMI identifie les géotypes présentant une large adaptation, avec un rendement au-dessus de la grande moyenne, un rendement nominal et une stabilité élevés. Parmi les caractères induisant l'interaction figurant la hauteur de la végétation, la durée de la phase végétative, le nombre d'épis, ainsi que le cumul des pluies hivernales et la pluie du mois de juin (Meziani *et al.*, 2011).

Nouar *et al.*, (2012) analysent l'interaction du rendement grain de 12 variétés de blé dur évaluées dans 5 localités. La régression conjointe se montre moins efficace dans l'explication de l'interaction. L'AMMI, par contre, explique 90.80% de la somme des carrés des écarts de l'interaction et indique que le cultivar Waha présente une large adaptation à tous les sites testés. La sélection pour l'adaptation spécifique apporte un gain de rendement de 10.51% comparativement à la sélection pour l'adaptation générale (Nouar *et al.*, 2012).

Bendjama *et al.*, (2014) conduisent une étude pour analyser l'interaction du rendement grain de 23 variétés de blé dur dans quatre localités au cours de deux années. Les résultats indiquent que le rendement grain varie significativement en fonction des années, des localités et des interactions année x localités, géotype x localités et géotype x localités x années, qui absorbent, respectivement, 0.8, 63.1, 21.0, 5.8 et 3.40% de la somme des carrés des écarts de la source traitement. La régression conjointe et l'AMMI expliquent, respectivement, 30.08% et 83.35% de la somme des carrés des écarts de l'interaction géotype x localités. Les localités testées sont très interactives suggérant deux domaines de recommandations

variétales. Sur la base du rendement nominale, la sélection pour l'adaptation spécifique apporte un gain de 7.87% comparativement à la sélection pour l'adaptation générale.

### **5.3. Sélection assistée par marqueurs**

A l'aide des marqueurs moléculaires le sélectionneur peut enfin porter son regard sur le génome de la plante. Il est désormais possible par sélection assistée de marqueurs moléculaires de sélectionner les lignées portant des gènes d'intérêt économique à partir de leur génotype (Tanksley *et al.*, 1989).

La sélection assistée par marqueurs est une technique permettant d'identifier les caractères génétiques d'intérêts. Selon Gallais (2013), les marqueurs moléculaires permettent de marquer des gènes ou des fragments chromosomiques. Ils peuvent être utilisés pour réunir dans un même génotype le maximum d'allèles ou de segments favorables : on parle alors de sélection assistée de marqueurs.

La sélection assistée par des marqueurs présente des avantages par rapport à la sélection phénotypique. Elle identifie les marqueurs et les QTL portés par les plantes. Ceci est plus intéressant vu que les marqueurs moléculaires sont relativement peu influencés par les fluctuations environnementales. Ils sont aussi indépendants de l'organe mesuré ou analysé ou du stade du développement du sujet concerné (Gallais, 1994).

## **I. Introduction**

L'orge (*Hordeum vulgare L.*) est cultivée, en Algérie, en conditions pluviales sur les hauts plateaux, où des sous des conditions climatiques hautement imprévisibles (Bouzerzour et Dekhili, 1995). L'amélioration de cette culture cible le développement de variétés à haut rendement afin d'exploiter autant que possible le potentiel. Les superficies emblavées avec des variétés améliorées sont encore peu importantes, mais une nette tendance à l'adoption des nouvelles variétés est en train de se mettre en place.

Pour réaliser des progrès en termes de rendement, la sélection de géotypes adaptés et à haut potentiel de rendement est désirable et doit être pratiquée sur plusieurs lieux, à travers le pays, couvrant un large spectre de conditions de croissance. Considérant qu'un potentiel de rendement élevé et la stabilité ne sont mutuellement exclusifs, la sélection est pratiquée en absence et sous stress.

Une telle stratégie permet de cibler, simultanément, selon Basford et Cooper (1998), la tolérance des stress et le potentiel du rendement. Cependant la sélection, dans des conditions de faibles rendements, favorise la stabilité et minimise les risques de sinistre dans une agriculture de subsistance, extensive et à faibles inputs (Ceccarelli *et al.* 1998 ; Bahlouli *et al.* 2005).

Un haut potentiel de rendement et l'adaptation sont difficilement quantifiables, à travers des lieux très différents, en présence de l'interaction géotype x environnements (Yan et Hunt, 2001). La présence d'une interaction géotype x environnements élevée affecte négativement l'efficacité de la sélection, suite au fait que certains cultivars présentent un rendement élevé dans certains lieux, alors que d'autres géotypes performant mieux dans d'autres localités, obligeant le

sélectionneur de se pencher sur l'aspect adaptatif des divers géotypes évalués (Gauch et Zobel, 1997 ; Ebdon et Gauch, 2002 ; Gauch, 2006).

Plusieurs études ont été allouées à l'analyse de l'interaction géotype x environnements, dans un souci d'améliorer les efforts des programmes de sélection et de réduire du nombre des sites nécessaires à la recommandation, avec assez de confiance, des variétés nouvelles à un ensemble d'environnements (Yan *et al.*, 2000; Annichiarico *et al.*, 2002 ; Annichiarico *et al.*, 2006).

Dans ce contexte l'environnement est défini comme étant tous les facteurs d'origine non génétique et qui affectent l'expression du caractère mesuré de la plante. Il intègre tous les facteurs biophysiques qui affectent la croissance et le développement génotypique (Basford et Cooper 1998).

Singh *et al.*, (2006) suggèrent que dans le cas où on discute de l'interaction géotype x environnements, de préciser si l'environnement (E) désigne l'année (Y) ou le lieu dans le sens localité (L) ou la combinaison des deux à la fois (couple Y x L), parce que, du point amélioration, les conséquences de l'interaction géotype x années (G x Y) et celles de l'interaction géotype x localités (G x L) sont très différentes.

En effet, Annichiarico *et al.* (2005) mentionnent que la part G x L de l'interaction G x E peut être prédite, et de ce fait, il est important d'en évaluer l'amplitude, l'importance et la reproductibilité (répétabilité) dans le temps, pour subdiviser la région ciblée en sous-régions qui valorisent les différents types de sélection à pratiquer.

La conséquence d'une telle subdivision, est l'identification des géotypes stables et à haut rendement présentant une adaptation spécifique aux différentes sous-régions ou une large adaptation à toute la région ciblée par le réseaux d'essais multilocaux.

Plusieurs méthodes statistiques sont disponibles, dont entre autres la régression conjointe et le modèle de l'effet moyen additif et l'interaction multiplicative (AMMI), pour analyser et interpréter l'interaction géotype x environnements (Finlay et Wilkinson, 1963 ; Lin *et al.*, 1986 ; Becker et Leon, 1988 ; Zobel *et al.*, 1988 ; Crossa *et al.*, 1990 ; Vargas *et al.*, 1999 ; Yan *et al.*, 2000). L'analyse AMMI est une méthode efficace, qui sépare les effets principaux de l'interaction, présentant ainsi une interprétation intelligente des données soumises à l'analyse. Cette méthode permet d'évaluer les géotypes en fonction de leur performance moyenne et la stabilité par environnement sur l'ensemble des environnements tests (Zobel *et al.*, 1988 ; Crossa *et al.*, 1990 ; Gauch, 2006).

L'objectif de cette recherche est d'évaluer les performances de douze géotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) cultivées dans différentes localités et d'analyser l'amplitude et la nature de l'interaction géotype x localités pour une éventuelle utilisation en sélection.

## **II. Matériel et Méthodes**

### **II. 1. mise en place des essais**

Douze génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.), issus du programme d'amélioration de la Station Expérimentale Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures de Sétif (SEA-ITGC, Sétif), ont été évalués sur six sites, durant la campagne agricole 2005/2006. Les variétés testées sont :

➤ Tichedrett est une souche issue de la sélection généalogique faites à l'intérieure des populations d'orge algériennes (Adjel *et al.*, 2013). Tichedrett est une orge à 6 rangs bien adaptée à l'est des hauts plateaux algériens. Tichedrett est de type demi- hiver, tolérante au froid hivernal et répondant à la vernalisation (Adjel *et al.*, 2013).

➤ Saida<sub>183</sub> est une souche issue de la sélection généalogique faites à l'intérieure des populations d'orge algériennes (Adjel *et al.*, 2013). Saïda est une orge à 6 rangs, très adaptée à l'ouest des hauts plateaux algériens. Saïda est de type printemps, tolérant peu le froid hivernal (Adjel *et al.*, 2013).

➤ Barberousse est une variété de l'INRA France, introduite en 1985 dans le cadre du programme du MAP. Elle est inscrite au catalogue national sous le synonyme de Hamra. C'est une orge à 6 rangs caractérisée par un faible poids de 1000 grains. Elle est sensible à la photopériode et dont la végétation ne devient très active que tardivement comparativement à Saida<sub>183</sub>, Acsad<sub>176</sub> et Tichedrett (Benmahammed *et al.*, 2001).

➤ Fouara est une sélection de l'ITGC Sétif, faites à l'intérieur du matériel provenant de l'Arcada. Le pedigree de Fouara est : Deir alla 106/Strain 205//Gerbel. ICB85. 1376. 0AP. 1AP. 2AP (Menad *et al.*, 2011 ; Adjel *et al.*, 2013). Fouara est une orge à 6 rangs.

- Bahia est une orge à 6 rangs, c'est une sélection de l'Institut Technique des Grandes Cultures, Station Expérimentale Agricole de Sétif (ITGC, SEA- Sétif), provenant du croisement Aths/Lignée 686//Rebelle (Benmahammed *et al.*, 2008).
- Acsad<sub>176</sub> une orge à 6 rangs, c'est une sélection de l'Institut Technique des Grandes Cultures, Station Expérimentale Agricole de Tiaret (ITGC, SEA- Tiaret), provenant du matériel végétal provenant du programme de sélection de l'Acsad.
- Rihane03 est une sélection tunisienne du matériel végétal provenant de l'ICARDA (Chaabane *et al.*, 2009).
- Jaidor est variété sélectionnée par l'INRA France à partir du croisement Rika/Baladi<sub>16</sub>//Robur. C'est orge à 6 rangs, très ressemblante à Saida183, sensible au gel de printemps qu'elle ne peut esquisser suite à sa précocité d'épiaison. Elle est inscrite au catalogue national sous le nom de Dahbia.
- Plaisant est variété sélectionnée par l'INRA France. C'est une orge à 6 rangs.
- Tina et Bégonia sont des orges à 6 rangs, de type demi hiver, très tardives sous les conditions des hauts plateaux de l'est. Variétés d'origine espagnole introduites en 1985 dans le cadre du programme du MAP, elles se caractérisent par un poids de 1000 grains très élevé.

Les sites d'expérimentation (Tableau 1) sont représentés par les stations ITGC du Khroub (KHR, 713 m d'altitude), de Sétif (SET, 1023 m d'alt.), d'Alger-Oued Smar (ALG, 34 m d'alt.), de Sidi Bel Abbes (SBA, 483 m d'alt.) et de Saïda (SAI, 1013 m alt.) et la ferme pilote Sersour, située à 35 km au sud de Sétif-ville (SER, 920 m d'alt.).

Quoique ces sites ne couvrent pas la variabilité de l'ensemble des environnements de sélection potentiellement souhaitables, ils ont été historiquement utilisés pour l'évaluation des essais comparatifs de rendements et sont censés être

représentatifs des principales régions où prédomine la culture d'orge en Algérie (Annichiarico *et al.*, 2005).

A chaque site, l'essai a été installé dans un dispositif en blocs complètement randomisés avec trois répétitions. Les dimensions de la parcelle élémentaire sont de 1.2 m de large sur 10 m de long, avec 0.20 m d'écartement entre rangs. Le semis a été réalisé au cours de la seconde moitié du mois de novembre, à une densité de 250 graines par m<sup>2</sup>.

Juste avant le semis, les essais ont été fertilisés avec 100 kg/ ha de super phosphate à 46%. 100 kg/ha d'urée à 35% ont été apportés en début du stade montaison. Les mauvaises herbes ont été contrôlées chimiquement avec du GranStar [*Methyl Tribenuron*], à raison de 12 g/ha.

**Tableau 1.** Caractéristiques des sites expérimentaux testés

| Site           | Code | Lat.     | Long.   | Alt. (m) | Pluie* (mm) | T°C-Hiv** | T°C-Print** |
|----------------|------|----------|---------|----------|-------------|-----------|-------------|
| Khroub         | KHR  | 36°25' N | 6°6' E  | 713      | 480         | 6.8       | 15.3        |
| Sétif          | SET  | 36°12' N | 5°24' E | 1023     | 417         | 6.2       | 14          |
| Sersour        | SER  | 35°56' N | 5°32' E | 920      | 350         | 5.7       | 13.3        |
| Alger          | ALG  | 36°76' N | 3°16' E | 34       | 650         | 8.7       | 17.2        |
| Sidi Bel Abbes | SBA  | 35°2' N  | 0°3' W  | 483      | 351         | 7.5       | 15.7        |
| Saïda          | SAI  | 34°3' N  | 0°8' W  | 1013     | 595         | 6.4       | 12.9        |

\* Pluie annuelle, \*\* moyenne des périodes de décembre-février et de mars-avril, de la campagne 2005/06.

## II. 2. Notations et analyse des données

Plusieurs caractères ont été mesurés par expérimentation, mais seul le rendement en grains est mesuré, analysé et discuté dans ce qui suit. Le rendement en grains a été mesuré à maturité après la récolte des essais avec une moissonneuse

batteuse. Une analyse de la variance classique a été réalisée avec les données obtenues par site selon un dispositif en blocs complètement randomisés.

Une analyse de la variance combinée du rendement en grains des différents sites a été réalisée, considérant les localités comme des environnements, facteur à effet random et les géotypes comme facteur à effet fixe. Les analyses AMMI et la régression conjointe ont été réalisées en utilisant la procédure «cross site analysis = analyse inter sites» incluse dans le logiciel Irristat 5.0 (2005).

La régression du rendement de chaque variété sur l'indice du milieu (rendement moyen du lieu / moyenne générale) pour chaque environnement a été calculée pour déterminer la pente ou le coefficient de régression (b), la contribution de chaque géotype au carrés moyen des écarts de l'interaction, la déviation de la régression ( $S^2_{di}$ ) et l'ordonnée à l'origine (a).

La stabilité de chaque géotype est approchée par les méthodes qui utilisent le coefficient de régression comme le proposent Finlay et Wilkinson, (1963), la déviation de la régression ( $S^2_{di}$ ) comme le proposent Eberhart et Russel (1966) et la stabilité AMMI (ASV) comme le proposent Purchase *et al.*, (2000) et qui est déduite comme suit :

$$ASV = \left\{ \left[ \frac{SS_{IPCA1}}{SS_{IPCA2}} (GIPCA1) \right]^2 + (GIPCA2)^2 \right\}^{0.5}$$

Où  $SS_{IPCA1} / SS_{IPCA2}$  est le poids à donner à la valeur de l'axe IPCA1 en divisant la somme des carrés des écarts de l'axe IPCA1 par la somme des carrés des écarts de l'axe IPCA2,  $GIPCA1_{score}$  est le score du géotype considéré sur l'axe IPCA1, et  $GIPCA2_{score}$  est le score du même géotype sur l'axe IPCA2.

Le rendement nominal de chaque géotype est estimé par l'effet moyen du géotype additionné du produit entre les scores du géotype et de la localité sur l'axe IPCA1, puis il est visualisé graphiquement en régressant la valeur du rendement nominal sur le score de la localité sur l'axe IPCA1. Ceci est utilisé comme une aide à l'identification des localités qui se partagent les mêmes géotypes à haut rendement.

L'indice de fiabilité (I) (ou de confiance) a été déterminé suivant la procédure décrite par Annichiarico (2002), sur la base de la distribution des moyennes du rendement en grains observées sur les différentes localités. Le plus faible rendement attendu à une probabilité spécifique (le pire des cas) est estimé par:

$$I_i = Y_i \cdot Z_p ,$$

où  $Y_i$  est l'effet moyen du géotype,  $\sigma$  est l'écart type ou la racine carrée de la variance inter localités et  $Z_p$  est la probabilité p, qui est égale à 1.645, considérant que la sélection est faite pour une agriculture de subsistance à faibles inputs.

Pour rendre aisée l'interprétation biologique de l'interaction géotype x localités, les coefficients de corrélation ont été calculés entre les scores des différents géotypes et les covariables géotypiques. Des coefficients de corrélations entre les covariables environnementales et les scores des localités ont été calculés pour identifier les facteurs climatiques les plus influents sur les performances permises par les différentes localités (Ebdon et Gauch, 2002).

### III. Résultats et Discussion

#### III. 1. Analyse de l'interaction géotype x localité (IGL)

L'analyse de la variance du rendement en grains par localité montre un effet géotype significatif. Ceci suggère des capacités géotypiques significativement différentes de rendement en grains entre les variétés évalués (Tableau 2). La moyenne des rendements des 12 géotypes varie de 1.01 t ha<sup>-1</sup>, valeur moyenne du cultivar Jaidor mesurée sur le site SAI, à 6.28 t ha<sup>-1</sup>, rendement moyen du géotype Bahia obtenu sur le site ALG.

Acsad<sub>176</sub>, Fouara, Rahma, et Saïda<sub>183</sub> figurent parmi les géotypes qui présentent un haut rendement en grains dans au moins 3 localités. La différence de classement des géotypes à haut rendement dans les différentes localités est une indication de la présence de l'interaction géotypes x localités.

**Tableau 2.** Moyennes des carrés des écarts de l'analyse de la variance du rendement en grains obtenu par localité, moyenne du rendement en grains par localité et liste des géotypes à haut rendement par site.

| Source de variation                             | Localités |            |                      |         |         |                      |                      |
|---|-----------|------------|----------------------|---------|---------|----------------------|----------------------|
|   | Ddl       | KHR        | SET                  | SER     | ALG     | SBA                  | SAI                  |
| <b>Genotype</b>                                 | 11        | 2.991**    | 0.218**              | 2.380** | 5.619** | 0.296**              | 0.321**              |
| <b>Répétition</b>                               | 2         | 0.275      | 0.118                | 0.162   | 0.267   | 0.011                | 0.025                |
| <b>Erreur</b>                                   | 22        | 0.512      | 0.06                 | 0.113   | 0.315   | 0.037                | 0.03                 |
| <b>CV (%)</b>                                   |           | 16.8       | 11.7                 | 8.7     | 16.4    | 6.5                  | 13.2                 |
| <b>RDT(t ha<sup>-1</sup>)</b>                   |           | 4.253      | 2.091                | 3.866   | 3.386   | 2.99                 | 1.31                 |
| <b>Géotypes à haut RDT par site<sup>§</sup></b> |           | Fouara     | Acsad <sub>176</sub> | Rahma   | Bahia   | Acsad <sub>176</sub> | Acsad <sub>176</sub> |
|   |           | Saida      | Plaisant             | Fouara  |         | Barberousse          | Rahma                |
|   |           | Tichedrett | Rahma                | Saida   |         | Fouara               | Rihane               |
|   |           |            | Tina                 |         |         | Rahma                |                      |
|   |           |            |                      |         |         | Rihane               |                      |
|   |           |            |                      |         |         | Saïda                |                      |
|   |           |            |                      |         |         | Tichedrett           |                      |

\*\* = effet significatif au seuil de 1% de probabilité, § = géotypes dont la moyenne de rendement en grains est située dans la tranche du RDT<sub>max</sub> ó 1ppds5%.

## Chapitre II : Performance et Adaptation des géotypes

L'analyse de la variance combinée du rendement en grains indique une interaction géotype x localités (IGL) hautement significative. Avec 62.94%, l'effet localité se présente comme la source de variation la plus importante, alors que la somme des carrés des écarts de l'IGL n'explique que 29.33% du total des sommes des carrés des écarts dues aux effets localité, géotype et interaction géotype x localités (Tableau 3).

**Tableau 3.** Analyse de la variance combinée du rendement en grains, intégrant la régression conjointe et l'AMMI.

| Source de variation         | Df  | SS     | MS   | F-value | F-test |
|-----------------------------|-----|--------|------|---------|--------|
| Traitements                 | 71  | 351.13 | 4.95 | 24.75   | **     |
| Localités (L)               | 5   | 221.02 | 44.2 | 308.51  | **     |
| Rép (localités)             | 12  | 1.72   | 0.14 | 0.72    | Ns     |
| Géotype (G)                 | 11  | 27.1   | 2.46 | 1.32    | Ns     |
| G x L                       | 55  | 103.01 | 1.87 | 9.37    | **     |
| Régression                  | 11  | 20.07  | 1.82 | 0.96    | Ns     |
| Déviations de la régression | 44  | 82.92  | 1.88 | 9.4     | **     |
| IPCA <sub>1</sub>           | 15  | 62.11  | 4.14 | 20.7    | **     |
| IPCA <sub>2</sub>           | 13  | 22.56  | 1.73 | 8.65    | **     |
| Résiduelle                  | 27  | 18.34  | 0.68 | 3.4     | **     |
| Erreur pondérée             | 132 | 26.37  | 0.2  | --      | --     |
| Totale                      | 215 | 379.23 | 1.76 | --      | --     |

La variation assez large du rendement en grains obtenu sur les différents sites justifie l'utilisation de la régression conjointe et de l'AMMI, pour éventuellement grouper les différentes locations de par la réponse des géotypes évalués et recommander les géotypes adaptés à chaque groupe d'environnements.

Les résultats de l'analyse de la régression conjointe indiquent que la composante linéaire de l'interaction géotype x localités n'explique 19.47% de la somme des carrés des écarts de l'interaction et n'est pas significatif.

Par contre la moyenne des carrés des écarts due à la déviation de la régression est significative et retient 80.53% de la somme des carrés des écarts de l'interaction non expliqués (Tableau 3).

Ces résultats indiquent l'homogénéité des coefficients de régression et suggèrent l'inefficacité de la technique de la régression conjointe dans l'explication de l'interaction géotype x localités indiquée par l'analyse de la variance combinée. La technique de la régression conjointe ne discrimine pas, dans le cas de la présente étude entre la nature d'interaction présente et le bruit de fond généré par les erreurs de mesure du rendement en grains dans les différentes localités, comme le mentionnent Zobel *et al.* (1988).

Les résultats du test t des coefficients de régression indiquent que Fouara se distingue par une pente significativement supérieure à l'unité, alors que Rahma présente un coefficient de régression non significativement différent de zéro. Le reste des variétés présentent des coefficients de régression qui ne sont significativement différent de l'unité. Acsad<sub>176</sub>, Jaidor et Rihane contribuent moins à la somme des carrés des écarts de l'interaction G x L, par contre Bahia contribue le plus (Tableau 4).

**Tableau 4.** Moyennes du rendement en grains (RDT, t ha<sup>-1</sup>), coefficient de régression (b), contribution au carré moyen des écarts de l'interaction géotype x localités (CME<sub>GxL</sub>), carré moyen des écarts de la déviation de la régression (CME<sub>DEV.</sub>) et ordonnée à l'origine (a, t/ha) des 12 variétés d'orge évaluées sur 6 localités.

| Géotype              | RDT  | Pente b            | CME <sub>GxL</sub> | CME <sub>DEV</sub> | A     |
|----------------------|------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| Acsad <sub>176</sub> | 3.36 | 0.885 <sup>b</sup> | 0.14               | 0.16 <sup>ns</sup> | 0.72  |
| Bahia                | 3.30 | 1.084 <sup>b</sup> | 2.43               | 3.03 <sup>**</sup> | 0.07  |
| Barberousse          | 2.84 | 0.877 <sup>b</sup> | 0.31               | 0.37 <sup>ns</sup> | 0.23  |
| Bégonia              | 2.71 | 0.922 <sup>b</sup> | 0.80               | 0.99 <sup>**</sup> | -0.04 |
| Fouara               | 3.71 | 1.700 <sup>c</sup> | 0.77               | 0.20 <sup>ns</sup> | -1.36 |
| Jaidor               | 2.47 | 0.737 <sup>b</sup> | 0.16               | 0.09 <sup>ns</sup> | 0.27  |
| Plaisant             | 2.53 | 0.645 <sup>b</sup> | 0.24               | 0.11 <sup>ns</sup> | 0.61  |
| Rahma                | 2.70 | 0.570 <sup>a</sup> | 0.83               | 0.75 <sup>**</sup> | 1.00  |
| Rihane               | 3.19 | 1.081 <sup>b</sup> | 0.10               | 0.12 <sup>ns</sup> | -0.03 |
| Saïda                | 3.18 | 1.387 <sup>b</sup> | 0.36               | 0.22 <sup>ns</sup> | -0.95 |
| Tichedrett           | 2.91 | 1.143 <sup>b</sup> | 0.48               | 0.57 <sup>*</sup>  | -0.50 |
| Tina                 | 2.88 | 0.966 <sup>b</sup> | 0.25               | 0.31 <sup>ns</sup> | 0.00  |

<sup>a</sup>= pente non significativement différente de zéro; <sup>b</sup>= pente non significativement différente de 1; <sup>c</sup> = pente significativement supérieure à 1; ns, \*,\*\* = composante de la variance non significative et significative au seuil de 5% et 1% probabilité, respectivement.

La moyenne des carrés des écarts de la déviation de la régression, testée par rapport à l'erreur pondérée, indique que Bahia, Bégonia, Rahma et Tichedrett sont instables et présentent une variance  $S^2_{di}$  significative. Par contre Acsad<sub>176</sub>, Barberousse, Fouara, Jaidor, Plaisant, Rihane, Saïda, et Tina présentent une variance  $S^2_{di}$  non significative et donc montrent une plus grande stabilité phénotypique (Tableau 4).

Fouara, avec une pente supérieure à 1 et une variance  $S^2_{di}$  non significative, est un géotype stable et à haut rendement. Il est à recommander, préférentiellement, aux localités à haut potentiel, vu son ordonnée à l'origine négative (Tableau 4).

Acsad<sub>176</sub>, Rihane et Saïda ont un rendement moyen au-dessus de la grande moyenne ou moyenne générale de l'ensemble des localités et géotypes qui est de 2.98 t/ha, une pente égale à l'unité et une variance  $S^2_{di}$  non significative. Ces géotypes présentent une adaptation générale à toutes les localités testées.

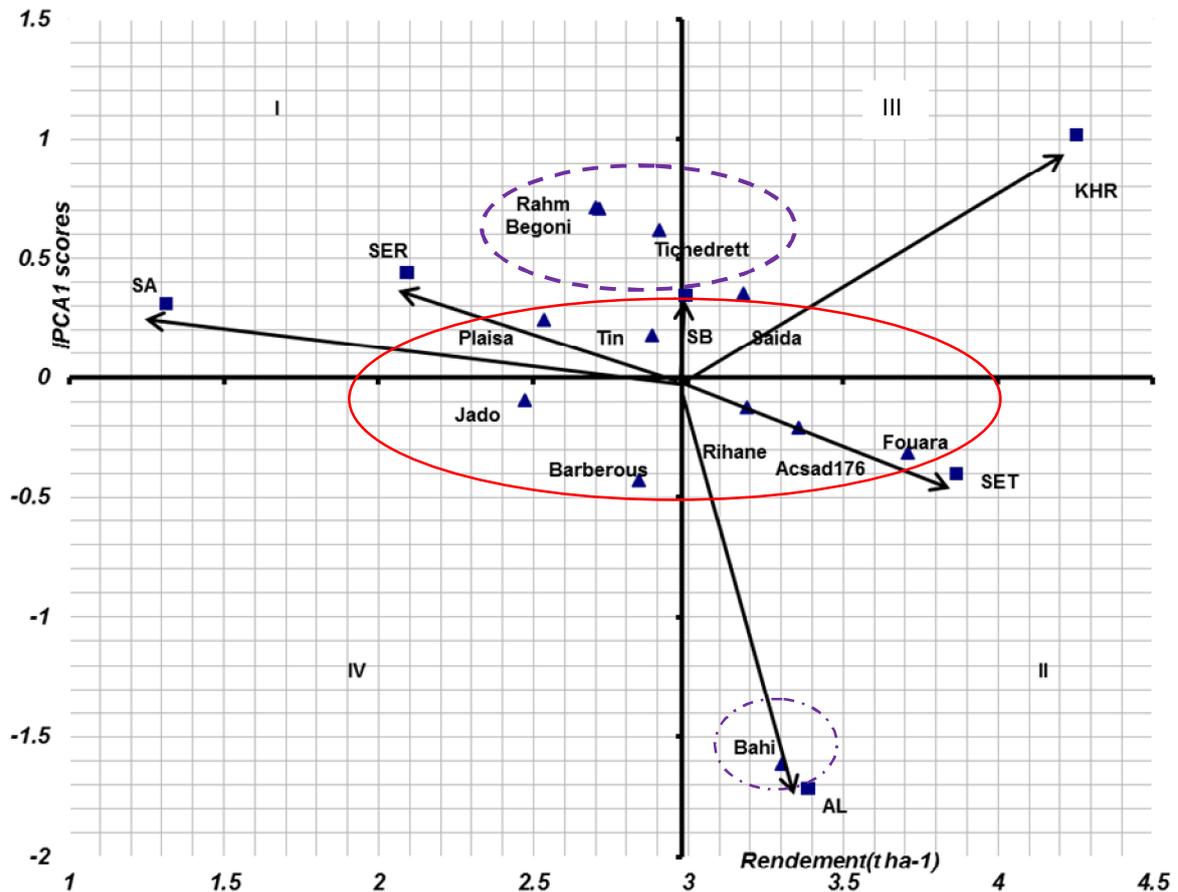
Bahia a un rendement moyen au-dessus de la moyenne générale et une variance  $S^2_{di}$  significative. Ce géotype est instable et exhibe une adaptation plutôt spécifique. Le restant des géotypes ont un rendement moyen inférieure à la moyenne générale et de ce fait ne sont pas désirables pour la sélection (Tableau 4).

Le premier axe de l'APCA du modèle AMMI<sub>2</sub> explique 60.6% de la somme des carrés des écarts de l'interaction G x L, avec seulement 27% des degrés de liberté de l'interaction. Le second axe de l'APCA, avec 24% des degrés de liberté de l'interaction, explique 22.0% de la somme des carrés des écarts de l'interaction.

La somme des moyennes des carrés des écarts de ces deux axes de l'APCA est 4.6 fois plus élevée que la moyenne des carrés des écarts résiduels. Ces deux axes ensemble expliquent 82.65% de la somme des carrés des écarts de l'interaction. Le modèle AMMI apporte 4.3 fois plus d'informations explicatives de l'interaction que le modèle de la régression conjointe. Le modèle AMMI interprète mieux les données collectées que la régression conjointe (Tableau 3).

Ces résultats attirent aussi l'attention sur la nécessité de tenir compte de l'interaction géotype x localités dans les analyses des performances géotypiques sur plusieurs lieux et dans la recommandation des géotypes à des régions spécifiques. Le biplot AMMI<sub>1</sub> est subdivisé en 4 quadrants, les géotypes et les environnements aux faibles performances de rendement sont positionnés dans les quadrants I et IV ; à l'inverse, les géotypes et les environnements aux performances élevées sont positionnés dans les quadrants II et III (Figure 3).

Le biplot indique les performances de chaque génotype et comment ces performances sont réalisées dans les différentes (Figure 3).



**Figure 3.** AMMI<sub>1</sub>-biplot du rendement en grains (t ha<sup>-1</sup>) des 12 génotypes d'orge évalués sur 6 diverses localités.

En moyenne de l'ensemble des localités, Fougara est le plus performant et Jaïdor le moins performant en termes de rendement en grains. Bahia, Tichedrett, Rahma et Bégonia diffèrent en termes d'effet moyen et d'interaction. Ainsi Bahia performe mieux sur le site ALG et moins sur les sites SER et SAI ; alors que c'est l'inverse pour Tichedrett, Bégonia et Rahma (Figure 3).

Sur la base des relations entre les scores des génotypes sur l'axe IPCA1 (GIPCA1) et les performances de rendement en grains, indiquées par le biplot AMMI<sub>1</sub>, l'essentiel des variétés se caractérise par des scores de faibles valeurs suggérant une faible interaction génotype x localités. Cependant Bahia, Tichedrett, Bégonia et Rahma, suite aux valeurs élevées de leurs scores sur l'axe GIPCA1, montrent une large interaction (Figure 3).

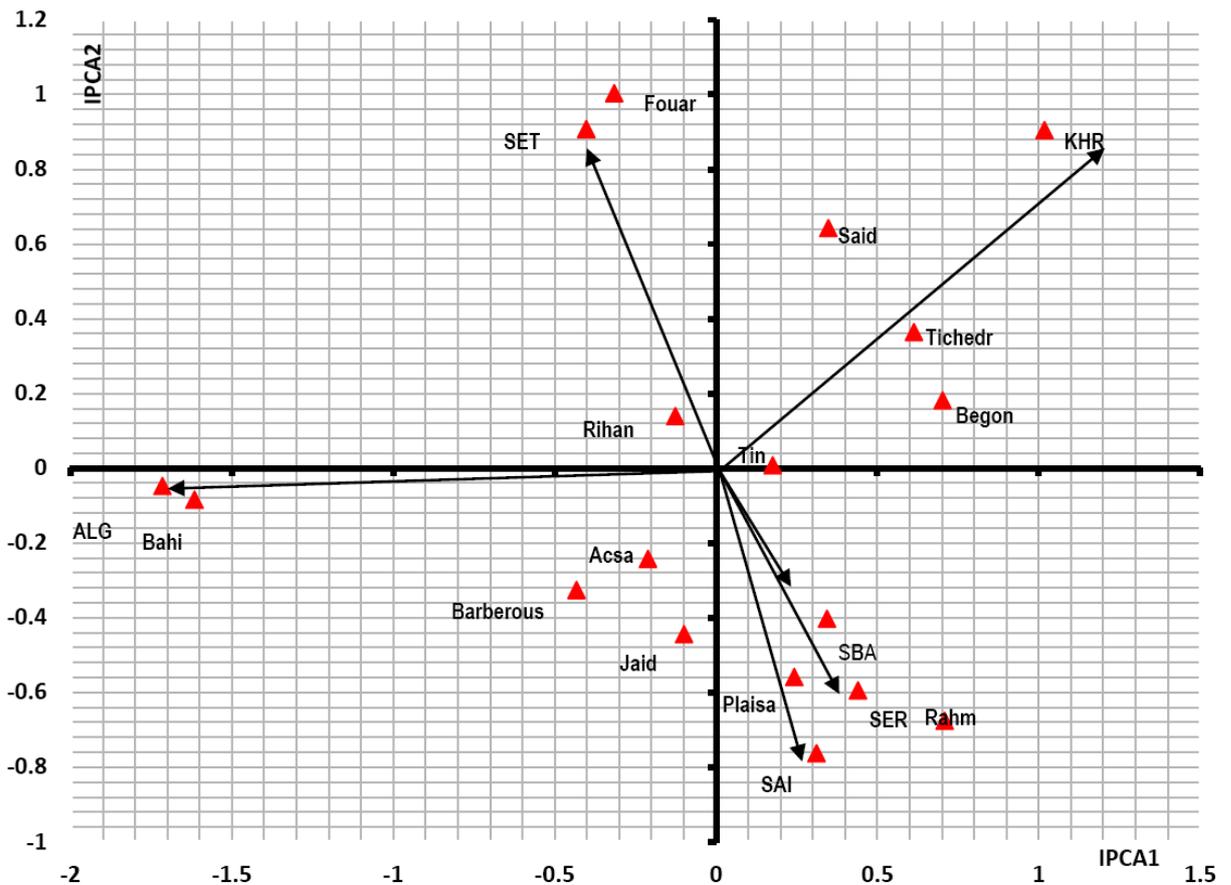
Le biplot AMMI<sub>2</sub> peut être utilisé comme indicateur de l'adaptabilité génotypique à la variation des localités. Les valeurs élevées, positives ou négatives, des scores des génotypes (GIPCA) sur les axes, plus les génotypes concernés présentent une adaptation spécifique aux environnements ou localités, situés dans leur voisinage sur le biplot.

Dans le cas où les scores GIPCA sont proches de la valeur zéro, les génotypes considérés présentent une adaptation plutôt générale à l'ensemble des localités échantillonnées. Des scores des génotypes et des localités, de même signes, indiquent une interaction positive et donc un rendement élevé dans la ou les localités concernées.

Une sous-région est définie comme un groupe de localités qui se partagent, le plus souvent, les mêmes meilleurs génotypes. En sélectionnant les meilleurs génotypes par localité ou par sous-région, on valorise à la fois l'effet génotype et l'interaction génotype x localité. Rihane, Tina et Acsad<sub>176</sub> sont groupées près de l'origine des deux premiers axes du biplot AMMI<sub>2</sub>. Ces génotypes présentent une adaptation générale à l'ensemble des localités échantillonnées.

Rihane et Acsad<sub>176</sub> a un rendement moyen au-dessus de la moyenne générale, alors que Tina a un rendement moyen au-dessous de la moyenne générale de l'ensemble des génotypes et localités évaluées (Figure 4). Acsad<sub>176</sub> présente

une meilleure aptitude au rendement que Rihane. Les autres génotypes montrent une interaction significative. Fouara est spécifiquement adaptée à la localité SET qui s'oppose aux localités SBA, SER et SAI, du point de vue de discrimination entre les différents génotypes.



**Figure 4.** Biplot-AMMI<sub>2</sub> du rendement en grains des 12 génotypes d'orge évalués sur 6 diverses localités.

Ces trois localités en se partageant les mêmes meilleurs génotypes, Rahma, Plaisant et Jaidor, se comportent comme une sous-région homogène (Figure 4). Rahma performe mieux que Plaisant et Jaidor dans ces localités. La localité KHR s'oppose à la localité ALG, avec Saïda, Tichedrett et Bégonia qui sont spécifiquement adaptées au KHR, alors que Bahia et Barberousse montre une

adaptation spécifique à ALG. Toutes les localités exercent des interactions assez fortes comme indiqué par leurs scores sur les deux axes (Figure 4).

### III. 2. Rendement nominal et stabilité des performances

Le rendement nominal aide à apprécier l'adaptabilité d'un génotype donné et à identifier les génotypes qui performant le mieux spécifiquement à certaines localités spécifiques (Figure 5). Bahia montre un rendement nominal élevé dans les localités dont le score est inférieur à -0.400. SET et ALG figurant dans cet écart de scores. Fouara montre un rendement nominal élevé dans les localités dont le score est situé entre >-0.400 et <1.00. Les localités SBA, SAI et SER sont incluses dans cet écart des scores. Pour les scores supérieurs à 1.00, et qui intègrent la localité KHR, le cultivar Saïda présente le meilleur rendement nominal, suite à son adaptation spécifique à cette localité (Figure 5).

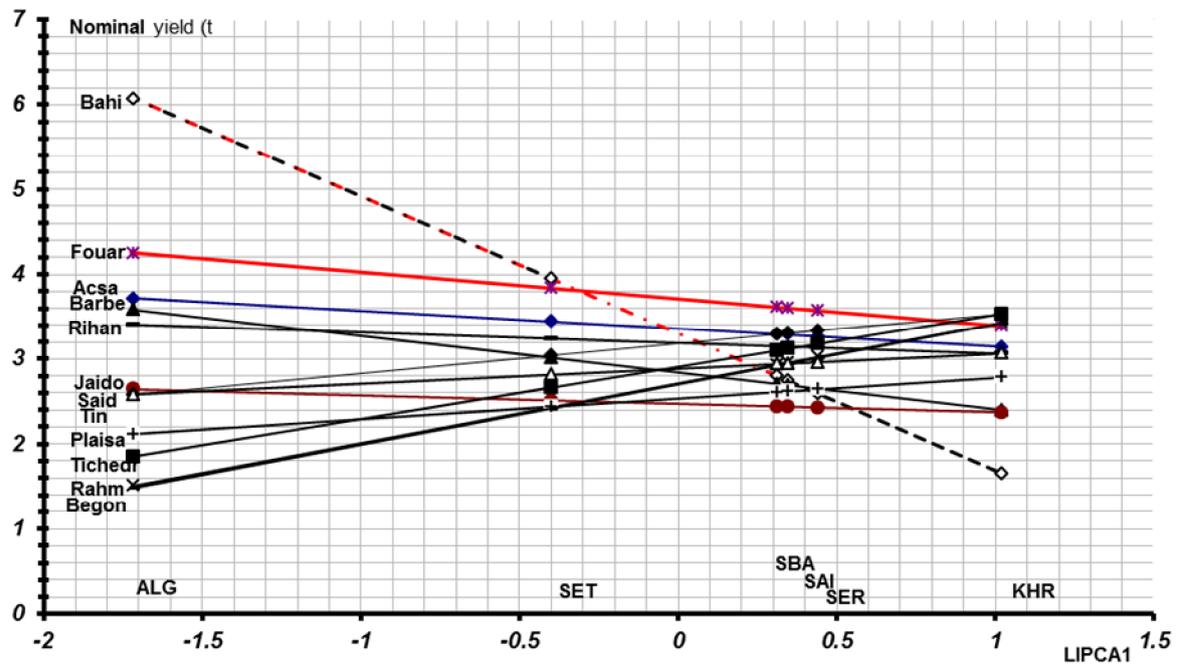


Figure 5. Variation du rendement en grains nominal des 12 génotypes sur les 6 localités testées

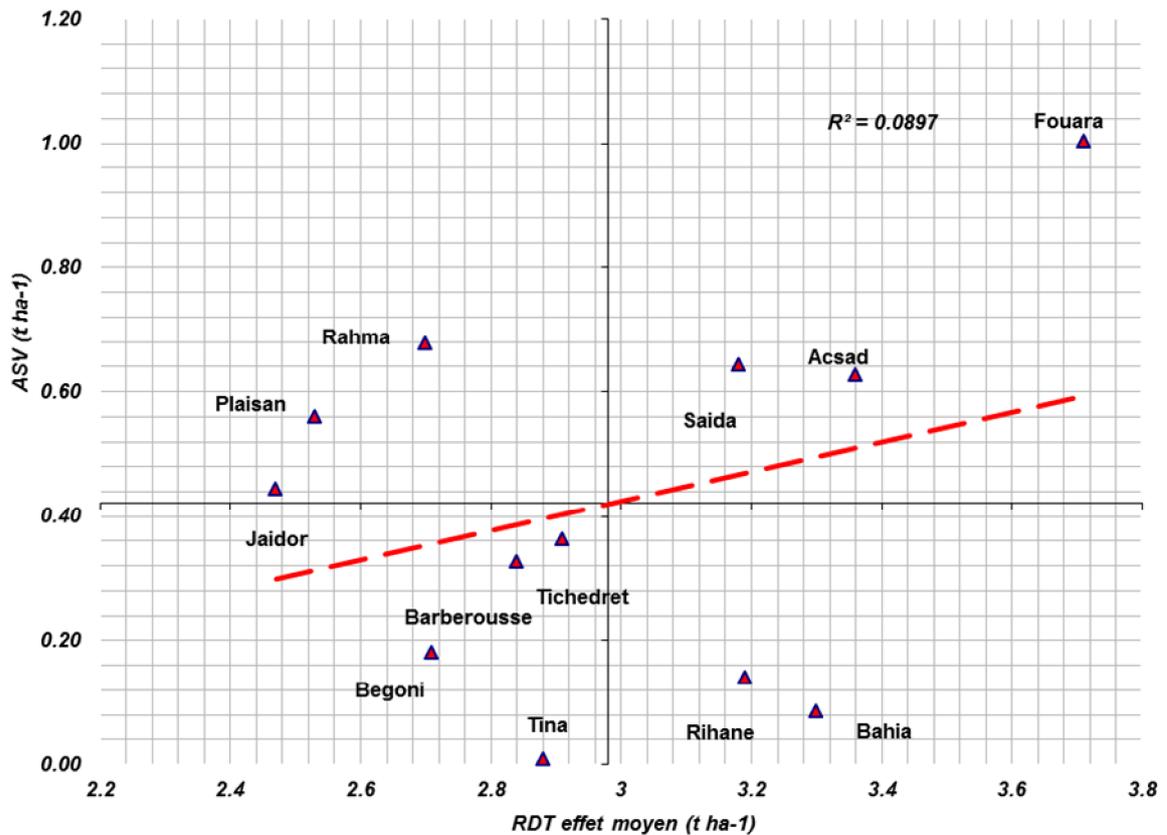
Le rendement nominal de Bahia varie, entre les différentes localités, de 1.66 à 6.07 t ha<sup>01</sup>. C'est un géotype instable, comme le suggère la variation assez large de son rendement nominal. Il montre une adaptation au site ALG. Fouara présente un rendement nominal qui varie entre localités de 3.57 t/h à 4.25 t/h, alors que le rendement nominal de Saida varie de 2.57 t/h à 3.54 t/h. Fouara est plus stable et performe mieux que Saida sur l'ensemble des localités, quoiqu'il tend à devenir moins performant sur le site KH. Ce géotype peut être recommandé à l'ensemble des localités testées et les régions qu'elles représentent (Figure 5).

Sur la base du rendement nominal, les localités testées sont groupées en deux sous régions. L'une est constituée par le site ALG et la seconde est constituée par les 5 autres localités. Bahia, suite à son adaptation au site ALG, peut être utilisé comme témoin de l'adaptation spécifique à cet environnement. Par contre Fouara est à utiliser comme un témoin d'adaptation générale sur l'ensemble des localités, pour évaluation le type d'adaptation des futures sélections.

La stabilité du rendement en grains est une caractéristique variétale très importante, notamment dans les régions qui sont sujettes à des fluctuations de l'environnement de production, comme c'est le cas des régions arides et semi-arides. La stabilité AMMI (ASV) est utilisée lorsque les deux axes contribuent différemment à la somme des carrés des écarts de l'interaction. Ce paramètre est utilisé pour estimer la stabilité du géotype, en se basant sur le modèle AMMI. Les faibles valeurs de cet indice indiquent une stabilité élevée (Purchase *et al.*, 2000).

Les résultats de cette étude indiquent Tina, Bahia, Rihane et Bégonia se distinguent par de faibles valeurs de l'ASV, sur la base desquelles ces géotypes sont classés comme stables. Fouara, Acsad<sub>176</sub>, Saida et Rahma sont instables. Tichedrett, Barberousse, Plaisant et Jaidor ont une stabilité intermédiaire (Figure 6).

La stabilité génotypique évaluée par  $\lambda$ ASV ne concorde pas avec celle mesurée par le coefficient de régression  $b$ , ni par celle mesurée par les scores sur les IPCA<sub>1</sub>, ni par la variance du rendement nominal, ni par celle approchée par la variance  $S^2_{di}$ . En effet, les coefficients de corrélation de rang de  $\lambda$ ASV avec ces diverses statistiques ne sont pas significatifs.

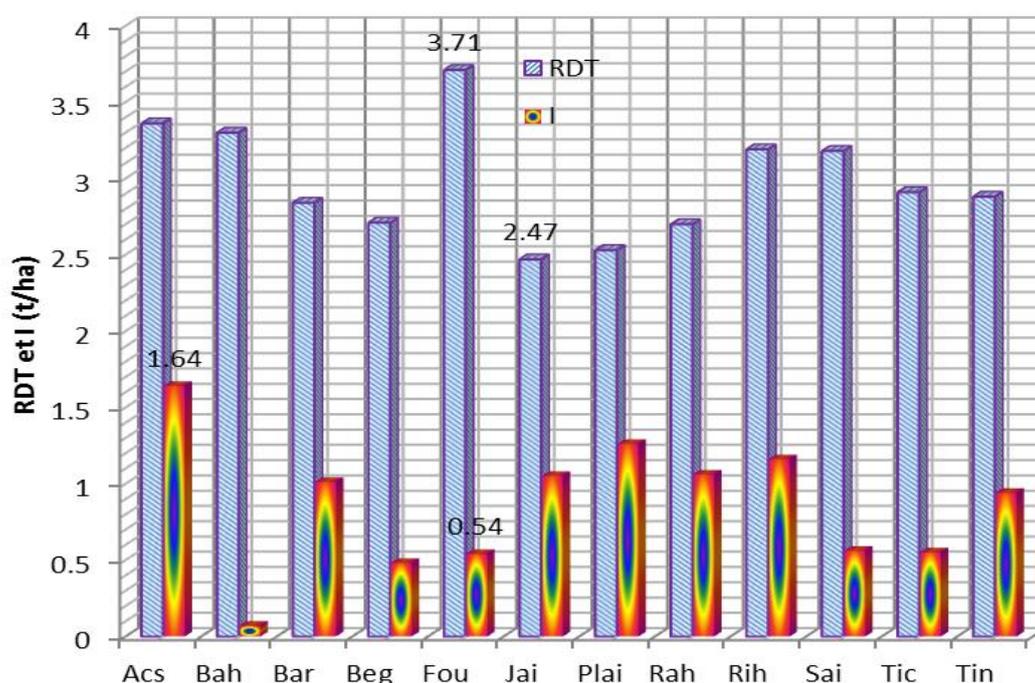


**Figure 6.** Liaisons entre les valeurs de  $\lambda$ ASV et les moyennes de rendement en grains des 12 génotypes d'orge évalués dans 6 localités

Ces coefficients prennent des valeurs de 0.056, -0.025, -0.046 et -0.280 avec  $\lambda$ effet moyen du rendement en grains, la variance du rendement nominal, le coefficient de régression  $b$ , et avec la variance  $S^2_{di}$ , respectivement. Ces corrélations non significatives suggèrent que les génotypes stables de par  $\lambda$ ASV ne sont pas nécessairement les plus performants sur l'ensemble des localités testées (Figure 6). Les résultats montrent aussi qu'aucun des indices de la stabilité n'est assez

satisfaisant en lui-même pour être recommander comme aide efficace à l'identification des génotypes stables, au cours du processus de sélection.

L'indice de reliabilité (I) classe les génotypes évalués selon la moyenne des faibles rendements en grains attendus sur les différentes localités. Le génotype le plus performant est Acsad<sub>176</sub>, suivi par Plaisant et par Rihane. Le génotype moins fiable ou le moins sécurisant est Bahia (Figure 7).



**Figure 7.** Moyennes du rendement en grains et valeurs de l'indice de reliabilité (I) des 12 génotypes d'orge évalués dans 6 diverses localités (Jai= Jaidor, PLai= Plaisant, Rah= Rahma, Beg = Begonia, Bar= Barberousse, Tin= Tina, Tic= Tichedrett, Sai= Saida, Bah= Bahia, Acs= Acsad , Fou= Fouara)

Il est intéressant de noter qu'Acsad176 présente aussi un coefficient de régression, b égale à 1, en plus il est classe comme stable par le modèle AMMI. Sur la base de ces caractéristiques Acsad176 est stable.

Les résultats de la présente étude indiquent que le modèle AMMI est plus efficace dans l'interprétation de l'interaction que la régression conjointe. Ceci concorde avec les résultats de Kadi *et al.*, (2010) qui rapportent une interaction significative dont 26.8% sont expliqués par la régression conjointe contre 84.7% par le modèle AMMI. Nouar *et al.*, (2012) rapportent que la régression conjointe est moins efficace dans l'explication de l'interaction, alors que l'AMMI explique 90.80% de la somme des carrés des écarts de l'interaction. Les résultats de cette étude identifient Fouara comme génotype à large adaptation, Bahia comme génotype à adaptation spécifique et Acsad176 comme génotype stable.

Nouar *et al.*, (2012) rapportent que le cultivar Waha présente une large adaptation à tous les sites testés et la sélection pour l'adaptation spécifique apporte un gain de rendement de 10.51% comparativement à la sélection pour l'adaptation générale. Benjamaa *et al.*, (2014) rapportent aussi que la régression conjointe et l'AMMI expliquent, respectivement, 30.08% et 83.35% de la somme des carrés des écarts de l'interaction génotype x localités.

## **VI. Conclusion**

Dans cette étude, l'analyse de l'interaction génotype x localités est approchée par les méthodes de la régression conjointe et l'AMMI. La régression conjointe est moins efficace dans l'interprétation de l'interaction et n'explique qu'une faible partie. L'analyse AMMI par contre était plus efficace expliquant une grande part de l'interaction. Les génotypes montrant une adaptation spécifique comme Bahia et ceux montrant large adaptation comme Fouara sont identifiés. Acsad176 se distingue par sa stabilité, son rendement au-dessus de la moyenne générale et son indice de réliabilité élevé, donc présentant moins de risque s'il est adopté comme cultivar.

## **I. Introduction**

L'orge est une des espèces végétales les plus anciennement cultivées par l'homme. Une des caractéristiques essentielles de l'orge est son extraordinaire adaptation à des conditions extrêmes. C'est une céréale à paille exploitée surtout pour son grain riche en amidon, de valeur énergétique élevée, elle sert en premier lieu à l'alimentation animale (Ullrich, 2011).

Plus de 50% de la superficie du pays reçoit moins de 250 mm de pluies par an. La faiblesse des précipitations est plus marquée à l'Ouest et au Sud du pays où l'on trouve des régions qui reçoivent moins de 200 mm d'eau (Bouthiba, 1996). L'impact de la sécheresse durant la phase reproductive des céréales a suscité beaucoup d'études. Les sélectionneurs confrontés à ce problème s'appuient principalement, jusqu'à maintenant, sur les performances agronomiques (rendement et composantes de rendement), or il est difficile d'identifier et de caractériser un génotype au travers de l'observation d'un caractère aussi complexe tel que le rendement. Ainsi, la recherche de variétés tolérantes des stress et adaptées à la variabilité climatique qui caractérise le milieu devient un important objectif pour les sélectionneurs (Benmahammed *et al.*, 2003).

La diversité, basée sur les caractères morphologiques et l'information généalogique, a été mise en œuvre dans de nombreux programmes d'amélioration pour créer la variabilité nécessaire à la sélection. En effet le rendement en grain est la résultante de l'interaction entre de nombreux traits tels que le nombre de talles, nombre de grains par épi, poids de 1000 grains, la hauteur des plantes, indice de récolte (Abdellaoui, 2007 ; Ceccarelli *et al.* 2011, Ben Naceur, 2012).

En vue de limiter les fluctuations du rendement liées à la variabilité environnementale, de nombreux chercheurs se sont donc attachés à étudier les caractères phénologiques et morpho-physiologiques, liés au rendement, en conditions de déficit hydrique (Jouve, 1984 ; Turner, 1986 ; Acevedo, 1987 ; Blum, 1988 ; Monneveux, 1991 ; Belhassen et Monneveux, 1995 ; Monneveux et This, 1997).

Dans ce contexte, la recherche vise à sélectionner des lignées à haut potentiel de rendement et à production plus régulière, peu sensibles aux variations climatiques d'un lieu de production à l'autre et d'une année à l'autre (Bahlouli *et al.*, 2005 ; Kadi *et al.*, 2010). Cette recherche passe par l'identification d'une architecture génotypique qui s'harmonise au mieux avec le milieu de production, grâce à un rythme de développement approprié et d'une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau (Richards *et al.*, 2002).

La stabilité du rendement est un critère important pour le développement de cultivars destinés à des milieux à pluviométrie variable (Brancourt-Hulmel *et al.*, 2003). Afin de concilier la performance du rendement et la stabilité, il faut utilisé un matériel végétal adapté, en utilisant les caractères qui sont fortement corrélés avec ces deux caractéristiques (Richards *et al.*, 2002). La sélection multi sites et multi années est plus efficace pour identifier les géotypes performants et stables et qui montrent une large adaptation à la variation environnementale (Kirigwi *et al.*, 2004).

Selon Sinebo *et al.* (2004), les producteurs préfèrent adopter des géotypes qui se distinguent par la régularité et à un haut potentiel de rendement. La sélection de géotypes stables et à haut potentiel de rendement est compliquée par la présence de l'interaction géotype x environnement, par la faible héritabilité du rendement en

grain, et par l'absence de stratégie de sélection pour la résistance aux stress abiotiques (Bouzerzour et Dekhili, 1995 ; Kirigwi *et al.*, 2004).

L'objectif de notre travail est l'évaluation de quinze géotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en se basant sur les caractères phéno-morphologiques et agronomiques dans le but de sélectionner des géotypes plus productifs, adaptés et stables.

## II. Matériel et méthodes

### II. 1. Site expérimental et matériel végétal

Quinze géotypes d'orge, issus du programme d'amélioration de la station de l'ITGC de Sétif, ont été évalués. La liste de ces géotypes est indiquée au tableau avec certaines informations au sujet de l'origine de sélection.

**Tableau 5.** Liste des 15 géotypes d'orge et leurs origines

| Géotypes           | # rangs | Origine                  | Sélection           |
|--------------------|---------|--------------------------|---------------------|
| <b>Acsad 176</b>   | 6       | Acsad (Syrie)            | ITGC Tiaret         |
| <b>Barberousse</b> | 6       | INRA France              | Introduction MADRP* |
| <b>Bégonia</b>     | 6       | ITGC (Algérie)           | Introduction MADRP  |
| <b>El Bahia</b>    | 6       | ITGC (Algérie)           | ITGC Sétif          |
| <b>Express</b>     | 6       | INRA France              | Introduction MADRP  |
| <b>Fouara</b>      | 6       | ITGC (Algérie)           | ITGC Sétif          |
| <b>Jaidor</b>      | 6       | INRA France              | Introduction MADRP  |
| <b>Plaisant</b>    | 6       | INRA France              | Introduction MADRP  |
| <b>Rahma</b>       | 2       | Icarda (Syrie)           | ITGC Sétif          |
| <b>Rihane</b>      | 6       | Icarda (Syrie)           | ITGC Sidi Bel Abbes |
| <b>Saida</b>       | 6       | Variété locale (Algérie) | ITGC Saida          |
| <b>Soufara</b>     | 2       | Icarda (Syrie)           | ITGC Sétif          |
| <b>Tichedrett</b>  | 6       | Variété locale (Algérie) | ITGC Sétif          |
| <b>Tina</b>        | 6       | Espagne                  | Introduction MADRP  |
| <b>Tissa</b>       | 2       | Icarda* (syrie)          | ITGC Khroub         |

\*MADPP: Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche, Icarda: International center of agricultural research in dry areas, Acsad: Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands

Les essais ont été menés durant les campagnes agricoles 2006/07 et 2007/08, à la station expérimentale ITGC d'Oued Smar (Altitude=24 m, latitude = 36°71' Nord, longitude = 3°16' est). Le semis a été réalisé le 03 janvier 2007 pour la campagne agricole 2006/07 et le 15 janvier 2008 pour la campagne 2007/08.

La parcelle élémentaire est constituée de trois rangs de 2.5 m de long avec un espace de 20 cm entre les rangs adjacents. Un dispositif de trois blocs complètement randomisés a été employé.

L'essai a été fertilisé avec 100 kg/ha de super phosphate avant semis. Au stade tallage, un apport de 60 kg/ha d'engrais azoté sous forme d'ammonium sulfate 21%, a été effectué. Le désherbage chimique est réalisé au stade début tallage avec du Granstar 75 à une dose de 15 g/ha.

## **II. 2. Caractères mesurés**

- Le nombre de talles herbacées produites par plante (NT/P) est déterminé au stade montaison à partir d'un échantillon de 10 plantes par parcelles élémentaires.
- La date d'épiaison a été notée en jours calendaires de la date de levée à celle de sortie de 50% des épis par mètre linéaire.
- La hauteur de la plante est mesurée du sol à l'extrémité des épis de la strate moyenne, elle a été déterminée par trois endroits tout le long de la parcelle élémentaire (HT, cm).
- Les longueurs moyennes du col de l'épi (Col, cm), de l'épi (LE, cm), des barbes (LB, cm), du dernier entre nœud (L1EN, cm) et le nombre d'entre nœuds (NEN, cm) sont déterminées à partir d'un échantillon de 10 maître brins par parcelle élémentaire, au stade maturité
- La biomasse aérienne (BIO, g/m<sup>2</sup>), le nombre d'épis (NE/m<sup>2</sup>), le rendement en grains (RDT, g/m<sup>2</sup>), le poids de 1000 grains (PMG, g), sont déterminés à partir d'un bottillon de végétation récolté au stade maturité d'un rang de 1 m de long, par parcelle élémentaire. Le poids de 1000 grains est estimé sur la base du comptage et pesage d'un échantillon de 200 graines par parcelle élémentaire.
- Le poids de la plante est déterminé en pesant le maître brin (n= 10).

- Le nombre de grains par épi (NGE) est déduite par calcul en utilisant les valeurs parcellaires du rendement en grains ( $\text{g/m}^2$ ), du nombre d'épis ( $/\text{m}^2$ ) et du poids de 1000 grains (g) :  $\text{NGE} = 1000\text{RDT}/\text{NE} \times \text{PMG}$
- Le rendement paille est estimée par déduction de la valeur parcellaire du rendement en grains de celle de la biomasse aérienne ( $\text{PLL} = \text{BIO} - \text{RDT}$ ,  $\text{g/m}^2$ ).
- L'indice de récolte (IR, %) est estimée par le ratio du rendement en grains sur la biomasse aérienne ( $\text{HI} = 100\text{RDT}/\text{BIO}$ , %).

## **II. 3. Analyse des données**

Les données recueillies ont fait l'objet d'une analyse de variance par année et combinée pour les deux années. La comparaison des moyennes est effectuée en comparaison avec la plus petite différence significative au seuil de 5%. Les liaisons entre les caractères mesurés, par année, ont été déterminées par les coefficients de corrélation de Pearson. Une typologie variétale a été tentée par une analyse en composantes principales. L'analyse des données a été faite avec les logiciels Genstat (2008) et Statistica version 6.0 (2001).

### **III. Résultats et discussion**

#### **III. 1. Analyse de la variabilité phénotypique**

##### **III. 1. 1. Caractères morphologiques et phénologie**

L'analyse de variance par campagne des caractères morphologiques montre un effet génotype significatif pour la hauteur de la plante, la longueur du dernier entrenœud, la longueur du col de l'épi, la longueur des barbes et la longueur de l'épi aussi bien en première qu'en deuxième année. L'effet génotype de la durée à l'épiaison n'est significatif que pour la première année (Tableau 6). L'hétérogénéité des variances résiduelles par caractère suggère les difficultés d'avoir une plus grande précision de mesure de certains caractères d'une année à l'autre.

L'analyse combinée des deux années montre la prépondérance de l'effet année sur l'expression des caractères mesurés. L'effet année est significatif pour l'ensemble des caractères analysés et absorbe à lui seul une grande proportion de la somme des carrés des écarts de plus de 90% (Tableau 6). Ceci suggère le changement dans l'ordre de classement des géotypes évalués pour un caractère donné.

**Tableau 6.** Moyennes des carrés des écarts de l'analyse de la variance par année et des deux années des variables mesurées des 15 géotypes étudiés

| Source de variation | Ddl | <i>PHT</i> | <i>LEN</i> | <i>COL</i> | <i>LB</i> | <i>LEP</i> | <i>EPIA</i>         |
|---------------------|-----|------------|------------|------------|-----------|------------|---------------------|
| <b>2006/07</b>      |     |            |            |            |           |            |                     |
| <b>Géotype</b>      | 14  | 223.4**    | 68.6**     | 34.0**     | 8.6**     | 6.3**      | 53.8*               |
| <b>Répétition</b>   | 2   | 77.1       | 34.2       | 8.3        | 2.1       | 0.09       | 414.7               |
| <b>Erreur</b>       | 28  | 51.3       | 10.1       | 4.3        | 0.7       | 1.2        | 23.4                |
| <b>2007/08</b>      |     |            |            |            |           |            |                     |
| <b>Géotype</b>      | 14  | 188.0**    | 43.9**     | 19.7**     | 3.7*      | 5.5**      | 160.6 <sup>ns</sup> |
| <b>Répétition</b>   | 2   | 6.4        | 0.03       | 2.5        | 0.9       | 0.4        | 168.2               |
| <b>Erreur</b>       | 28  | 2.9        | 1          | 0.4        | 1.2       | 0.1        | 236.7               |
| <b>Combinée</b>     |     |            |            |            |           |            |                     |
| <b>Année (A)</b>    | 1   | 29299.1**  | 2253.7**   | 12.0*      | 21.1**    | 34.4**     | 6035.2**            |
| <b>Géotype (G)</b>  | 14  | 308.0**    | 93.8**     | 13.5**     | 10.4**    | 9.9***     | 89.9 <sup>ns</sup>  |
| <b>G x A</b>        | 14  | 103.4**    | 18.7**     | 40.2**     | 1.9*      | 1.9*       | 124.5 <sup>ns</sup> |
| <b>Répétition</b>   | 2   | 44.9       | 16.4       | 7.9        | 1.4       | 0.05       | 110.7               |
| <b>Erreur</b>       | 58  | 27.5       | 6.0        | 2.4        | 1.0       | 0.7        | 141.9               |

### III. 1. 1. 1. Hauteur de la végétation

Au cours de la campagne 2006/07, la hauteur de la végétation présente une moyenne globale de 87.5 cm. Elle varie de 63.0 cm, hauteur de Bégonia à 96.2 cm qui est la hauteur de Rahma, soit une amplitude de 33.2 cm, qui est indicatrice de la grande variabilité génotypique pour ce caractère, à l'intérieur de l'échantillon des variétés évaluées (Tableau 7).

### *Chapitre III : Evaluation Agronomique des géotypes*

**Tableau 7.** Moyennes de la campagne 2006/07, 2007/08 et déviations entre les moyennes des deux campagnes, moyennes globales, valeurs minimale, maximale, amplitude et la plus petite différence significative des variables mesurées des 15 géotypes étudiés

| Géotype            | PHT   |       |      | Long entrenò ud |       |      | Long col |       |      | Long barbes |       |      | Long épi |       |      | Précocité |       |      |
|--------------------|-------|-------|------|-----------------|-------|------|----------|-------|------|-------------|-------|------|----------|-------|------|-----------|-------|------|
|                    | 06/07 | 07/08 | Dév  | 06/07           | 07/08 | Dév  | 06/07    | 07/08 | Dév  | 06/07       | 07/08 | Dév  | 06/07    | 07/08 | Dév  | 06/07     | 07/08 | Dév  |
| Acs                | 91.3  | 53.65 | 37.7 | 33.8            | 22.25 | 11.5 | 12.0     | 4.9   | 7.1  | 9.8         | 11.1  | -1.3 | 7.6      | 5.9   | 1.7  | 110.8     | 94.0  | 16.8 |
| Bar                | 86.1  | 56.49 | 29.6 | 23.6            | 20.58 | 3.0  | 3.3      | 7.2   | -3.9 | 11.4        | 12.0  | -0.6 | 7.3      | 6.7   | 0.4  | 105.0     | 101.7 | 3.3  |
| Beg                | 63.0  | 41.48 | 21.5 | 22.3            | 14.79 | 7.5  | 3.5      | 7.2   | -3.7 | 10.1        | 12.3  | -2.2 | 8.9      | 5.8   | 3.1  | 120.7     | 92.7  | 28.0 |
| Bah                | 94.6  | 48.84 | 45.8 | 21.9            | 15.66 | 6.2  | 2.2      | 6.3   | -4.1 | 12.8        | 12.4  | 0.4  | 8.9      | 6.7   | 2.2  | 113.7     | 92.7  | 21.0 |
| Exp                | 92.4  | 51.01 | 41.4 | 29.3            | 15.14 | 14.2 | 8.3      | 5.9   | 2.4  | 11.1        | 12.5  | -1.4 | 7.1      | 6.9   | 0.2  | 107.8     | 96.3  | 11.5 |
| Fou                | 75.7  | 37.38 | 38.3 | 22.9            | 13.23 | 9.7  | 3.5      | 11.6  | -8.1 | 15.1        | 13.9  | 1.2  | 6.8      | 7.2   | -0.4 | 113.3     | 102.0 | 11.3 |
| Jai                | 88.4  | 61.44 | 27.0 | 20.8            | 11.19 | 9.6  | 4.5      | 8.2   | -3.7 | 10.7        | 12.1  | -1.4 | 10.0     | 7.1   | 2.9  | 109.0     | 98.0  | 11.0 |
| Plai               | 87.8  | 50.80 | 37.0 | 33.3            | 16.23 | 17.1 | 10.0     | 4.6   | 5.4  | 13.3        | 12.4  | 0.9  | 6.8      | 6.7   | 0.1  | 111.3     | 97.7  | 13.6 |
| Rah                | 96.2  | 44.03 | 52.2 | 22.3            | 10.51 | 11.8 | 2.4      | 7.9   | -5.5 | 9.3         | 9.7   | -0.4 | 10.9     | 9.9   | 1.0  | 117.6     | 98.3  | 19.3 |
| Rih                | 94.3  | 58.82 | 35.5 | 31.9            | 20.73 | 11.2 | 10.2     | 2.9   | 7.3  | 11.4        | 12.0  | -0.6 | 6.9      | 4.9   | 2.0  | 111.3     | 105.0 | 6.3  |
| Sai                | 92.1  | 68.80 | 23.3 | 28.8            | 17.64 | 11.2 | 6.9      | 6.6   | 0.3  | 10.8        | 13.2  | -2.4 | 7.5      | 6.6   | 0.9  | 107.0     | 88.0  | 19.0 |
| Sou                | 84.6  | 46.68 | 38.0 | 22.5            | 11.17 | 11.3 | 3.6      | 12.4  | -8.8 | 9.5         | 10.7  | -1.2 | 10.1     | 10.0  | 0.1  | 114.8     | 74.0  | 40.8 |
| Tic                | 94.7  | 50.35 | 44.3 | 32.9            | 21.44 | 11.5 | 11.1     | 7.6   | 3.5  | 13.0        | 13.8  | -0.8 | 7.2      | 6.5   | 0.7  | 109.0     | 98.7  | 10.3 |
| Tin                | 84.7  | 49.03 | 35.4 | 23.1            | 18.22 | 4.9  | 4.3      | 3.9   | 0.4  | 10.3        | 12.8  | -2.5 | 7.9      | 7.3   | 0.6  | 116.0     | 97.7  | 18.3 |
| Tis                | 87.0  | 52.98 | 34.1 | 26.6            | 17.05 | 9.5  | 7.2      | 6.5   | 0.7  | 9.2         | 11.4  | -2.2 | 10.3     | 7.4   | 2.9  | 113.7     | 98.3  | 15.4 |
| Moyenne            | 87.5  | 51.4  | 36.1 | 26.4            | 16.4  | 10.0 | 6.2      | 6.9   | -0.7 | 11.2        | 12.2  | -1.0 | 8.3      | 7.1   | 1.2  | 112.1     | 95.7  | 16.4 |
| Mini               | 63.0  | 37.38 | 21.5 | 20.8            | 10.51 | 3.0  | 2.2      | 2.9   | -8.8 | 9.2         | 9.7   | -2.5 | 6.8      | 4/9   | -0.4 | 105.0     | 74.0  | 3.3  |
| Max                | 96.2  | 68.80 | 52.2 | 33.8            | 22.25 | 17.1 | 12.0     | 12.4  | 7.3  | 15.1        | 13.9  | 1.2  | 10.9     | 10.0  | 3.1  | 120.7     | 105.0 | 40.8 |
| Ampli              | 33.2  |       |      | 13.0            |       |      | 9.7      |       |      | 5.9         |       |      | 4.1      |       |      | 15.7      |       |      |
| Ppds <sub>5%</sub> | 11.7  |       | 16.6 | 5.2             |       | 2.8  | 3.4      |       | 1.8  | 1.4         |       | 1.2  | 1.8      |       | 1    | 7.9       |       | 13.8 |

Dév. = déviation =  $X_{\text{bar}} 2007 - X_{\text{bar}} 2008$ , Jai= Jaidor, Plai= Plaisant, Rah= Rahma, Beg = Bégonia, Bar= Barberousse, Tin= Tina, Tic= Tichedrett, Sai= Saida, Bah= Bahia, Acs= Acsad<sub>176</sub>, Fou= Fouara.

Suite aux effets indirects de ce caractère sur les autres caractères qui sont plus d'intérêts, comme la biomasse aérienne et le rendement et ses composantes, il serait plus judicieux de réduire de cette variabilité intra variétale, pour ne garder que les géotypes dont la hauteur est compatible avec l'expression optimale des caractères d'intérêts dans le milieu ciblé. Ceci semble difficile suite à la variation de ce

caractère d'une année à l'autre, variation qui est aussi influencé par la nature du géotype considéré.

En effet, l'analyse des écarts de la hauteur entre les deux campagnes d'études, montre que la seconde campagne enregistre une réduction significative de la hauteur de la végétation, avec une moyenne 36.1 cm, et qui varie, selon le géotype, de 21.5 cm chez Bégonia à 52.2 cm chez Rahma (Tableau 7). Ces réductions rendent difficile l'appréciation de la hauteur moyenne à cibler pour un milieu donné. Ces variations suggèrent le peu de ressemblance entre années pour cette caractéristique. En effet le coefficient de corrélation de la hauteur entre les deux campagnes n'est pas significatif et prend une valeur de 0.497<sup>ns</sup>.

La création de la variabilité phénotypique pour la hauteur de la végétation et la sélection de géotype dont la hauteur varie le moins d'un milieu à l'autre est donc désirable. La variation inter campagnes de la hauteur, observée dans cette étude, s'explique par les précipitations totalisées, entre les mois de janvier et mai, durant la première année qui sont supérieures à celles de la deuxième année (628.2 mm vs 617.2 mm pour 2006/07 et 2000/08, respectivement). Ceci a permis un bon développement de la plante.

Selon Benmahammed (2005), la hauteur de la paille intervient le plus souvent par ses stocks de substrats qui sont utilisés pour la finition du grain, lorsque les conditions climatiques prévalant au cours du remplissage font défauts. La hauteur contribue positivement à l'obtention d'une biomasse minimale pour obtenir un rendement acceptable pour le milieu de production.

Ehdaie *et al.* (2006) indiquent que l'augmentation de la hauteur, qui intervient après l'épiaison, vient de la croissance du dernier entre-nœud et du

pédoncule de l'épi. Une paille relativement haute conférerait à la plante, en cas de limitation sévère de l'alimentation hydrique, une meilleure capacité à tolérer la sécheresse (Blum, 1988). Rahal-Bouziane et Abdelguerfi (2012) signalent que la distinction entre les cultivars d'orges traditionnelles est en fait marquée beaucoup plus par rapport à la Hauteur de la plante dont les valeurs moyennes restent distinctives sur les trois années d'étude.

Selon Hargas (2007), la hauteur du chaume mesure la capacité de la variété à produire une quantité de matière sèche acceptable sous stress sévère. La hauteur du chaume est une caractéristique liée à l'adaptation. En conditions de stress hydrique, selon Ben Abdellah et Ben Salem, (1993), une paille haute est plus apte à stocker plus de réserves glucidiques, qui sont susceptibles d'être transférées vers le grain, au cours de la phase de remplissage. Nachit et Jarrah (1986) affirment que la stabilité de l'expression de la hauteur est importante en condition de sécheresse.

### **III. 1. 1. 2. Longueur du dernier entrenòud**

La moyenne générale de la longueur du dernier entrenòud de la campagne 2006/07, est de 26.4 cm, avec une valeur minimale de 20.8 cm, mesurée chez le génotype Jaidor, et une valeur maximale de 33.8 cm, enregistrée chez Acsa<sub>176</sub>, soit une amplitude 13.0 cm (Tableau 7). Comme observé pour la hauteur de la plante, la campagne 2006/07 a été plus favorable au développement du dernier entrenòud qui a présenté un avantage moyen de 10.0 cm, dont la valeur minimale est de 3.0 cm et la valeur maximale est de 17.1 cm (Tableau 7).

Les génotypes dont la longueur du dernier entrenòud est variable, entre les deux campagnes sont Acsa<sub>176</sub>, Express, Plaisant, Rahma, Rihane, Saida, Soufara et Tichedrett. Ils présentent une déviation inter campagnes de plus de 11 cm. Les génotypes dont la longueur du dernier entrenòud est relativement stable sont

Barberousse et Tina, qui présentent une déviation de 3.0 et 4.9 cm contre une ppds5% de 2.8 cm (Tableau 7). Le coefficient de corrélation de la longueur du dernier entrenòud entre les deux campagnes (0.681\*) est juste significatif au seuil de 5% de probabilité, suggérant qu'une proportion appréciable des génotypes évalués maintient le même classement au cours des deux campagnes.

Ces résultats indiquent la présence de la variabilité phénotypique pour la stabilité de la longueur du dernier entrenòud et suggèrent qu'il serait judicieux d'étudier la reproductibilité de cette caractéristique sur plusieurs lieux et d'analyser les effets sur les caractères d'intérêts.

Dans ce contexte Belkharchouche (2015) rapporte que la quantité totale des assimilats remobilisée des entrenòuds représente 26.6 % à 60.9% du rendement grain/épi. Pour maximiser l'appel des assimilats vers le grain et ainsi développer des génotypes à haut potentiel de rendement et adaptés aux conditions sèches méditerranéennes, cette auteure propose que la sélection soit faite, entre autre, sur la base la longueur du dernier entrenòud.

### **III. 1. 1. 3. Longueur du col, des barbes et de l'épi**

Les moyennes de la longueur du col, des barbes et de l'épi pour l'année 2006/ 07 sont, respectivement, de 6.2, 11.2 et 8.3 cm (Tableau 7). Les génotypes présentant les valeurs les plus élevées pour ces caractères sont Acsad<sub>176</sub> avec 12.0 cm pour le col de l'épi, Fouara avec 15.1 cm pour les barbes et Rahma pour la longueur de l'épi avec 10.96 cm (Tableau 7). Les valeurs minimales pour ces traits sont enregistrées par Bahia, pour la longueur du col, avec 2.2 cm ; Tissa, pour la longueur des barbes avec 9.2 cm et Plaisant pour la longueur de l'épi, avec 6.8 cm (Tableau 7).

L'analyse des écarts inter campagnes pris par la longueur du col et des barbes montre des réponses très contrastées. En effet ces variables s'expriment mieux au cours de la première campagne chez certaines variétés. Ceci est le cas de *Acsad*<sub>176</sub> pour la longueur du col de l'épi où l'écart inter campagnes est positif et de 7.1 cm. Pour la longueur des barbes, c'est le cas du cultivar Fouara (Tableau 7). Alors que chez d'autres géotypes, ces variables s'expriment mieux lors de la seconde campagne. Ceci est le cas du cultivar Barberousse qui présente un écart inter campagnes négatif de -3.9 cm, pour la longueur du col de l'épi et pour la longueur des barbes c'est Tina qui enregistre un écart négatif de -2.5cm (Tableau 7).

Les géotypes qui présentent le moins de variation entre les deux campagnes pour ces variables sont Barberousse qui présente des déviations non significatives pour la longueur des barbes et de l'épi et Saida et Tina qui présentent des écarts non significatifs pour la longueur du col et de l'épi (Tableau 7). Les déviations de la longueur des barbes de Bahia, de Rahma et de Rihane ne sont pas significatives, ainsi que celles de la longueur de l'épi de *Express*, Soufara et Tichedrett ne le sont pas (Tableau 7).

Les résultats de la présente étude indiquent des réponses très variées des différentes variétés étudiées, liées à la variabilité d'origine génotypique qui peut être mise à profit en sélection pour identifier les géotypes stables pour ces caractéristiques et leurs effets sur les caractères d'intérêts.

Dans ce contexte Belkharchouche (2015) mentionne que, pour maximiser l'appel des assimilats vers le grain et ainsi développer des géotypes à haut potentiel de rendement et adaptés aux conditions sèches méditerranéennes, la sélection soit faite sur la base de la taille de l'épi, la longueur et la densité des

barbes, les nombres de grains par m<sup>2</sup> et par épi, le poids de 1000 grains, le poids spécifique, et la longueur du col de l'épi.

### **III. 1. 1. 4. Précocité au stade épiaison**

La durée de la phase végétative, de la première campagne, présente une moyenne de 112.1 jours et une amplitude 15.7 jours entre le géotype le plus précoce qui est Barberousse (105.0 jours) et Bégonia qui est la plus tardive, avec 120.7 jours (Tableau 7). La campagne 2006/07 a été plus favorable à une durée de la phase végétative plus longue, avec un avantage moyen de 16.4 jours.

L'analyse des écarts entre les deux campagnes indique des réponses à l'environnement très variées. Ainsi Barberousse fait varier sa durée à l'épiaison uniquement de 3.3 jours, Rihane accuse une déviation de 6.3 jours ; alors que des géotypes comme Bégonia et Soufara enregistrent des écarts de 28.0 et 40.8 jours, respectivement (Tableau 7). Ces résultats indiquent la présence de la variabilité de réponses des géotypes à la variation du milieu.

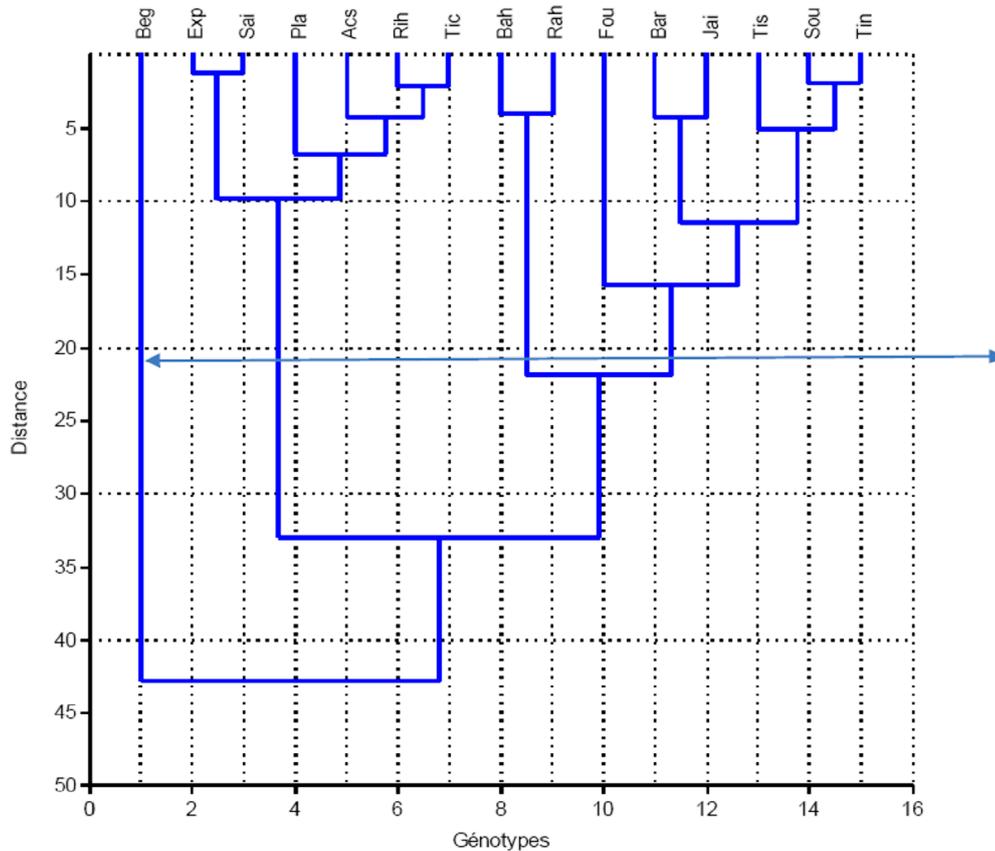
La phénologie intervient dans l'adaptation parce qu'elle aide à un meilleur ajustement du cycle de développement de la plante pour l'assortir au climat de l'environnement de production. Selon Lakew *et al.* (1995), la variation de la date d'épiaison peut être associée à la variation agro-climatique.

Zarkouna et Daaloul (1992) indiquent que la précocité d'épiaison est importante pour la détermination d'un bon rendement en grains. Oosterom et Acevedo (1971) rapportent que l'époque d'épiaison peut être un important mécanisme pour réduire l'échec d'une culture, où le rendement en grains est limité par les gelées tardives et le déficit hydrique terminal.

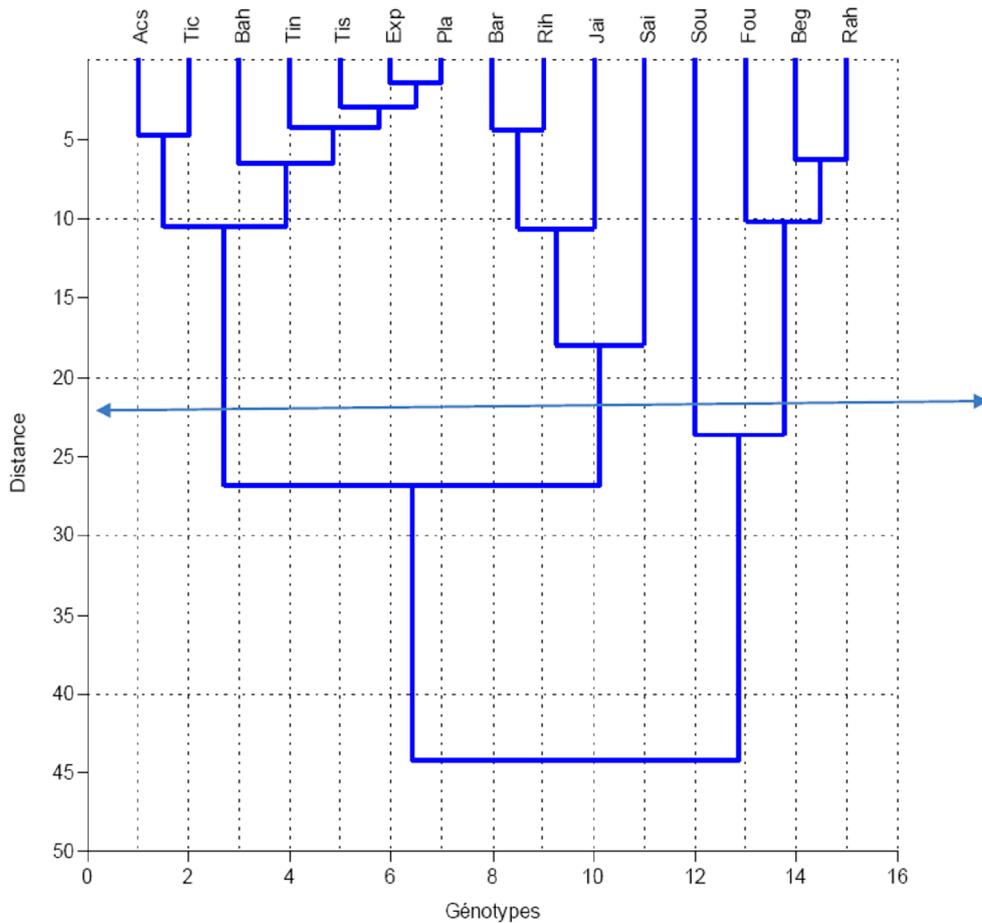
Le groupage des génotypes évalués, sur la base des variables ci-dessus analysées et discutées, indique des groupages différents selon la campagne analysée. Ainsi en 2006/07, Bégonia se singularise par la formation d'un seul groupe à seul (Figure 8), alors qu'en 2007/08 c'est Soufara qui forme un groupe (Figure 9). Les génotypes qui se maintiennent dans le même groupe et donc se ressemblent plus ou moins, sont Acsad<sub>176</sub>, Tichedrett, Express et Plaisant (G2 de 2006/07 et G1 de 2007/08, figures 8 et 9).

Barberousse et Jaidor se maintiennent dans le même groupe au cours des deux années (G4 de 2006/07 et G2 de 2007/08, figures 8 et 9). Les autres génotypes changent de groupe selon les années ce qui suggère des déviations importantes dans les valeurs moyennes prises par les caractères utilisés pour le groupage, chez les génotypes considérés.

Ainsi Tina et Tissa se groupent avec Acsad<sub>176</sub>, Tichedrett, Express et Plaisant en 2007/08 et avec Barberousse et Jaidor en 2006/07. Il en est de même pour Rihane et Saida qui se groupent avec Acsad<sub>176</sub>, Tichedrett, Express et Plaisant en 2006/07 et avec Barberousse et Jaidor en 2007/08 (Figures 8 et 9).



**Figure 8.** Classement des variétés étudiées sur la base du degré de ressemblance pour les longueurs du dernier entrenœud, des barbes, du col de lœpi, de lœpi et de la durée de la phase végétative (Jai= Jaidor, Plai= Plaisant, Rah= Rahma, Beg = Bégonia, Bar= Barberousse, Tin= Tina, Tic= Tichedrett, Sai= Saida, Bah= Bahia, Acs= Acsad<sub>176</sub> , Fou= Fouara)



**Figure 9.** Classement des variétés étudiées sur la base du degré de ressemblance pour les longueurs du dernier entrenœud, des barbes, du col de l'épi, de l'épi et de la durée de la phase végétative (Jai= Jaidor, Plai= Plaisant, Rah= Rahma, Beg = Bégonia, Bar= Barberousse, Tin= Tina, Tic= Tichedrett, Sai= Saida, Bah= Bahia, Acs= Acsad<sub>176</sub>, Fou= Fouara).

Le groupage effectué sur la base des données de la campagne 2006/07 indique que les groupes formés se différencient essentiellement pour la hauteur de la végétation qui est plus importante de 8, 15.2 et 15.4% chez les groupes G1 (Acsad<sub>176</sub>, Tichedrett, Bahia, Tina, Tissa, Express et Plaisant), G2 (Barberousse, Rihane, Saida, Jaidor) et G3 (Soufara) relativement à la hauteur moyenne du groupe 4 (Bégonia, Fouara, Rahma) qui est de 78.3 cm. Les différences pour la longueur du dernier entrenœud est de 0.0, 16.8 et 27.6% chez les groupes G1, G2 et G3, relativement à la longueur moyenne du dernier entrenœud du groupe 4 qui est de 22.5 cm.

Les différences pour la longueur du col de lœpi sont 14.3, 97.6 et 149.5% chez les groupes G1, G2 et G3, relativement à la longueur moyenne du col de lœpi du groupe 4 qui est de 3.2 cm. Les différences pour la longueur des barbes sont -16.9, -3.7 et -1.0% chez les groupes G1, G2 et G3, relativement à la longueur moyenne des barbes du groupe 4 qui est de 11.5 cm. Les différences pour la longueur de lœpi sont 14.0, -10.8 et -10.1% chez les groupes G1, G2 et G3, relativement à la longueur moyenne de lœpi du groupe 4 qui est de 8.9 cm. Les différences pour la durée de la phase végétative sont -2.0, -7.6 et -4.6% chez les groupes G1, G2 et G3, relativement à la durée moyenne de la phase végétative du groupe 4 qui est de 117.2 jours (Tableau 8).

**Tableau 8.** Valeurs des écarts [ $100*(X_{Gi}-X_{G4})/X_{G4}$ ] entre les moyennes des six variables morphologiques des groupes G1, G2 et G3 relativement aux valeurs moyennes du groupe 4.

|                    | <b>PHT</b> | <b>LEN</b> | <b>COL</b> | <b>LB</b> | <b>LE</b> | <b>Précocité</b> |
|--------------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|------------------|
| <b>G1</b>          | 15.4       | 27.6       | 149.5      | -1.0      | -10.1     | -4.6             |
| <b>G2</b>          | 15.2       | 16.8       | 97.6       | -3.7      | -10.8     | -7.8             |
| <b>G3</b>          | 8.0        | 0.0        | 14.3       | -16.9     | 14.0      | -2.0             |
| <b>G4</b>          | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0       | 0.0       | 0.0              |
| <b>G4 moyennes</b> | 78.3       | 22.5       | 3.2        | 11.5      | 8.9       | 117.2            |

Dans ce contexte, Haddad (2015) rapporte que les variétés répondent différemment aux effets de lœnvironnement (dans le sens années et dates de semis), et que, de manière globale, certains environnements sont plus favorables à lœexpression des variables, dont le degré dœexpression est génotype dépendant. Le tout se passe comme si le même génotype se comporte comme deux génotypes différents dans deux environnements différents, suite à la présence de lœinteraction génotype x environnements.

### III. 1. 2. Caractères agronomiques

L'analyse de la variance du rendement, des composantes du rendement, de la biomasse totale et paille et de l'indice de récolte de chacune des deux campagnes et des deux campagnes combinées est indiquée au tableau 9. L'effet géotype du nombre d'épis, du rendement, de la paille, de la biomasse et de l'indice de récolte n'est pas significatif pour la première campagne, alors que le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains et le rendement en grains montrent un effet géotype significatif (Tableau 9).

L'analyse de la variance des données de la deuxième année indique un effet géotype significatif pour l'ensemble des variables soumises à l'analyse. L'analyse combinée des deux années indique une interaction non significative pour le nombre d'épis, la paille produite, la biomasse et l'indice de récolte (Tableau 9).

**Tableau 9.** Moyennes des carrés des écarts de l'analyse de la variance par année et des deux années combinées des variables mesurées des 15 géotypes étudiés.

| Source          | Ddl | NGE     | NE                  | PMG                | RDT       | PLL                 | BIO                  | IR                    |
|-----------------|-----|---------|---------------------|--------------------|-----------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| <b>2006/07</b>  |     |         |                     |                    |           |                     |                      |                       |
| Gén             | 14  | 384.6** | 47674 <sup>ns</sup> | 55.0**             | 36934*    | 81341 <sup>ns</sup> | 129103 <sup>ns</sup> | 0.01768 <sup>ns</sup> |
| Rép             | 2   | 25.1    | 36023               | 15.1               | 39926     | 156098              | 332389               | 0.01038               |
| Erreur          | 28  | 41.1    | 29796               | 14.0               | 17884     | 87693               | 125365               | 0.00898               |
| <b>2007/08</b>  |     |         |                     |                    |           |                     |                      |                       |
| Gén             | 14  | 113.5** | 11807**             | 16.0*              | 12403***  | 43192***            | 78032***             | 0.0130***             |
| Rép             | 2   | 57.2    | 4220                | 0.3                | 5215      | 99151               | 139782               | 0.006                 |
| Erreur          | 28  | 16.1    | 1164                | 5.0                | 1867      | 5652                | 8659                 | 0.003                 |
| <b>Combinée</b> |     |         |                     |                    |           |                     |                      |                       |
| An              | 1   | 302.4*  | 173449**            | 4.23 <sup>ns</sup> | 287298*** | 3925378***          | 6225210***           | 0.0667***             |
| Gén             | 14  | 343.6** | 39713*              | 46.05**            | 30132**   | 88587 <sup>ns</sup> | 145318*              | 0.0200***             |
| G x A           | 14  | 154.6** | 19768 <sup>ns</sup> | 25.03*             | 19204*    | 35947 <sup>ns</sup> | 865436 <sup>ns</sup> | 0.0106 <sup>ns</sup>  |
| Rép             | 2   | 43.8    | 27835               | 5.58               | 24722     | 67271               | 174161               | 0.0015                |
| Erreur          | 58  | 29.0    | 15374               | 9.55               | 10239     | 51545               | 74977                | 0.0062                |

### **III.1. 2. 1. Nombre de grains/épi**

Les moyennes du nombre de grains par épi des deux campagnes sont de 46.3 et 42.6 grains par épi, respectivement pour 2006/07 et 2007/08. Les valeurs prises par l'amplitude sont élevées et de 34.9 et 21.9 grains par épi, pour les deux campagnes, citées dans l'ordre ci-dessus. Les meilleures moyennes de 60.9 et 51.9 grains par épi sont enregistrées par Plaisant en 2006/07 et par Tissa en 2007/08. Les plus faibles valeurs moyennes, de 26.0 et 29.7 grains par épi, sont enregistrées par Tissa en 2006/07 et par Rahma en 2007/08 (Tableau 10).

L'analyse combinée des deux campagnes indique des comportements contrastés (Figure 10). Ainsi Rahma et Soufara enregistrent les plus faibles nombres de grains par épi sur les deux campagnes. Ces variétés sont des orges à 2 rangs. Tissa présente le nombre de grains par épi, le plus élevé, en 2007/08 et le plus faible, en 2006/07 (Figure 10).

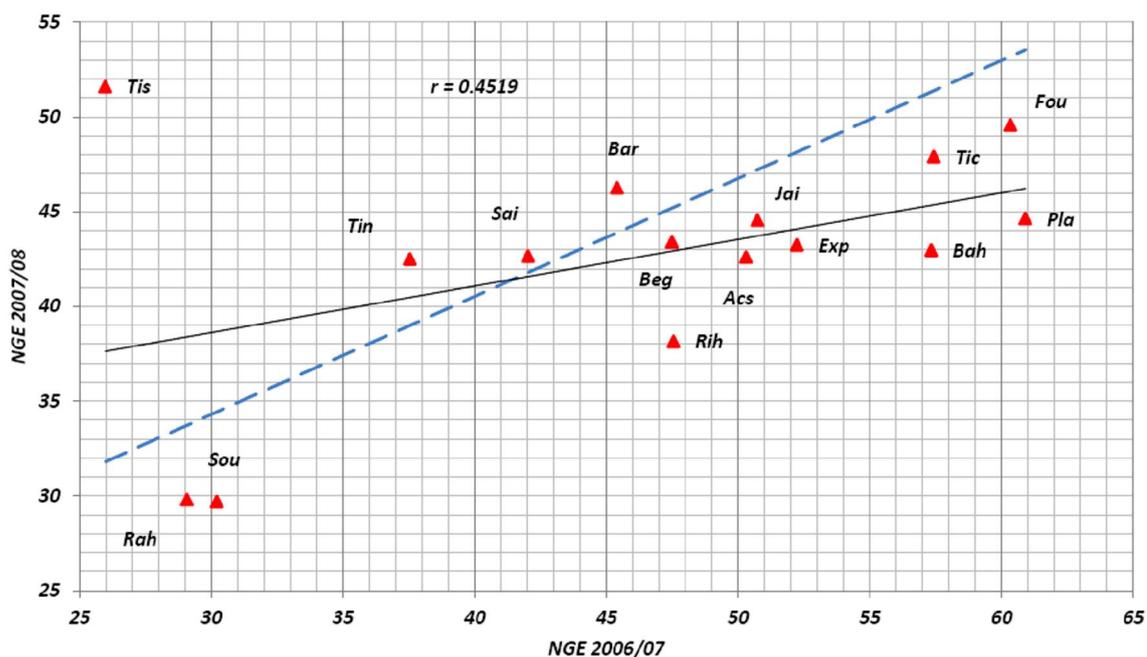
Tina, Saida et Barberousse présentent un nombre de grains par épi, plus élevé, en 2007/08 qu'en 2006/07. Le comportement contraire est observé chez Fouara, Plaisant, Tichedrett et Bahia qui présentent des valeurs moyennes du nombre de grains par épi plus élevées en 2006/07 qu'en 2007/08. Un faible degré de ressemblance entre les deux années est indiqué par le coefficient de corrélation qui a une valeur, statistiquement non significative, de 0.4519 (Figure 10).

### *Chapitre III : Evaluation Agronomique des génotypes*

**Tableau 10.** Moyennes des composantes du rendement, du rendement en grains, de la biomasse aérienne, de la paille produite et de l'indice de récolte par campagne et des deux campagnes combinées des 15 génotypes étudiés.

| Caractères | Campagnes       | Moyennes | Valeurs mini. | Valeurs max. | Amplitudes | Ppds <sub>5%</sub> |
|------------|-----------------|----------|---------------|--------------|------------|--------------------|
| <b>NGE</b> | <b>2006/07</b>  | 46.3     | 26.0          | 60.9         | 34.9       | 10.5               |
|            | <b>2007/08</b>  | 42.6     | 29.7          | 51.6         | 21.9       | 6.6                |
|            | <b>Combinée</b> | 44.5     | 29.4          | 54.9         | 25.5       | 6.2                |
|            | <b>Ecart*</b>   | 3.7      | -3.7          | 9.3          | 13.0       |                    |
| <b>NE</b>  | <b>2006/07</b>  | 331.1    | 135.0         | 653.0        | 518.0      | 281.9              |
|            | <b>2007/08</b>  | 259.0    | 126.0         | 352.0        | 226.0      | 55.7               |
|            | <b>Combinée</b> | 295.1    | 154.0         | 485.0        | 331.0      | 143.2              |
|            | <b>Ecart</b>    | 72.1     | 9.0           | 301.0        | 292.0      |                    |
| <b>PMG</b> | <b>2006/07</b>  | 37.0     | 27.1          | 44.9         | 17.8       | 6.1                |
|            | <b>2007/08</b>  | 37.0     | 33.8          | 41.4         | 7.6        | 3.7                |
|            | <b>Combinée</b> | 37.0     | 31.6          | 43.2         | 11.6       | 3.6                |
|            | <b>Ecart</b>    | 0.0      | -6.7          | 3.5          | 10.2       |                    |
| <b>RDT</b> | <b>2006/07</b>  | 318.0    | 155.0         | 528.0        | 373.0      | 223.7              |
|            | <b>2007/08</b>  | 205.2    | 127.3         | 380.7        | 253.4      | 72.27              |
|            | <b>Combinée</b> | 262.0    | 141.1         | 394.0        | 252.9      | 165.4              |
|            | <b>Ecart</b>    | 112.8    | 27.7          | 147.3        | 119.6      |                    |
| <b>PLL</b> | <b>2006/07</b>  | 833.0    | 512.0         | 1433.0       | 409.0      | 495.3              |
|            | <b>2007/08</b>  | 416.0    | 252.0         | 612.7        | 360.7      | 125.7              |
|            | <b>Combinée</b> | 624.0    | 385.0         | 878.0        | 493.0      | 371.1              |
|            | <b>Ecart</b>    | 417      | 260           | 820.3        | 560.3      |                    |
| <b>BIO</b> | <b>2006/07</b>  | 1149.0   | 667.0         | 1450.0       | 783.0      | 592.2              |
|            | <b>2007/08</b>  | 623.0    | 386.0         | 941.0        | 555.0      | 155.6              |
|            | <b>Combinée</b> | 886.0    | 526.5         | 1129.7       | 603.2      | 447.5              |
|            | <b>Ecart</b>    | 526      | 281.0         | 509.0        | 228.0      |                    |
| <b>IR</b>  | <b>2006/07</b>  | 0.27     | 0.18          | 0.41         | 0.23       | 0.158              |
|            | <b>2007/08</b>  | 0.32     | 0.20          | 0.44         | 0.24       | 0.090              |
|            | <b>Combinée</b> | 0.29     | 0.19          | 0.40         | 0.21       | 0.129              |
|            | <b>Ecart</b>    | -0.05    | -0.02         | -0.03        | -0.01      |                    |

\*Ecart=  $X_{\text{bar}2007} - X_{\text{bar}2008}$



**Figure 10.** Variation du nombre de grains par épi des 15 géotypes au cours des deux campagnes (Jai= Jaidor, Plai= Plaisant, Rah= Rahma, Beg = Bégonia, Bar= Barberousse, Tin= Tina, Tic= Tichedrett, Sai= Saïda, Bah= Bahia, Acs= Acsad<sub>176</sub>, Fou= Fouara).

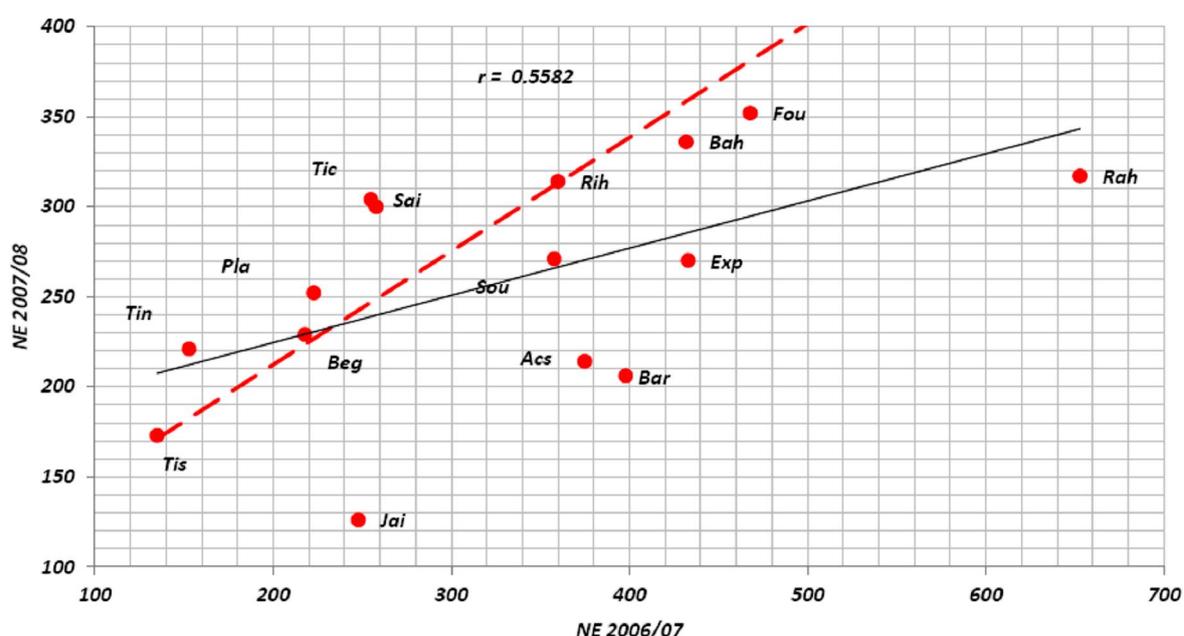
Barberousse, Bégonia, Rahma, Saïda, Soufara et Tina dévient le moins de la moyenne des deux années, et présentent des écarts inférieurs à la ppds5% de 6.2 grains/épi ( Tableau 10, Figure 10). Les variétés qui enregistrent les déviations inter campagnes les plus élevées sont Bégonia (14.4 grains par épi), Plaisant (16.3 grains par épi) et Tissa avec un écart de -25.6 grains par épi (Figure 10).

### III. 1. 2. 2. Nombre d'épis/m<sup>2</sup>

Les moyennes du nombre d'épis/m<sup>2</sup> des deux campagnes ne sont pas différentes significativement au vu de la plus petite différence de l'analyse combinée qui est 143.2 épis/m<sup>2</sup>, et prennent des valeurs de 331.3 et 259.0 épis/m<sup>2</sup>, respectivement pour les campagnes 2006/07 et 2007/08 (Tableau 10). Ces moyennes assez proches cachent une diversité élevée des réponses par campagne. En effet les valeurs minimales sont 135.0 et 126.0 épis/m<sup>2</sup>, moyennes enregistrées par Tissa, en 2006/07 et par Jaïdor en 2007/08, et des valeurs maximales de 653.0 et

352.0 épis/m<sup>2</sup>, mesurées chez les génotypes Rahma, en 2006/07, et Fouara en 2007/08 (Tableau 10, Figure 11).

Les génotypes qui montrent des écarts assez importants d'une campagne à l'autre, sont surtout Rahma, avec un écart de 336.0 épis m<sup>2</sup>, soit l'équivalent la moyenne des épis de cette variété en 2007/08, et à degré moindre Barberousse, Acsad176, et Expresse qui affichent des écarts inter campagnes, plus modestes, mais significatifs, de 192.0, 161.0 et 163.0 épis/m<sup>2</sup> (Tableau 10, Figure 11).



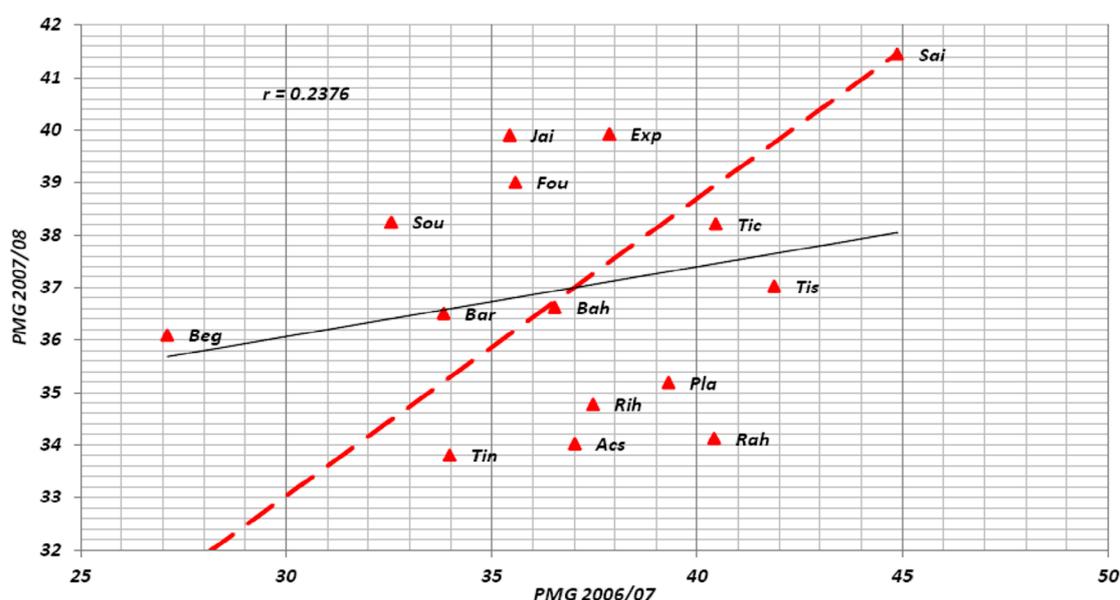
**Figure 11.** Variation du nombre d'épis produit par m<sup>2</sup> des 15 génotypes au cours des deux campagnes (Jai= Jaidor, Plai= Plaisant, Rah= Rahma, Beg = Bégonia, Bar= Barberousse, Tin= Tina, Tic= Tichedrett, Sai= Saida, Bah= Bahia, Acs= Acsad<sub>176</sub>, Fou= Fouara).

Les conditions de croissance des deux campagnes sont perçues différemment par les génotypes évalués, Ainsi la campagne 2006/07 a été plus favorable, plus que la campagne 2007/08, à l'expression du nombre d'épis de certaines variétés comme Rahma, Express, Barberousse et Acsad<sub>176</sub>. Par contre certaines variétés comme Fouara, Bahia, Rihane, Tissa et Bégonia répondent favorablement aux deux campagnes, et se présentent comme des variétés stables pour la production d'épis/m<sup>2</sup>, avec des potentiels génétiques différents (Figure 11). En moyenne des

deux années Rahma, Fouara et Bahia présentent le nombre d'œpis/m<sup>2</sup> le plus élevé et Tissa et Tina le nombre d'œpis/m<sup>2</sup> le plus faible (Figure 11). Hsu et Walson (1971) signalent que le nombre d'œpis est la composante la plus importante déterminant le rendement en grains. Febrero *et al.* (1990) indiquent que l'œpi assure par ailleurs une fonction photosynthétique importante au cours du remplissage du grain.

### III. 1. 2. 3. Poids de 1000 grains

Pour la première année, le poids de 1000 grains le plus élevé a été enregistré par le génotype Saida (44.8 g). Les génotypes Tichedrett et Bégonia ont présenté les valeurs les plus faibles (32.5 g et 27.1 g, respectivement). Pour la deuxième année, le poids de 1000 grains, le plus élevé, est obtenu par le génotype Saida (41.4g), tandis que le poids le plus faible est enregistré par les génotypes Tina et Acsad<sub>176</sub> avec 33.8 g et 34.0 g, respectivement (Figure 12).



**Figure 12.** Variation du poids de 1000 grains des 15 génotypes des deux campagnes (Jai= Jaidor, Plai= Plaisant, Rah= Rahma, Beg = Bégonia, Bar= Barberousse, Tin= Tina, Tic= Tichedrett, Sai= Saida, Bah= Bahia, Acs= Acsad<sub>176</sub>, Fou= Fouara).

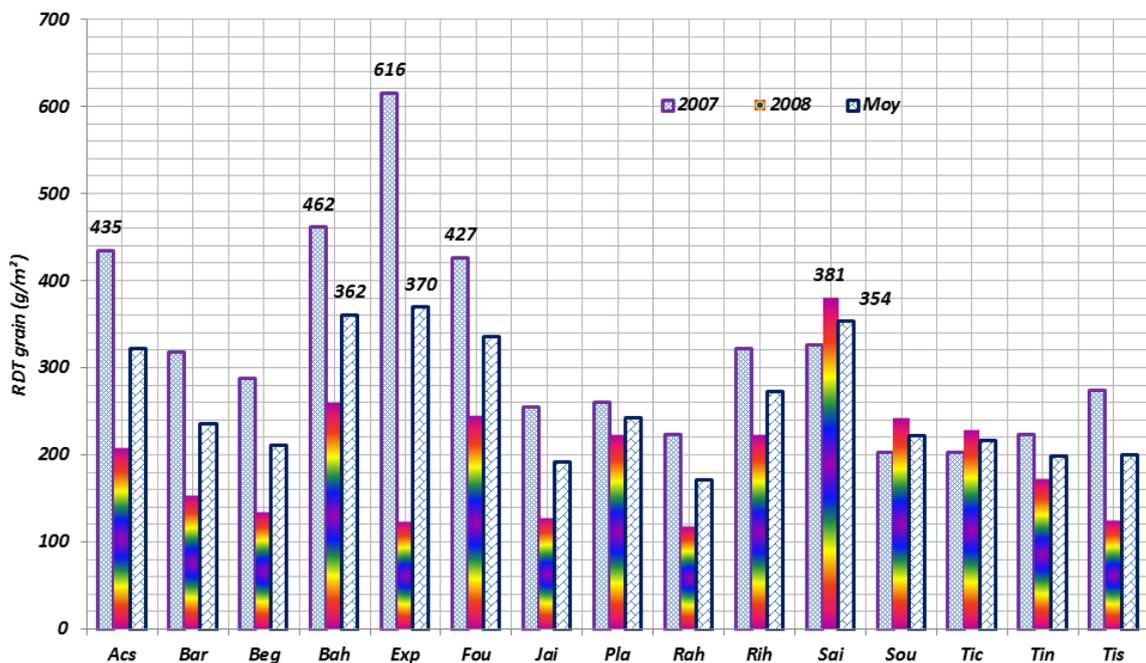
L'interaction génotype x année est hautement significative, et le poids de 1000 grains le plus élevé a été présenté par le génotype Saida (43.1 g) (Figure 12). Les génotypes les plus interactifs avec l'environnement, sont Bégonia (27.1 vs 36.1 g), Rahma (40.4 vs 34.1 g), Tissa (41.9 vs 37.0 g) et Tichedrett (32.6 vs 38.2 g). Les moins interactifs sont Bahia (36.5 vs 36.6 g), Barberousse (33.8 vs 36.5) et Tina (34.0 vs 33.8 g) (Figure 12). Rahal-Bouziane et Abdelguerfi (2012), en évaluant les orges traditionnelles issues d'une collecte à partir des jardins oasiens, indiquent que le poids de 1000 grains a fluctué selon les années pour tous les cultivars étudiés, et les plus faibles valeurs ont été durant la première année où le semis s'est effectué tardivement.

Dans une étude sur l'analyse des facteurs de stabilité du rendement de l'orge, Bouzerzour et Monneveux (1992) indiquent que les poids de 1000 grains varient peu d'un groupe à l'autre. Benmahammed (1996) signale que le poids de 1000 grains est un bon critère de sélection indirecte pour améliorer le rendement. Selon Kalala *et al.* (2012), le rendement agricole de l'orge et du blé dépend du nombre d'épi par m<sup>2</sup>, du nombre de grains par épi et du poids de 1000 grains.

Roussel *et al.* (1985) signalent que l'effet du poids du grain agit sur l'élaboration du rendement quantitatif, mais aussi qualitatif. (Triboi *et al.*, 1985) mentionnent que la variation du poids du grain est définie comme le produit de deux variables, vitesse (V) et durée (D) de remplissage. La vitesse représente le facteur prédominant dans l'élaboration du poids du grain, elle est contrôlée principalement par le nombre de grains produits par m<sup>2</sup>.

### III. 1. 2. 4. Rendement grain

Pour l'année 2006/07, l'analyse révèle un effet significatif entre les géotypes. La moyenne générale est de 318 g. Le géotype Bahia a enregistré le rendement le plus élevé (528.4 g), alors que Bégonia a présenté le rendement le plus faible (154.8 g). Le coefficient de variation est de 42.0 %. Pour l'année 2007/08, les différences sont très hautement significatives. Le plus haut rendement en grains est obtenu par le géotype Saida (380.7 g), alors que la plus faible valeur est enregistrée par le géotype Bégonia (127.3 g). La moyenne générale est de 205.2 g, et le coefficient de variation est de 15.4%. L'interaction géotype x année est seulement significative. Le géotype Bahia s'est distingué par le rendement en grains le plus élevé avec 394.0 g.



**Figure 13.** Variation du rendement en grains des 15 géotypes des deux campagnes (Jai= Jaidor, Plai= Plaisant, Rah= Rahma, Beg = Bégonia, Bar= Barberousse, Tin= Tina, Tic= Tichedrett, Sai= Saida, Bah= Bahia, Acs= Acsad<sub>176</sub>, Fou= Fouara).

Dans ses travaux, Benmahammed (2005) signale, aussi bien chez les hybrides que chez les parents, un haut rendement est donc la résultante d'une production de la biomasse aérienne et d'un nombre d'épis élevé. Selon Turner (1997), les géotypes transférant plus de réserves vers le grain sont capables de minimiser la variation des dimensions du grain et donc celle du rendement en grains.

Selon Richards *et al* .1997, la variation des conditions de croissance de l'environnement de production et les réponses différenciées des géotypes engendrent des interactions géotype x milieu qui rendent imprévisibles les niveaux de production des sélections faites. Ces réponses ont pour origine la variation des différents caractères composants l'architecture de la plante comme la hauteur, la durée du cycle et la matière sèche accumulée à un stade donné.

### **III. 1. 2. 5. Rendement paille**

Pour la campagne 2006/07, il n'y a aucun effet significatif entre les géotypes. La moyenne générale est de 833 g pour le rendement en paille. Pour la campagne 2007/08, l'analyse a révélé un effet très hautement significatif entre les géotypes. Rahma a présenté le meilleur rendement en paille avec 612.7 g, contrairement au géotype ACSAD 176, qui a le plus faible rendement (252 g). La moyenne générale est de 416 g. Le coefficient de variation est de 18.1%. L'interaction géotypes x année est non significative.

### **III. 1. 2. 6. Biomasse aérienne**

Pour l'année 2006/07, il n'y a aucun effet significatif entre les géotypes, la valeur moyenne pour ce caractère est de 1149 g. Pour l'année 2007/08, l'analyse de variance a révélé des différences très hautement significatives entre les géotypes.

Le géotype Saida a présenté la plus forte biomasse totale avec une valeur de 941 g, contrairement au géotype Bégonia qui a la plus faible biomasse (386.3 g). La moyenne générale est de 623 g, et le coefficient de variation est de 14.9 %. L'interaction géotypes x années est non significative.

Pour la biomasse totale, la valeur moyenne est élevée durant la première année par rapport à la deuxième année. L'amplitude qui est prise comme différence entre les moyennes maximale et minimale pour ce caractère est de 783 g pour la première année, et elle est de 555 g pour la deuxième année. Le géotype Rahma s'est distingué par une bonne production de biomasse en première année, alors que le géotype Saida a enregistré la meilleure valeur de biomasse durant la deuxième année.

Selon (Hargas, 2007) la biomasse aérienne à maturité et le rendement en grains sont des indicateurs de la capacité de production du géotype. Siddique *et al.* (1989) soulignent que la biomasse élevée est la cause principale des rendements élevés enregistrés chez les variétés récentes. Clarke *et al.* (1991) signalent qu'une biomasse élevée est une caractéristique désirable en milieux semi-arides.

Benmahammed *et al.* (2004), en étudiant l'efficacité de la sélection précoce de la biomasse, soulignent que comparativement à la sélection directe basé sur le rendement, la sélection de la biomasse apparaît plus discriminante en identifiant les lignées les plus productives chez deux sur les trois croisements étudiés. Bouzerzour *et al.* (1998a) soulignent que les variétés capables de produire plus de biomasse en début du cycle sont donc à préférer en sélection. Elles auront la capacité de faire plus de biomasse aux stades épiaison et maturité.

### **III. 1. 2. 7. Indice de récolte**

L'analyse ne montre aucune différence entre les géotypes pour l'année 2006/07, avec une moyenne générale de 0.27. Pour l'année 2007/08, les différences sont très hautement significatives. Le géotype Acsad176 a présenté l'indice de récolte le plus élevé (0.44), alors que le géotype Rahma a l'indice de récolte le plus faible (0.20). L'interaction géotype x année est non significative. La moyenne générale est de 0.29.

### **III. 2. Relations entre caractères**

Les coefficients de corrélation entre les variables mesurées sont donnés au tableau 11. La hauteur montre des liaisons négatives avec la durée à l'épiaison et positive avec le rendement paille, lors de la campagne 2006/07 et elle est liée positivement avec l'indice de récolte lors de la seconde campagne (Tableau 11). La longueur du dernier entrenœud est négativement liée à la longueur de l'épi, lors des deux campagnes, suggérant un effet de compétition pour les assimilats, suite à la formation souvent concomitante de ces deux organes.

Par contre la liaison de ce trait avec la longueur du col est positive une campagne et négative la seconde campagne, suggérant que la compétition pour les assimilats est année dépendante, s'exprimant lors des années plus contraignante comme c'est le cas de la campagne 2007/08 et absence lors des années plus favorables.

**Tableau 11.** Matrice des coefficients de corrélation phénotypiques entre les moyennes des variables mesurées des 15 génotypes étudiés (au-dessus de la diagonale r de **2006/07**, au-dessous de la diagonale r de **2007/08**, sur la diagonale r inter campagnes par caractère)

|      | PHT          | LEN           | COL          | LB            | LEP           | EPIA          | NGE          | NE           | PMG    | RDT          | PLL           | BIO           | IR           |
|------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| PHT  |              | 0.431         | 0.395        | 0.020         | -0.037        | <b>-0.571</b> | -0.010       | 0.301        | 0.517  | 0.315        | <b>0.550</b>  | 0.500         | 0.131        |
| LEN  | 0.373        |               | <b>0.965</b> | -0.325        | <b>-0.613</b> | -0.090        | 0.327        | -0.163       | 0.137  | 0.106        | -0.071        | -0.227        | 0.186        |
| COL  | -0.415       | <b>-0.619</b> |              | -0.140        | <b>-0.533</b> | -0.034        | 0.299        | -0.250       | 0.099  | 0.052        | -0.118        | -0.333        | 0.335        |
| LB   | 0.056        | 0.313         | -0.032       |               | 0.329         | -0.042        | 0.113        | -0.214       | 0.057  | -0.152       | 0.030         | -0.108        | -0.176       |
| LEP  | -0.343       | <b>-0.684</b> | <b>0.646</b> | <b>-0.537</b> |               | 0.254         | -0.685       | 0.267        | 0.257  | -0.331       | 0.336         | 0.039         | -0.471       |
| EPIA | 0.013        | 0.365         | -0.465       | 0.271         | 0.495         |               | -0.159       | -0.386       | -0.273 | -0.440       | -0.182        | <b>-0.592</b> | -0.200       |
| NGE  | 0.091        | -0.327        | -0.155       | <b>0.681</b>  | <b>-0.561</b> | 0.501         |              | -0.157       | -0.405 | 0.381        | -0.458        | -0.061        | 0.441        |
| NE   | -0.308       | -0.038        | 0.177        | 0.284         | 0.045         | -0.054        | 0.284        |              | 0.242  | 0.459        | 0.366         | <b>0.575</b>  | 0.251        |
| PMG  | 0.230        | -0.327        | 0.441        | 0.279         | 0.089         | 0.089         | 0.133        | 0.176        |        | -0.152       | 0.261         | 0.313         | 0.056        |
| RDT  | 0.390        | 0.441         | -0.307       | <b>0.610</b>  | <b>-0.538</b> | 0.210         | 0.350        | 0.463        | 0.207  |              | -0.163        | <b>0.574</b>  | <b>0.836</b> |
| PLL  | 0.025        | 0.402         | 0.100        | 0.452         | -0.206        | 0.075         | <b>0.730</b> | -0.110       | 0.320  | 0.230        |               | 0.478         | -0.447       |
| BIO  | 0.025        | -0.169        | 0.243        | 0.141         | 0.329         | -0.201        | -0.102       | <b>0.599</b> | 0.347  | <b>0.529</b> | <b>0.936</b>  |               | 0.075        |
| IR   | <b>0.529</b> | <b>0.540</b>  | -0.365       | 0.328         | <b>-0.696</b> | 0.060         | 0.271        | -0.030       | -0.022 | <b>0.579</b> | <b>-0.521</b> | -0.211        |              |

Seuil de signification:  $r_{5\%} = 0.513$ ;  $r_{1\%} = 0.592$

La longueur des barbes et celle de l'épi semblent avoir un effet significatif sur le rendement en grains, lors de la deuxième campagne, mais cet effet n'est pas significatif lors de la première campagne. La longueur des barbes montre des liaisons significatives contrastées avec le nombre de grains par épi, positive dans un environnement et négative dans un autre (Tableau 11).

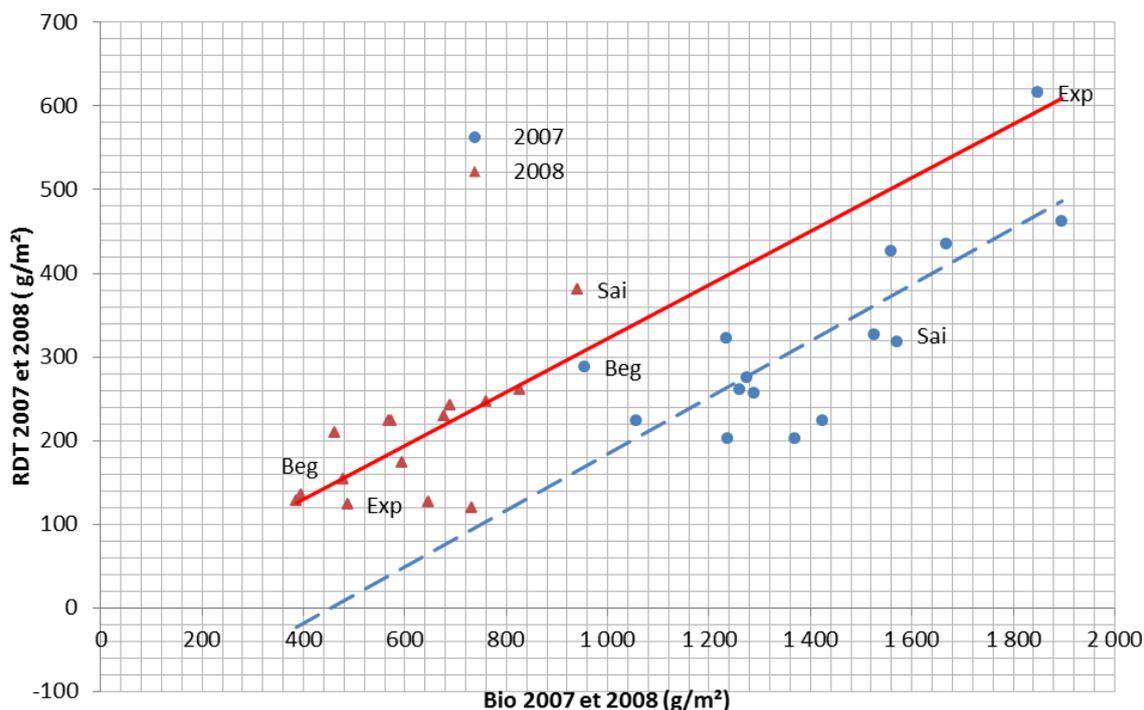
La durée à l'épiaison reste indépendante de la plus part des caractères, hormis sa liaison significative et négative avec la biomasse pour la première campagne. Cette liaison suggère que les génotypes précoces ont présenté une bonne biomasse. Parmi les composantes du rendement le nombre de grains par épi est lié positivement à la paille produite et la longueur des barbes et négativement avec la longueur de l'épi seulement lors la deuxième campagne et le nombre d'épis est négativement avec la biomasse aérienne produite pour la première campagne et positivement pour la deuxième campagne (Tableau 11).

Ces résultats suggèrent que les géotypes produisant plus de paille et de biomasse présentent soit un nombre élevé de grains par épi soit une capacité élevée de tallage épi. Le rendement grain est positivement lié à la biomasse aérienne au cours des deux années et à l'indice de récolte lors de la première année, alors que la biomasse est corrélée positivement avec la paille produite (Figure 14, Tableau 11).

L'indice de récolte est positivement lié au rendement en grains durant les deux campagnes. Ceci suggère que les géotypes présentant un indice de récolte élevé donnent des rendements en grains élevés. Ce caractère est corrélé aussi positivement avec le dernier entre-nœud et négativement avec la longueur de l'épi et le rendement en paille.

L'analyse de la figure 14 indique que la biomasse aérienne produite lors de la première campagne n'a pas été bien valorisée sous forme de grains (faible IR) au contraire de celle de la deuxième campagne. De plus cette analyse indique le peu de reproductibilité des résultats d'une campagne à l'autre vu que la contribution des différents géotypes change d'une année à l'autre (Figure 14).

Ainsi Express exprime la meilleure biomasse et rendement en grains en 2006/07, en 2007/08, il se classe parmi les géotypes présentant une faible biomasse et rendement en grains. C'est le même comportement adopté par Bégonia. Comparativement au comportement de ces deux géotypes, Saïda présente un comportement relativement plus régulier (Figure 14). Le poids de 1000 grains reste indépendant de l'ensemble des variables mesurées.



**Figure 14.** Relation entre la biomasse aérienne et le rendement en grains des deux campagnes

Les résultats de la présente étude corroborent ceux rapportés par diverses études. Ainsi Hargas (2007) signale que la hauteur est significativement et positivement corrélée avec le poids de 1000 grains chez le blé. Khaldoun (1995) signale que plus la hauteur de la paille est grande plus le rendement est important.

Plusieurs études ont montré l'existence d'une forte relation entre la biomasse aérienne et le rendement en grains (Boukerou et Rasmusson (1990), Le Gouis (1992), Benmahammed (1996), Bouzerzour (1998) et Benmahammed *et al.* 2003). Bahlouli (1998) montre que, d'une manière générale, la biomasse accumulée au stade épi-1cm détermine largement celle produite à maturité. La sélection de géotypes qui accumulent rapidement de matière sèche tôt, en début du cycle et réussissent à donner des rendements acceptables et réguliers, est donc intéressante.

Selon Sharma (1993) la biomasse a permis des améliorations positives dans le rendement en grains chez le blé. Bouzerzour *et al.* (1988) et Benmahammed (2005) signalent des corrélations positives entre la biomasse aérienne et le nombre de grains par épi.

Benmahammed (2005) souligne que le rendement en grains est la résultante d'une bonne production de la biomasse et d'un nombre élevé d'épis par m<sup>2</sup>. Concernant la précocité, il n'y a pas de relation entre la date d'épiaison et le rendement ainsi que ses composantes pour les deux années. Par contre Bouzerzour *et al.* (1998) signalent une liaison positive et significative a été notée entre le nombre de grains par épi et la précocité à l'épiaison, ce qui indique que la fertilité des épis est plus forte chez les génotypes tardifs.

Van Oosterom et Acevedo (1992) signalent aussi que le début épiaison est positivement corrélé avec le rendement en grain dans la plupart des environnements, mais surtout dans des environnements à faible rendement. Concernant le nombre de grains par épi et le poids de 1000 grains, les deux années d'étude ont présenté presque les mêmes valeurs moyennes.

Ces résultats rejoignent ceux obtenus par Rekika (1997) et Meziani (2001), qui signalent une forte liaison entre le rendement en grains et l'indice de récolte. Dakheel *et al.* (1993) notent que l'indice de récolte évolue dans le même sens que le rendement en grains au niveau de tous types d'environnements. Bouzerzour *et al.* (1988) indiquent qu'en plus de la précocité et la biomasse aérienne, l'indice de récolte est un des caractères fortement lié au rendement en grains.

Sharma et Smith (1986) signalent une corrélation génétique faible entre l'indice de récolte et le rendement. Ils concluent que l'utilisation de l'indice de récolte seul, comme indice de sélection, est peu efficace pour améliorer le rendement en grain.

Selon Hargas (2007), la première variable explicative du rendement en grains retenue par la régression progressive est le nombre de grains/m<sup>2</sup>. Cette variable explique à elle seule 85.6 % de la variation notée pour le rendement en grains. Avec le poids de 1000 grains le rendement est déterminé à 98.7 %. L'ajout des autres variables comme la hauteur, l'indice récolte ou le poids des épis améliore peu la prévision du rendement.

### **III. 3. Typologie variétale**

#### **III. 3. 1. Groupement des variétés**

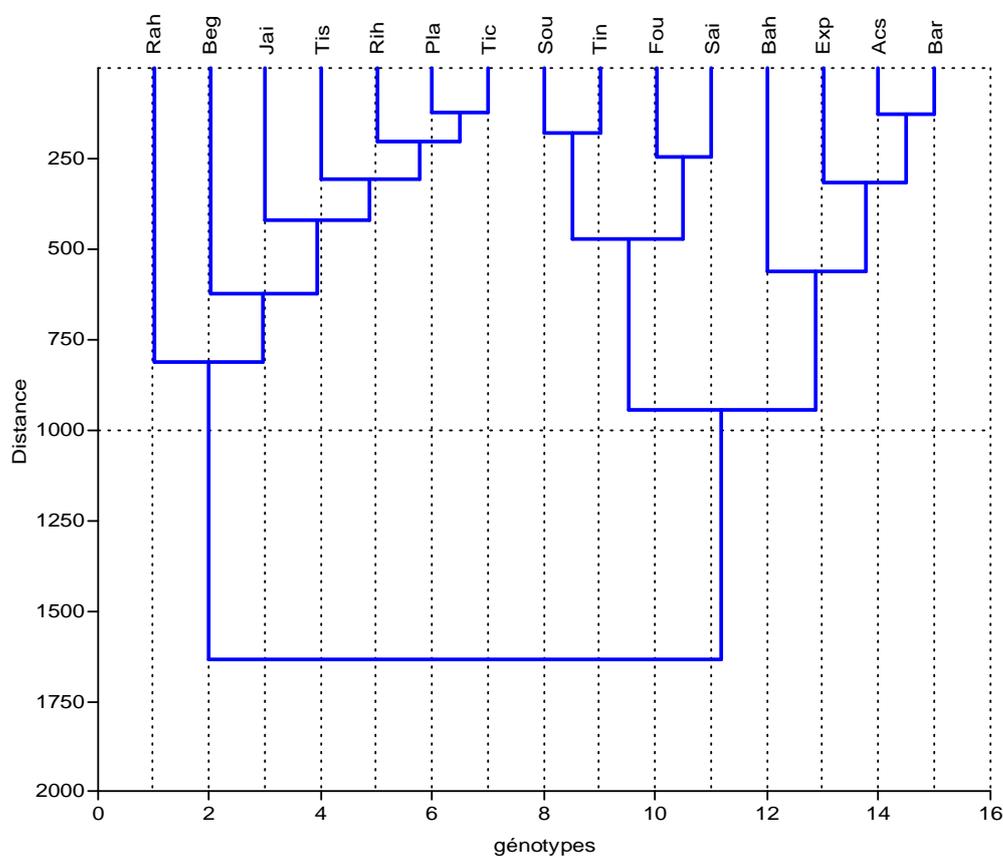
Suite à la diversité des comportements des 15 géotypes évalués, une tentative de regrouper les géotypes selon leur ressemblance sur la base des onze variables mesurées a été réalisée. Les 15 géotypes forment trois groupes aux comportements relativement similaires intra groupe et dissimilaires inter groupes.

Le groupe G1 est constitué des variétés Acsad<sub>176</sub>, Bahia, Barberousse et Express. Le groupe G2 est formé de Fouara, Saida, Soufara et Tina. Le groupe G3 est formé de Bégonia, Jaidor, Plaisant, Rahma, Rihane, Tichedrett et Tissa (Figure 15).

La comparaison des comportements des groupes de variétés, au cours de la campagne favorable de 2006/07, indique que le groupe G1 formé des variétés Acsad<sub>176</sub>, Bahia, Barberousse et Express se distingue par un nombre de grains par épi plus élevé de 17.7 et 10.8 % que les groupes variétaux G2 et G3. L'avantage

pour le nombre de épis/m<sup>2</sup> est de 24.6 et 26.9%. Celui du rendement en grains est de 35.6 et 42.9%, celui de la paille est de 8.8 et 28.2%.

L'avantage de la biomasse aérienne est de 15.8 et 32.02% et celui de l'indice de récolte est de 23.8 et 14.3%, respectivement en défaveur des groupes G2 et G3. Ces derniers groupes cités gardent un avantage du poids de 1000 grains de 8.4 et 2.6% et une tardiveté de 3.2 et 3.7% (Tableau 12, Figure 16).



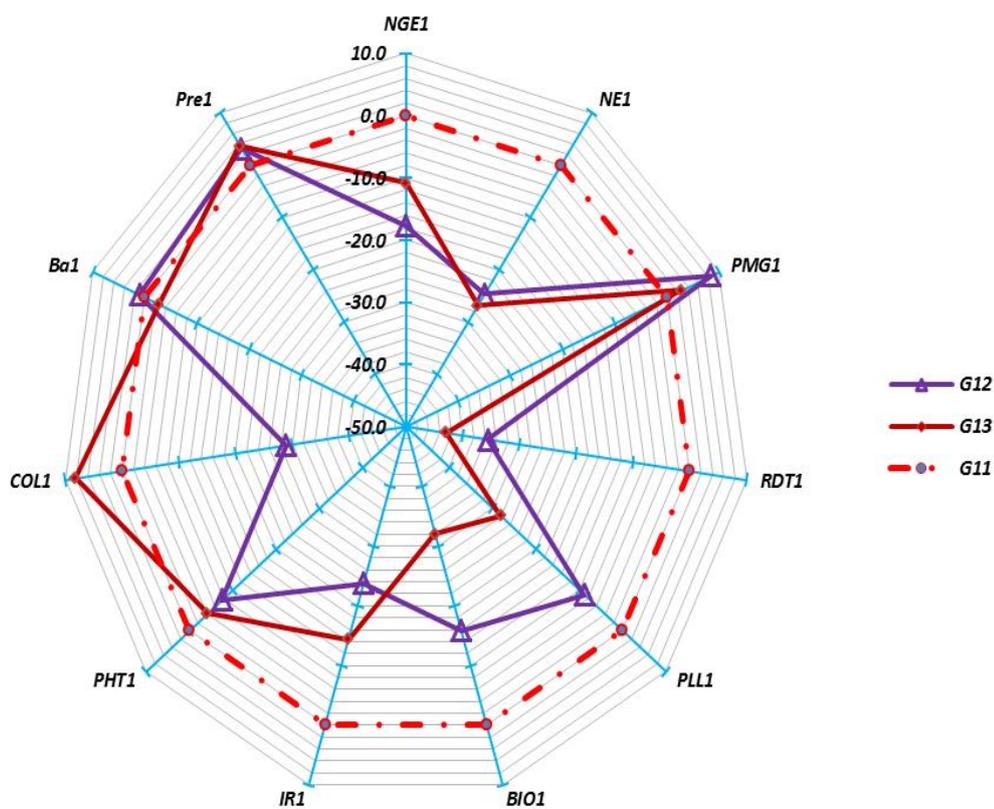
**Figure 15.** Regroupement des quinze géotypes sur la base des variables mesurées au cours des deux campagnes

### *Chapitre III : Evaluation Agronomique des géotypes*

**Tableau 12.** Performances des variétés des groupes G2 et G3 relativement aux valeurs prises par les variables des variétés du groupe G1, mesurées au cours de la campagne favorable 2006/07.

|            | Valeurs observées |         |         | % valeurs G11 |        |        |
|------------|-------------------|---------|---------|---------------|--------|--------|
|            | G1                | G2      | G3      | G1            | G2     | G3     |
| <b>NGE</b> | 51.32             | 42.24   | 45.75   | 0.00          | -17.68 | -10.84 |
| <b>NE</b>  | 409.50            | 308.50  | 299.29  | 0.00          | -24.66 | -26.91 |
| <b>PMG</b> | 35.71             | 38.73   | 36.66   | 0.00          | 8.44   | 2.66   |
| <b>RDT</b> | 457.75            | 295.00  | 261.29  | 0.00          | -35.55 | -42.92 |
| <b>PLL</b> | 1288.25           | 1175.00 | 925.57  | 0.00          | -8.79  | -28.15 |
| <b>BIO</b> | 1746.00           | 1470.00 | 1186.86 | 0.00          | -15.81 | -32.02 |
| <b>IR</b>  | 0.26              | 0.20    | 0.22    | 0.00          | -23.77 | -14.30 |
| <b>PHT</b> | 91.10             | 84.28   | 87.34   | 0.00          | -7.49  | -4.12  |
| <b>COL</b> | 6.45              | 4.59    | 6.98    | 0.00          | -28.86 | 8.28   |
| <b>Bar</b> | 11.29             | 11.41   | 10.99   | 0.00          | 1.04   | -2.68  |
| <b>Pre</b> | 109.33            | 112.78  | 113.23  | 0.00          | 3.16   | 3.57   |

G1= Acsad<sub>176</sub>, Bahia, Barberousse et Express, G2= Fouara, Saïda, Soufara et Tina, G3= Bégonia, Jaidor, Plaisant, Rahma, Rihane, Tichedrett et Tissa



**Figure 16.** Performances des groupes de génotypes G2 et G3, en % des valeurs du groupe G1 pour les variables mesurées au cours de la campagne favorable 2006/07.

La comparaison des comportements des groupes de variétés, au cours de la campagne défavorable de 2007/08, indique un changement dans les performances des groupes variétaux, suggérant des réponses spécifiques. En effet le groupe G1 formé des variétés Acsad<sub>176</sub>, Bahia, Barberousse et Express qui était, globalement, le plus performant, en situation favorable, représentée par la campagne 2006/07, est déclassé, en termes de performances, par le groupe G2, formé par les variétés Fouara, Saida, Soufara et Tina ( Tableau 13, Figure 17).

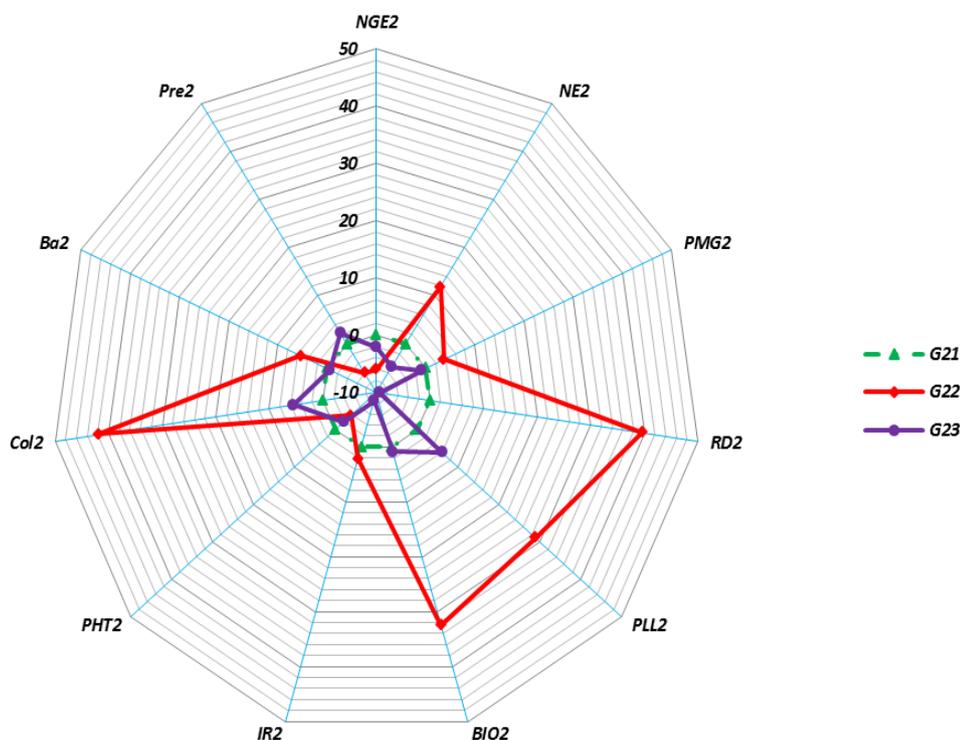
Ainsi au cours de la campagne défavorable de 2007/08, le groupe G1 cède l'avantage au profit du groupe G2, avantage estimé à 11.9% pour le nombre d'épis/m<sup>2</sup>, 3.7% pour le PMG, 39.6% pour le rendement en grains, 28.9 et 32.4% pour la paille produite et la biomasse aérienne, 2.1% pour l'indice de récolte,

41.5% pour la longueur du col et 5.4% pour la longueur des barbes (Tableau 13, Figure 17).

**Tableau 13.** Performances des variétés des groupes G2 et G3 relativement aux valeurs prises par les variables des variétés du groupe G1, mesurées au cours de la campagne défavorable 2006/07.

|             | Valeurs observées |        |        | % valeurs G1 |       |       |
|-------------|-------------------|--------|--------|--------------|-------|-------|
|             | G1                | G2     | G3     | G1           | G2    | G3    |
| <b>NGE</b>  | 43.77             | 41.13  | 42.85  | 0.00         | -6.03 | -2.11 |
| <b>NE</b>   | 256.50            | 287.00 | 244.43 | 0.00         | 11.89 | -4.71 |
| <b>PMG</b>  | 36.76             | 38.11  | 36.48  | 0.00         | 3.68  | -0.77 |
| <b>RDT</b>  | 187.00            | 261.00 | 169.43 | 0.00         | 39.57 | -9.40 |
| <b>PLL</b>  | 376.00            | 484.50 | 398.57 | 0.00         | 28.86 | 6.00  |
| <b>BIO</b>  | 563.00            | 745.50 | 568.00 | 0.00         | 32.42 | 0.89  |
| <b>IR</b>   | 0.34              | 0.34   | 0.31   | 0.00         | 2.13  | -8.46 |
| <b>PHT</b>  | 52.48             | 50.53  | 51.40  | 0.00         | -3.72 | -2.05 |
| <b>Col</b>  | 6.08              | 8.63   | 6.42   | 0.00         | 41.86 | 5.55  |
| <b>Bar</b>  | 12.01             | 12.65  | 11.94  | 0.00         | 5.35  | -0.55 |
| <b>Prec</b> | 96.18             | 90.43  | 98.39  | 0.00         | -5.98 | 2.30  |

G1= Acsad<sub>176</sub>, Bahia, Barberousse et Express, G2= Fouara, Saïda, Soufara et Tina, G3= Bégonia, Jaidor, Plaisant, Rahma, Rihane, Tichedrett et Tissa



**Figure 17.** Performances des groupes de génotypes G2 et G3, en % des valeurs du groupe G1 pour les variables mesurées au cours de la campagne défavorable 2007/08.

Ces avantages du G2, relativement au groupe G1, sont accompagnés par une réduction de 6.0% du nombre de grains par épi, de 3.7% de la hauteur de la végétation et d'un gain en précocité au stade épiaison de 6.0% (Tableau 13, Figure 17). Le groupe variétal G3 change aussi de comportement mais moins que les changements opérés par le groupe G2, qui se place comme groupe de génotypes tolérants les stress abiotiques.

### III. 3. 2. Sélection pour la tolérance vs la performance

L'analyse en composantes principales réalisée avec les données par campagne indique que les deux premiers axes absorbent 51.92% et 52.11% de la variation totale. La première composante principale explique, à elle seule, 29.04 %. Avec les données de la campagne 2006/07, l'axe 1 représente globalement les caractères liés à la biomasse de la plante et le degré de précocité au stade épiaison ; Alors que l'axe 2 représente la longueur des barbes, du col, de l'entre-nœud et de l'épi et le nombre de grains par épi (Tableau 14).

**Tableau 14.** Coefficients de corrélation des variables mesurées avec les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales

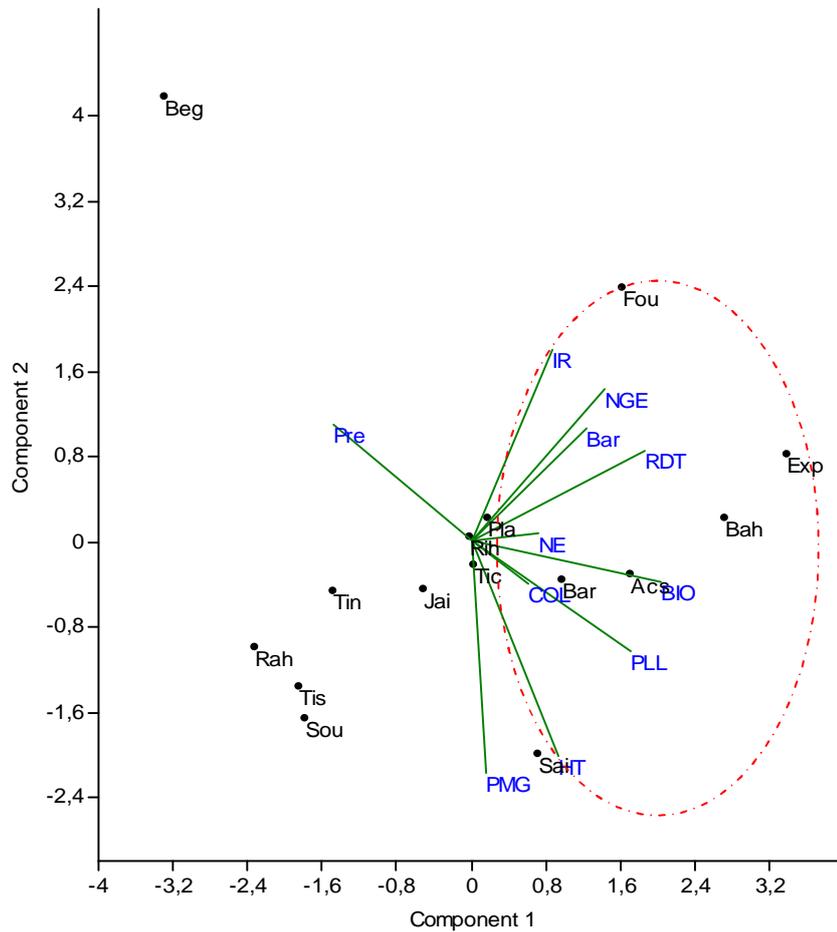
| Année       | 2006/07        |                 | 2007/08        |                |
|-------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
|             | Axe 1 (29.04%) | Axe 2 (22.88 %) | Axe 1 (29.59%) | Axe 2 (22.52%) |
| <b>PHT</b>  | -0.695         | -0.012          | -0.439         | -0.054         |
| <b>LEN</b>  | -0.130         | -0.681          | -0.782         | -0.045         |
| <b>COL</b>  | -0.032         | -0.604          | 0.690          | -0.209         |
| <b>LB</b>   | 0.091          | 0.205           | -0.529         | -0.534         |
| <b>LEP</b>  | 0.157          | 0.885           | 0.891          | 0.007          |
| <b>EPIA</b> | 0.742          | 0.036           | -0.674         | 0.064          |
| <b>NGE</b>  | -0.212         | -0.823          | -0.682         | -0.336         |
| <b>NE</b>   | -0.688         | 0.401           | 0.206          | -0.542         |
| <b>PMG</b>  | -0.439         | 0.380           | 0.217          | -0.587         |
| <b>RDT</b>  | -0.755         | -0.309          | -0.504         | -0.699         |
| <b>PLL</b>  | -0.766         | 0.332           | 0.460          | -0.708         |
| <b>BIO</b>  | -0.593         | -0.068          | 0.166          | -0.864         |
| <b>IR</b>   | -0.752         | -0.117          | 0.547          | 0.078          |

Au contraire avec les données de la campagne 2007/08, l'axe 1 représente la hauteur, la longueur des barbes, du col, de l'entrenœud et de l'épi, la durée au stade épiaison, le nombre de grains par épi et l'indice de récolte. Alors que l'axe 2 représente les caractères liés à la biomasse de la plante dont le rendement en grains, le nombre d'épis/m<sup>2</sup>, la biomasse aérienne, le poids de 1000 grains et la paille produite (Tableau 14).

L'analyse en composantes principales des données de la campagne 2006/07 suggère la sélection des génotypes Fouara, Express, Bahia, Acsad<sub>176</sub>, Barberousse et Saïda, comme variétés performantes pour les caractéristiques suivantes : rendement en grains, biomasse aérienne, paille produite, indice de récolte, longueur des barbes, nombre d'épis/m<sup>2</sup>, nombre de grains par épi, hauteur de la végétation et précocité au stade épiaison, avec peu de différences pour le poids de 1000 grains avec les restantes des variétés non sélectionnées (Figure 18).

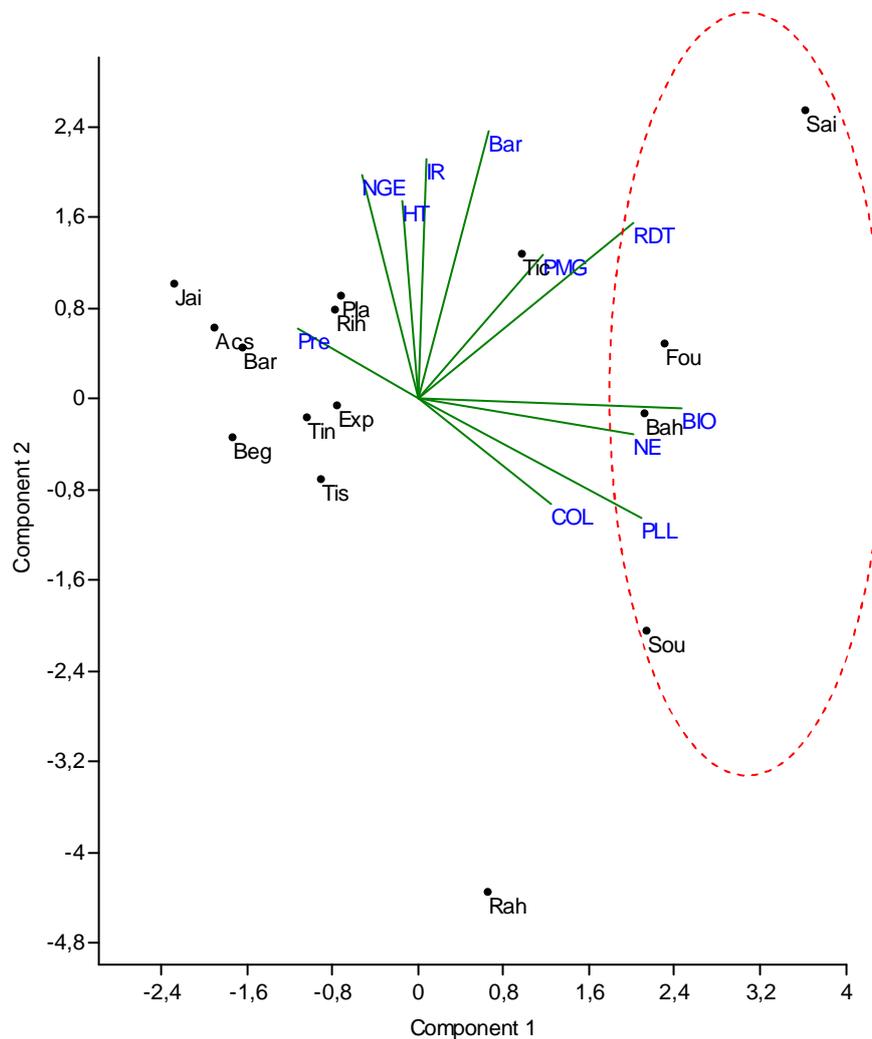
L'analyse en composantes principales des données de la campagne 2007/08 suggère la sélection de Saïda, Fouara, Bahia et Soufara, comme variétés performantes, lors d'une campagne défavorable, pour le rendement en grains, la biomasse aérienne, la paille produite, la longueur du col de l'épi et la précocité au stade épiaison (Figure 19). Ces résultats complètent ceux du groupage des variétés et indiquent des réponses différenciées selon le génotype et l'environnement test.

Le développement d'un matériel végétal adapté à la variabilité climatique est un objectif prioritaire des programmes de sélection. L'adoption d'une variété d'orge ne l'est que si elle apporte un plus significatif de rendement grain et que ce plus se maintient dans l'espace et le temps. Cependant le rendement grain est la résultante de l'interaction entre le nombre de caractères constitutifs de l'architecture de la plante, dont les plus cités sont la biomasse aérienne, et sa répartition entre le grain et la paille produite (Ceccarelli *et al.*, 2011, Bensemane, 2015).



**Figure 18.** Représentations sur le plan formé par les axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales des 15 génotypes et des variables mesurées au cours de la campagne favorable 2006/07.

La multitude des caractères, qui conditionnent le rendement grain, augmente aussi les interactions entre ces caractères et les facteurs caractéristiques de l'environnement. Pour limiter les fluctuations spatiotemporelles du rendement grain, la recherche et la caractérisation de génotypiques qui possèdent la capacité de minimiser la variation spatiotemporelle est désirable. De même que l'est l'identification des facteurs du milieu qui sont la source ou la cause des variations spatiotemporelles du rendement grain (Bahlouli *et al.*, 2005 ; Kadi *et al.*, 2010 ; Haddad , 2015).



**Figure 19.** Représentations sur le plan formé par les axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales des 15 génotypes et des variables mesurées au cours de la campagne défavorable 2007/08.

La sélection multi sites et multi années est proposée pour discriminer entre les génotypes dont le rendement grain est stable et ceux qui sont instables et pour identifier les domaines de recommandations valorisant l'adaptation spécifique et/ou l'adaptation générale. La plus part de telles études ont porté sur l'analyse du seul rendement en grains (Kirigwi *et al.*, 2004 ; Annichiarico *et al.*, 2005 ; Menad *et al.*, 2011 ; Meziani *et al.*, 2011 ; Nouar *et al.*, 2012).

Les résultats de telles études, généralement, indiquent la présence d'interactions significatives, des géotypes avec les environnements tests, sans spécifier les caractères, autres que le rendement en grains, qui contribuent à ces interactions (Haddad, 2015). Cette étude s'est intéressée à étudier la variabilité temporelle de 13 caractères dont certains sont liés au rendement en grains chez 15 géotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) évalués sur un seul site au cours de deux campagnes.

Les résultats indiquent la présence de la variabilité phénotypique des variables analysées, variabilité qui peut être mise à profit en sélection. L'analyse combinée des deux années montre la prépondérance de l'effet année sur l'expression des caractères mesurés, avec une année de loin plus favorable que la seconde, en plus de la variation entre les variétés intra année. Ces variations, des moyennes des différents caractères, rendent difficile l'appréciation de la moyenne à cibler pour un caractère et pour un milieu donnés.

De plus ces variations induisent un changement de l'ordre de classement des individus pour un caractère donné, comme ceci est indiqué par les coefficients de corrélations inter campagnes qui prennent de faibles valeurs. Le groupage des géotypes sur la base de plus d'un caractère ou architecture donnée, donne des résultats différents selon les campagnes, suggérant la sensibilité des caractères mesurés à la variation des campagnes.

Ces résultats corroborent ceux de Haddad (2015) qui rapporte que les caractères variétaux répondent différemment aux effets de l'environnement pris dans le sens d'année et dates de semis et le degré d'expression est géotype dépendant. Un géotype donné se comporte comme deux géotypes différents dans

deux environnements différents, suite à la présence de l'interaction géotype x environnements. Les conditions de croissance des différents environnements sont donc perçues différemment par les géotypes évalués.

L'étude des liaisons entre les derniers organes à se former, avant le grain, (dernier entrenœud, col de l'épi, la longueur de l'épi et barbes) montre qu'ils subissent la présence/absence, selon les campagnes, de la compétition pour les assimilats produits.

Les résultats de la présente étude indiquent que la durée à l'épiaison reste indépendante de la plus part des caractères mesurés, alors que le rendement en grains est fortement dépendante de la biomasse aérienne au même titre que la paille produite.

L'analyse de la relation entre la biomasse aérienne et le rendement en grains indique que la biomasse est valorisée différemment, sous forme de grains, selon les campagnes et que la contribution des différents géotypes change d'une campagne à l'autre. Pour chaque caractère analysé, il existe des géotypes qui dévient relativement moins d'un environnement à l'autre, donc sont plus réguliers.

Le groupement des géotypes, sur la base des variables mesurées, identifie trois groupes dans le classement, de par leurs performances pour les variables mesurées, sont  $G1 > G2 > G3$ , en milieu favorable et  $G2 > G1 > G3$ , en milieux défavorables.

Ces résultats suggèrent une adaptation spécifique du matériel végétal évalué, suite à la présence de l'interaction pour l'ensemble des caractères mesurés. Ils indiquent aussi la présence, parmi les géotypes évalués, de variétés tolérantes aux stress abiotiques et qui valorisent les milieux défavorables, ainsi que la présence de

variétés aptes à valoriser la fertilité des milieux et des variétés qui ne possèdent aucune de ces deux caractéristiques et qui de ce fait sont à éliminer.

## **VI. Conclusion**

L'évaluation de quinze géotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en se basant sur les caractères phéno-morphologiques et agronomiques pour sélectionner des géotypes adaptés, stables et performants, indique la présence de l'interaction géotype x environnement pour l'ensemble des variables mesurées. En effet les résultats obtenus montrent que les géotypes d'orge se sont comportés différemment d'une année à l'autre. Pour une même variable les géotypes évalués présentent des valeurs très différentes. Hormis la biomasse qui semble être un déterminant du rendement quelque soit l'année, les autres variables varient du point de vue relation entre eux d'une année à l'autre.

Sur la base de 11 caractères mesurés, trois groupes de géotypes aux comportements inter campagnes contrastés, sont identifiés. Le groupe des variétés Acsad<sub>176</sub>, Bahia, Barberousse et Express répond à la fertilité des milieux, il est proposé pour les milieux favorables à la production de l'orge. Le groupe des Fouara, Saida, Soufara et Tina, présente l'avantage de tolérer les stress, il est à recommander pour les environnement contraignants et moins favorables. Le groupe des variétés Bégonia, Jaidor, Plaisant, Rahma, Rihane, Tichedrett et Tissa semble mal adapté à l'environnements test, représenté par le site d'Oued Smar.

## **I. Introduction**

L'orge est une espèce de choix, elle représente des capacités d'adaptation à plusieurs stress abiotiques (sécheresse et salinité). Certaines variétés locales ou espèces sauvages (*Hordeum spontaneum*) représentent une large source de variation pour des caractères morpho-physiologiques susceptibles de contribuer à la stabilité du rendement (Forster *et al.*, 1999).

L'intensification et l'industrialisation tant la production que l'amélioration variétale ont engendré une réduction importante de la diversité génétique chez l'orge et plusieurs autres plantes cultivées (Russel *et al.*, 2004). Cela a eu pour effet d'entraîner la disparition des anciennes variétés, moins productives, mais plus adaptées aux conditions environnementales locales.

Certains caractères phénotypiques sont sensibles aux facteurs environnementaux et sont donc instables. Il devenait nécessaire de prendre en considération des caractères génétiques plus fiables pour mieux caractériser le germoplasme et cerner sa diversité taxonomique réelle (Chaabane *et al.*, 2011).

Diverses techniques de marquage moléculaires ont été développés en puissants outils pour l'analyse de la diversité et de l'établissement de relations entre les variétés (Abdellaoui *et al.*, 2007). Parmi ceux-ci, les microsatellites qui sont basés sur la réaction en chaîne par polymérase (PCR) et sont également connus comme les répétitions de séquences simples (SSR) (Morgante *et al.*, 2002). Ils sont réputés être les plus performants pour les analyses de la diversité dans de vastes collections de ressources génétiques (Balfourier *et al.*, 2006), et sont aussi à l'origine de nombreuses cartes génétiques, notamment pour les espèces autogames qui ont un polymorphisme élevé (Samouelian *et al.*, 2009).

Les microsatellites ou répétitions de séquences simples (SSR) sont en mesure de démontrer un niveau élevé de polymorphismes au sein et entre les espèces et les variétés. Dans ce contexte, ce travail a pour objectif la caractérisation de la diversité génétique de huit génotypes du genre *Hordeum*, issus du programme d'amélioration de la station de l'ITGC de Sétif au moyen de marqueurs moléculaires.

## **II. Matériel et méthodes**

### **II. 1. Matériel végétal**

Huit génotypes d'orge, issus du programme d'amélioration de la station de recherche agricole de Sétif, ont été utilisés pour évaluer le degré de polymorphisme chez l'orge. Ces génotypes sont : Acsad 176, Bahia, Fouara, Barberousse (Hamra), Rihane, Saida, Soufara et Tichedrett. Ces génotypes ont fait l'objet d'une évaluation agronomique durant deux campagnes agricoles (2006/2007 et 2007/2008). L'étude a été réalisée en 2011 au laboratoire de Biotechnologie Florimond Desprez

### **II. 2. Extraction et amplification d'ADN**

L'ADN des huit génotypes a été extrait et purifié à partir de jeunes feuilles de plantes de trois semaines en plein croissance selon la méthode du Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB) (Saghai Maroof *et al.*, 1984). L'ADN a été purifié par un traitement à la RNase afin d'atteindre un rendement d'ADN de bonne qualité. Ainsi la quantité d'ADN et la vérification de sa qualité a été faite par observation sur gel d'agarose à 0.8%.

Les conditions d'amplification ont été obtenues de Ramsey *et al.* (2000). Les réactions d'amplification de l'ADN ont été réalisées par 15 amorces microsatellites (tableau 15). Les réactions de la PCR ont été effectuées dans un volume total de 10 µl contenant 20 ng d'ADN génomique, son tampon concentré une fois contenant 25 mM de MgCl<sub>2</sub>, 0.3 unité Taq polymérase, 0.3 µM d'amorces avant (forward) et inverses (reverse), 200 µM dNTPs et 0.5 µCi de ( <sup>-32</sup>P) d'CTP. Après la PCR des volumes égaux de tampon de charge d'électrophorèse contenant 95% de formamide ont été rajouté aux échantillons, qui ont ensuite été dénaturé à 95° C, puis rapidement refroidis sur la glace, et soumis à une électrophorèse dans 6 % du gel de polyacrylamide.

L'amplification a été effectuée dans un thermocycleur de type Perkin Elmer Citus 480, selon le protocole de Liu *et al.* (1996) comprenant les étapes suivantes : dénaturation de l'ADN avec 18 cycles d'une minute à 94° C, suivi d'une minute d'élongation à 72° C. les températures de fusion (30s) ont été progressivement diminuées de 1° C tous les deux cycles de 64° C à 55° C. La réaction de PCR a continué pendant 30 cycles supplémentaires à 94° C pendant 1 minute, 55° C pendant 1 minute et 72° C pendant 1 minute. La réaction est terminée par une extension de 5 min à 72° C. La révélation des bandes d'ADN amplifiées a été faite par le bromure d'éthidium à une concentration de 1µg/ml.

**Tableau 15.** Séquences des amorces microsatellites utilisées

| <b>Amorces</b> | <b>Séquences de l'amorces</b>  |
|----------------|--|
| Bmag0023       | <b>F:</b> 5' AACACAGACCTACGGGTC 3'<br><b>R:</b> 5' CATGAGATAGATCCAAGCAC 3'           |
| Bmag0112       | <b>F:</b> 5' CCCGTGATATATTAAGATCATG 3'<br><b>R:</b> 5' AGGGGAGATCTTCTCTG 3'          |
| Bmag0211       | <b>F:</b> 5' ATTCATCGATCTTGTATTAGTCC3'<br><b>R:</b> 5' ACATCATGTGATCAAAGC 3'         |
| Bmag0579       | <b>F:</b> 5' CCTAGATAAGGAACATAGCCA3'<br><b>R:</b> 5' CAAAGACCCTAACTCATGTTC 3'        |
| Bmac0113       | <b>F:</b> 5' TCAAAGCCGGTCTAATGCT 3'<br><b>R:</b> 5' GTGCAAAGAAAATGCACAGATAG 3'       |
| Bmac0134       | <b>F:</b> 5' ACTGCATGATAGTATATGGAACA 3'<br><b>R:</b> 5' AATCACTAAGGGCACTAGATG 3'     |
| Bmac0306       | <b>F:</b> 5' CCTTGTGTGAGTGTGTGTG 3'<br><b>R:</b> 5' ACATGCACATGAACTAATCAA 3'         |
| Bmac0316       | <b>F:</b> 5' ATGGTAGAGGTCCCAACTG 3'<br><b>R:</b> 5' ATCACTGCTGTGCCTAGC 3'            |
| Bmac0399       | <b>F:</b> 5' CGATGCTTTACTATGAGAGGT 3'<br><b>R:</b> 5' GGGTCTGAAGCCTGAAC 3'           |
| EBmac0603      | <b>F:</b> 5' ACCGAAACTAAATGAACTACTTCG 3'<br><b>R:</b> 5' TGCAAAGTGTGCTATTAAGGG 3'    |
| EBmac0906      | <b>F:</b> 5' CAAATCAATCAAGAGGCC 3'<br><b>R:</b> 5' TTTGAAGTGAGACATTTCCA 3'           |
| EBmac0788      | <b>F:</b> 5' TAACTTACTTTATATCCATGGCA 3'<br><b>R:</b> 5' ATGATGAGAAGTCTTCACCC 3'      |
| 2FA            | <b>F:</b> 5' TAGAAGGAGGAGGAGCACAC3'<br><b>R:</b> 5' TACTCACACTCACCACCG 3'            |
| YLM            | <b>F:</b> 5' CAGGAGCTGGTGAATAGTGCCT 3'<br><b>R:</b> 5' TTAAAGGGCTCCGTGAAGC 3'        |
| HVM4           | <b>F:</b> 5' AGAGCAACTACCAGTCCAATGGCA 3'<br><b>R:</b> 5' GTCGAAGGAGAAGCGGCCCTGGTA 3' |
| HVM14          | <b>F:</b> 5' CGATCAAGGACATTTGGGTAAT3'<br><b>R:</b> 5' AACTCTCGGGTTCAACCAATA 3'       |
| HVM30          | <b>F:</b> 5' AGTGGGGAATGAGAGAATGG3'<br><b>R:</b> 5' TGCTTGTGGGTCATCACAC 3'           |

**F:** Forward; **R:** Reverse

### **II. 3. Analyse des données**

L'analyse des profils des différents produits de la PCR a été effectuée par un simple examen visuel. La présence des fragments a été déterminée visuellement et introduite dans une matrice de données binaires 0/1. La présence de la bande est représentée par 1, alors que l'absence de la bande par 0, et ceci pour chaque génotype. La similarité génétique entre les génotypes d'orge a été calculée en utilisant le coefficient de Jaccard ( $GS_j$ ) :

$$GS_j = N_{ij} / (N_i + N_j - N_{ij})$$

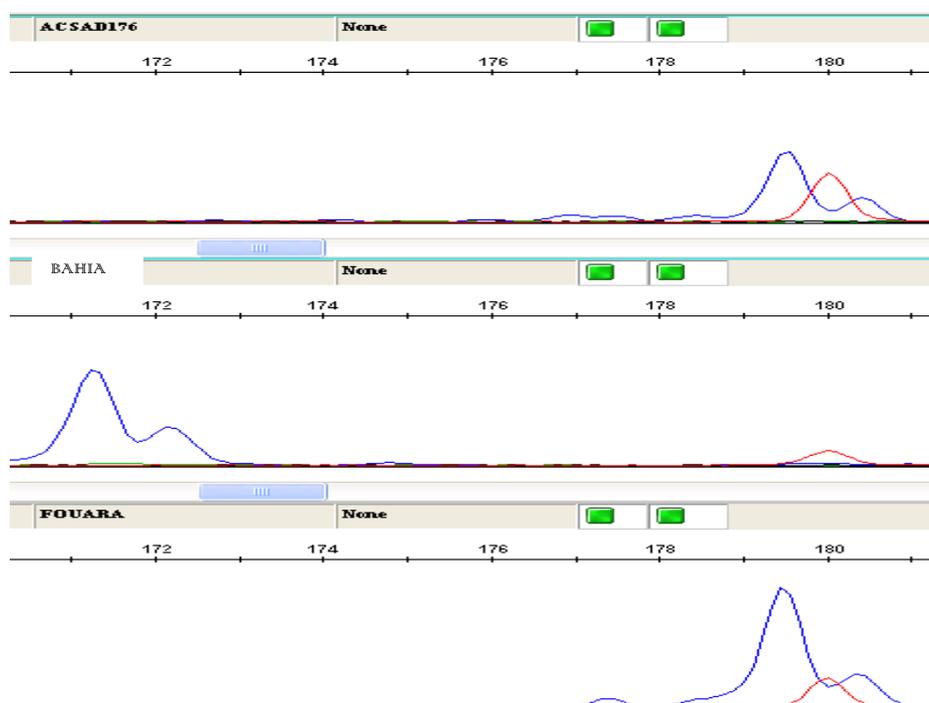
$N_i$  représente le nombre de bandes détectées sur le génotype  $i$  et pas sur le génotype  $j$   
 $N_j$  représente le nombre de bandes détectées sur le génotype  $j$  et pas sur le génotype  $i$   
 $N_{ij}$  est le nombre de bandes communes aux deux génotypes  $i$  et  $j$ .

A partir de ces données une analyse de groupement (Clustering), afin d'identifier des groupes de génotypes relativement homogènes sur la base de leur similarité en utilisant le logiciel DARwin (Pernier et Jacquemoud, 2006). Une analyse factorielle des correspondances (AFC) est réalisée aussi avec le même logiciel DARwin dans le but de regrouper les génotypes étudiés.

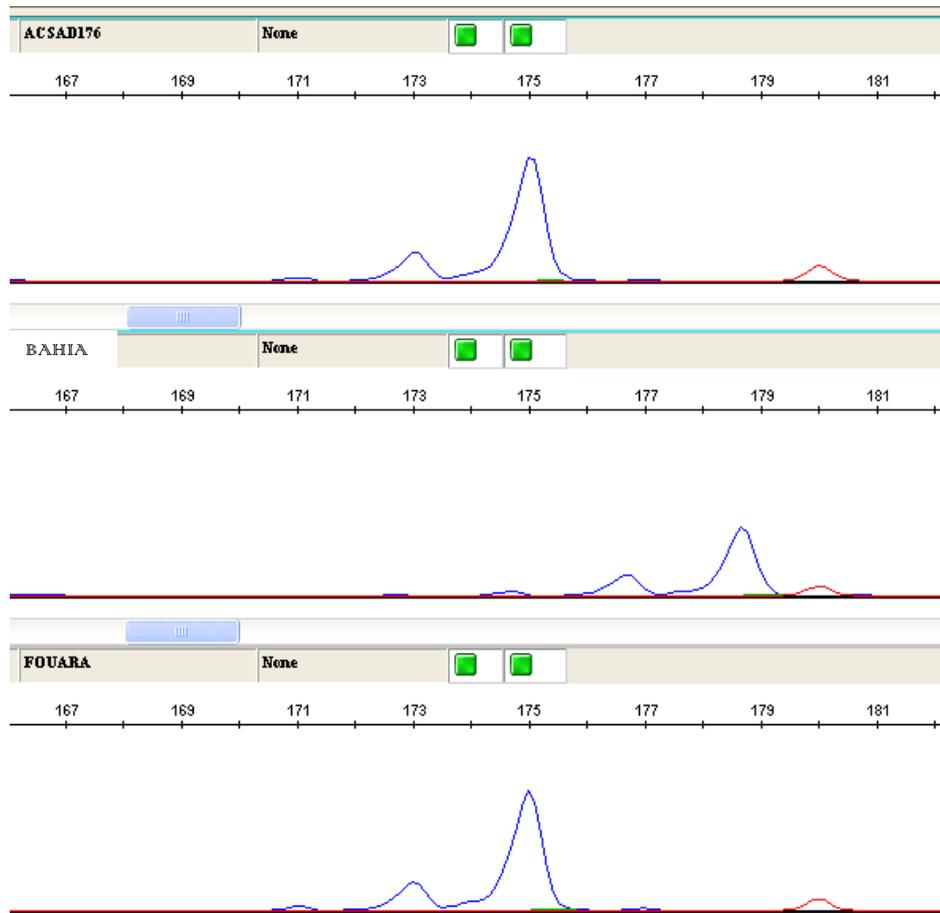
### **III. Résultat et discussion**

Les séquences des amorces microsatellites utilisées pour étudier la diversité génétique des huit génotypes d'orge sont indiquées dans le tableau 16. Les produits d'amplification obtenus ont généré des profils polymorphes pour 13 amorces, des profils monomorphes pour 2 amorces et deux amorces (2FA et YLM) n'ont généré aucune bande. Pour l'ensemble des amorces amplifiées, 121 bandes reproductibles ont été obtenus, avec un nombre moyen de 8.06 bandes par amorces. La taille des

produits amplifiés (allèles) varie entre 60 et 279 paires de bases (pb). Hamza *et al.* (2004) ont utilisé 17 marqueurs chez 26 variétés d'orge et ont obtenu une moyenne de 3.6 bandes par marqueurs. Abdellaoui *et al.* (2007), en étudiant la variabilité génétiques chez quelques accessions locales d'orges en utilisant 15 amorces SSR, ont obtenu un total de 43 bandes avec une moyenne de 2.87 bandes par marqueurs, ainsi que Ben Naceur *et al.* (2012), chez l'orge de l'Afrique du nord, 478 bandes ont été obtenues avec une moyenne de 2.13 bandes par marqueurs. Les valeurs moyennes de ces trois études sont faibles par rapport aux résultats de notre étude. Par contre Ben Naceur *et al.* (2008), en utilisant 11 marqueurs SSR ont détecté chez sept génotypes d'orge une valeur moyenne de 7.82 bandes par amorce pour un total de 72 bandes. Il est évident que le nombre total des allèles et le nombre moyen par locus dépend du nombre des génotypes, y compris la diversité de leur origine, ainsi que le nombre de marqueurs SSR (Nevimova *et al.*, 2009).



**Figure 20.** Amplification de l'ADN avec le marqueur Bmag0023. En ordonné, la hauteur du pic traduit l'intensité de fluorescence et en abscisse la longueur du fragment d'ADN amplifié. Pour ce cas, ACSAD176, le produit d'amplification a une taille de l'ordre de 179 paires de bases (pb) alors que Bahia a une taille voisine de 171 pb. Il y a donc un polymorphisme de longueur entre ces deux génotypes pour ce marqueur.



**Figure 21.** Amplification de l'ADN avec le marqueur EBmac0906. Pour ce cas, ACSAD176, le produit d'amplification a une taille de l'ordre de 175 paires de bases (pb) alors que Bahia a une taille voisine de 179 pb.

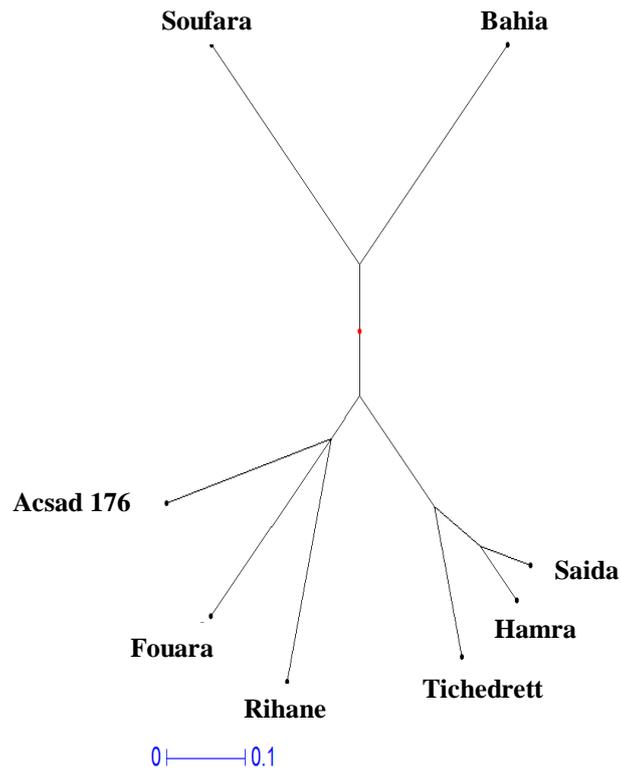
**Tableau 16.** Similarités génétiques entre les différents génotypes d'orge basées sur l'indice de Jaccard

|           | Acsad        | Dahbia       | Fouara       | Hamra        | Rihane | Saida        | Soufara | Tichedret |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|--------------|---------|-----------|
| Acsad 176 | 1            |              |              |              |        |              |         |           |
| Dahbia    | 0.192        | 1            |              |              |        |              |         |           |
| Fouara    | <b>0.482</b> | 0.208        | 1            |              |        |              |         |           |
| Hamra     | 0.230        | 0.240        | 0.363        | 1            |        |              |         |           |
| Rihane    | <b>0.476</b> | 0.250        | <b>0.480</b> | 0.347        | 1      |              |         |           |
| Saida     | 0.269        | 0.280        | 0.347        | <b>0.736</b> | 0.391  | 1            |         |           |
| Soufara   | 0.208        | <b>0.433</b> | 0.173        | 0.260        | 0.272  | 0.304        | 1       |           |
| Tichedret | 0.291        | 0.153        | 0.260        | <b>0.550</b> | 0.363  | <b>0.600</b> | 0.272   | 1         |

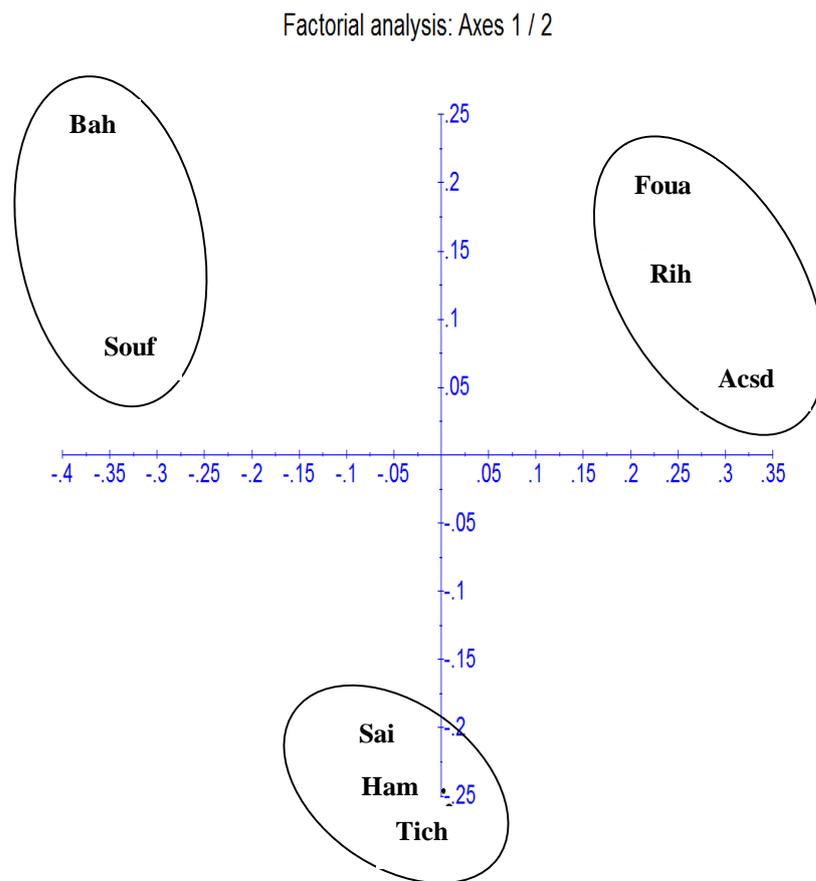
L'analyse des coefficients de similarités génétiques ( $GS_j$ ) des marqueurs SSR basées sur l'indice de Jaccard montre des valeurs variant entre 0.153 et 0.736, avec une moyenne de 0.350, expliquant l'existence d'une large variabilité entre les génotypes d'orge (Tableau 16). Les génotypes Hamra, Saida et Tichedret présentent une grande similitude génétique avec des  $GS$  de 0.736, 0.550 et 0.600 respectivement et font partie du même groupe, alors que les deux autres groupes sont formés de Dahbia qui apparaît proche de Soufara ( $GS= 0.433$ ), et de Acsad, Fouara et Rihane et qui semblent former le dernier groupe ( $GS= 0.482$ ,  $GS= 0.476$  et  $GS= 0.480$  respectivement). La plus grande divergence génétique ( $GS = 0.200$ ) a été enregistrée entre Fouara et les génotypes Dahbia et Soufara.

L'Analyse Factorielle des Correspondances et l'analyse cluster réalisées ont permis de différencier tous les génotypes analysés et de les classer dans trois groupes de génotypes génétiquement proches (Fig. 22, 23). D'après les résultats obtenus, nous avons constaté que les génotypes Bahia et Soufara se différencient du reste des génotypes et que ces derniers ont formé deux groupes de génotypes génétiquement proches. Le premier groupe est formé par les génotypes Acsad 176, Fouara et Rihane. Le deuxième groupe est formé par les génotypes Barberousse (Hamra), Saida et Tichedret.

En examinant l'histoire et l'origine des différents génotypes qui forment chacun des groupes constitués, nous avons noté que les génotypes regroupés ensemble ont le même pays d'origine. Dans le deuxième groupe les génotypes Saida et Tichedret qui sont bien adaptés aux hauts plateaux Algériens, sont issus de la sélection généalogique faite à l'intérieur des populations Algériennes et ont été sélectionnés par l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) (Adjel, 2013), le rapprochement du génotype Barberousse, qui est d'origine française, des deux autres génotypes de ce groupe serait probablement dû à son adaptation aux conditions de l'Afrique du nord, vu qu'il a été introduit en Algérie en 1985. Dans le troisième groupe, les génotypes Fouara et Rihane et Acsad176 se sont avérés génétiquement proches. Nous avons constaté qu'ils ont le même pays d'origine, les deux premiers génotypes de ce groupe ont été sélectionnés par l'ICARDA et Acsad176 par le Centre Arabe des Etudes en Zones Arides (ACSAD).



**Figure 22.** Cluster regroupant les génotypes d'orge étudiés



**Figure 23.** Analyse factorielle des correspondances génotypes d'origes étudiés

### **III. Conclusion**

Dans cette étude nous avons étudié la diversité génétique par les marqueurs moléculaires de type SSR chez huit génotypes d'orge. Les résultats obtenus mettent en exergue la différenciation des différents génotypes issus de diverses origines. Le test de similitude nous a permis de les classer en trois groupes de génotypes génétiquement proches: Bahia et Soufara se différencient du reste des génotypes et qui ont formé les deux autres groupes de génotypes. Le premier groupe est formé par les génotypes Acsad 176, Fouara et Rihane. Le deuxième groupe est formé les génotypes Barberousse (Hamra), Saida et Tichedret.

Cette étude nous a permis d'avoir une bonne discrimination et un regroupement des génotypes étudiés en se basant sur les marqueurs SSR et l'origine du matériel végétal utilisé. D'autres études sur la diversité génétique par l'utilisation des marqueurs moléculaires chez l'orge peuvent être menées dans un futur proche, en augmentant le nombre des génotypes à étudier tout en incluant les marqueurs phénotypiques.

Enfin, il est nécessaire d'accorder une grande importance à la conservation des ressources génétiques locales de l'orge afin de les préserver de l'érosion génétique, et qui peuvent être utilisées dans les futurs programmes d'amélioration des orges.

## **Conclusion générale**

Au cours de ces travaux de recherche, nous avons pu, en premier lieu étudier la performance de douze géotypes d'orge au niveau de six localités différentes. Pour cette première étude seulement le rendement en grains est mesuré, analysé et discuté. En second lieu, nous avons évalué quinze géotypes au niveau de la station expérimentale d'Oued Semar (Alger), en se basant sur les caractères phéno-morphologiques et agronomiques dans le but de sélectionner des géotypes plus productifs, adaptés et stables. La dernière étude a concerné l'évaluation de la diversité génétique par les marqueurs moléculaires de type SSR chez huit géotypes.

Pour l'évaluation des performances des géotypes d'orge cultivées dans six différentes localités, l'analyse de la variance combinée du rendement en grains indique une interaction géotype x localités hautement significative, et l'effet localité se présente comme la source de variation la plus importante Avec 62.94%. La régression conjointe a été la moins efficace dans l'interprétation de l'interaction car elle a expliqué qu'une faible partie, par contre l'analyse AMMI était plus efficace et a expliqué une grande part de l'interaction. Le géotype Bahia se présente comme étant un géotype instable, comme le suggère la variation assez large de son rendement nominal, et Il montre une adaptation spécifique, alors que Fouara est plus stable et performe mieux sur l'ensemble des localités, et il peut être recommandé pour l'ensemble des localités testées et les régions qu'elles représentent. Le géotype Acsad176 se distingue par sa stabilité, son rendement au-dessus de la moyenne générale et son indice de réliabilité élevé, donc il présente moins de risque s'il est adopté comme cultivar.

Les résultats de l'évaluation des 15 géotypes durant deux années révèlent la présence d'une large variabilité phénotypique, variabilité qui peut être mise à profit en sélection. L'analyse combinée des deux années montre la prépondérance de l'effet année sur l'expression des caractères mesurés, avec une année de loin plus favorable que la seconde.

Les résultats de la présente étude indiquent que la durée à l'épiaison reste indépendante de la plus part des caractères mesurés, alors que le rendement en grains est fortement dépendante de la biomasse aérienne au même titre que la paille produite. L'analyse de la relation entre la biomasse aérienne et le rendement en grains indique que la biomasse est valorisée différemment, sous forme de grains, selon les campagnes et que la contribution des différents géotypes change d'une campagne à l'autre.

Pour cette même étude, sur la base de 11 caractères mesurés, trois groupes de géotypes aux comportements inter campagnes contrastés, sont identifiés. Le groupe des variétés Acsad<sub>176</sub>, Bahia, Barberousse et Express répond à la fertilité des milieux, il est proposé pour les milieux favorables à la production de l'orge. Le groupe des Fouara, Saida, Soufara et Tina, présente l'avantage de tolérer les stress, il est à recommander pour les environnements contraignants et moins favorables. Le groupe des variétés Bégonia, Jaidor, Plaisant, Rahma, Rihane, Tichedrett et Tissa semble mal adapté à l'environnements test, représenté par le site d'Oued Smar.

L'analyse des huit géotypes par les marqueurs SSR a montré une différenciation significative entre les géotypes issus de diverses origines. Parmi les 17 amorces utilisées, 15 se sont révélées polymorphes et 2 monomorphes. Trois groupes de géotypes génétiquement proches ont été formés. Bahia et Soufara se différencient des autres géotypes et forme le premier groupe. Le deuxième groupe est

constitué des génotypes Acsad 176, Fouara et Rihane. Le dernier groupe regroupe les génotypes Hamra, Saida et Tichedret. D'autres études sur l'évaluation de la diversité génétique chez l'orge peuvent être menées dans un futur proche en augmentant le nombre des marqueurs moléculaires et des génotypes à étudier tout en incluant les caractères phénotypiques.

## Références

- Abbassenne F., Bouzerzour H., Hachemi L. 1997. Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum Desf*) en zones semi-aride. Annales Agronomie INA 18 :24 -36.
- Abdellaoui R., Cheikh Mohamed H., Ben Naceur M., Rahmoune C., Bentiba K. L., Ben Hmida J., 2007. Simple sequence repeat markers and physiological characterization of some local Tunisian barley accessions. Journal of Cell and Molecular Biology 6: 19-29.
- Acevedo E. 1987. Assessing crop and plant attributes for cereal improvement in water limited Mediterranean environment. Drought tolerance in winter cereals. Chichester, U K, John and wiley and sons, Nex York. pp. 303-320.
- Adjabi A., Bouzerzour H., Lelarge C., Benmahammed A., Mekhlouf A., Hannachi A. 2007. Relationships between grain yield performance, temporal stability and carbon isotope discrimination in durum wheat (*Triticum durum Desf.*) under Mediterranean conditions. Pakistan Journal of Agronomy 6: 294-301.
- Adjel F., Kadi Z., Bouzerzour H., Benmahammed A. 2013. Salt Stress Effects on Seed Germination and Seedling Growth of Barley (*Hordeum Vulgare L.*) Genotypes. Journal of Agriculture and Sustainability 2 (3): 223-237
- Ahokas H. 1977. A mutant of barley. Triploid inducer Barley Gene. Newel 7: 4-6.
- Allard, R. W., Bradshaw, A. D. 1964. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. Crop Science 4: 503-508.
- Annicchiarico P., Chiari T., Bazzani F., Bellah F., Doucene S., Yallaoui-Yaïci N., Abdellaoui Z., Belloula B., Bouazza L., Bouremel L., Hamou M., Hazmoune T., Kelkouli M., Ould-Sai, H., Zerargu, H. 2002. Response of durum wheat cultivars to Algerian environments. I. Yield. Journal of Agriculture and Environment for Internatinal Development 96: 157-187.

- Annicchiarico P., Perenzin M. 1994. Adaptation patterns and definition of macro-environments for selection and Recommendation of common-wheat genotypes in Italy. *Plant Breeding* 113: 197-205.
- Annicchiarico, P. 2002. Genotype x environment interactions: Challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. FAO Plant Production and Protection Paper No. 174. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Annicchiarico P., Bellah F., Chiari T. 2005. Defining sub regions and estimating benefits for a specific adaptation strategy by breeding programs: A case study. *Crop Scienc* 45: 1741-1749.
- Araus J. L., Ali Dib T., Nachit M. 1998. Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean condition. *Field crops Research* 55: 209-224.
- Asseng S., Turner N. C., Botwright T., Condon A. G. 2003. Evaluating the impact of a trait for increased specific leaf area on wheat yields using a crop simulation model. *Agronomy Journal* 95: 10619.
- Bahlouli F. 1998. Variabilité génétique et analyse de piste de germoplasme d'orge (*Hordeum vulgare*). Thèse de Magister. INA El Harrach, 80 p.
- Bahlouli F., H. Bouzerzour, A. Benmhammed , KL. Hassous. 2005. Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf ) cultivars under semi- arid conditions. *Pakistan Journal of Agronomy* 4: 360-365.
- Balfourier F., Ravel C., Bochar A. M., Exbrayat-Vinson F., Boutet G., Sourdille P., Dufour P., Charmet G. 2006. Développement, utilisation et comparaison de différents types de marqueurs pour étudier la diversité parmi une collection de blé tendre. *Les Actes du BRG* 6: 129-144.
- Balota M., Payne W. A., Evett S. R., Lazar M. 2007. Canopy temperature depression sampling to assess grain yield and genotypic differentiation in winter wheat. *Crop Science* 47: 1518-1529.

- Banga Banga Kalala J. P., Albouchi A., Bouzaien G., Nasr ZTshibangu., K. W. T. 2012. Rendement agronomique du blé et de l'orge dans les parcelles associées des jeunes pacaniers à Sidi Mbarek au nord de la Tunisie. *Tropicultura* 30 : 72-78
- Basford K. E., Cooper M. 1998. Genotype environment interactions and some considerations of their implications for wheat breeding in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 49:153-174.
- Becker H. C., Leon J. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101: 1-23.
- Belhassen E., This D., Monneveux P. 1995. L'adaptation génétique aux contraintes de la sécheresse. *Cahiers Agricultures* 4 : 251-261.
- Belkharchouche H., Benbelkacem A., Bouzerzour H., Benmahammed A. 2015. Flag Leaf and Awns Ablation and Spike Shading Effects on Spike Yield and Kernel Weight of Durum Wheat (*Triticum Turgidum* L. Var. Durum) Under Rainfed Conditions. *Advances in Environmental Biology* 9(8):184-191.
- Ben Abdallah N., Ben Salem M. 1993. Paramètres morpho-physiologiques de sélection pour la résistance à la sécheresse des céréales. In: Tolérance à la sécheresse des céréales en zones méditerranéennes. *Les colloques* 64 : 275-298.
- Ben Naceur A., Chaabane R., El-Faleh M., Abdelly C., Ramla D., Nada A., Sakr M., Ben Naceur M. 2012. Genetic diversity analysis on North Africa's barley using SSR markers. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* 10: 13-21.
- Benbelkacem, A. 2013. Rapport national des activités du projet Inraa-Icarda 2012-2013. 45p.
- Bendjamaa A, Bouzerzour H, Benbelkacem A. 2014. Adaptability of Durum Wheat Genotypes (*Triticum turgidum* L. Var durum) to Contrasted Locations. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 8 (6): 390-396.

- Benmahammed A. 1996. Association et héritabilités de quelques caractères à variation continue chez l'orge (*Hordeum vulgare*). Thèse de Magister. INA El Harrach, 80 p.
- Benmahammed A. 2005. Hétérosis, transgression et efficacité de la sélection précoce retardée de la biomasse, du nombre d'épi et utilisation des indices chez l'orge (*Hordeum vulgare*). Thèse de Doctorat. Université de Constantine, 125 p.
- Benmahammed A. Kribaa M. Bouzerzour H. Djekoune A. 2008. Relationships between F2, F3 and F4-derived lines for above ground biomass and harvest index of three barley (*Hordeum vulgare* L.) crosses in a Mediterranean-type environment. *Agricultural Journal* 3: 313-318.
- Benmahammed A., Hassous K. L., Bouzerzour H. 2001. Synthèse des performances des nouvelles sélections d'orge (*Hordeum vulgare* L.) réalisées par les stations ITGC de Saida, Sidi Bel Abbés, Tiaret, Beni Slimane, Oued Smar, Khémis Miliana, Sétif et Khroub, au cours de la période 1980/81 à 1996/97. *Céréaliculture* 36: 13-20.
- Benmahammed A., Kermiche A., Hassous K. L., Djekoune A., Bouzerzour H. 2003. Analyse de l'interaction génotype x milieux du rendement de l'orge *Hordeum vulgare* L. en zone semi-aride. *Revue Sciences and Technologie* 19: 98-103.
- Benmahammed A., Kribaa M., Bouzerzour H., Djekoune A. 2010. Assessment of stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) advanced breeding lines under semi-arid conditions of the eastern high plateaus of Algeria. *Euphytica*, 172: 383-394.
- Bensemmane L. 2015. Analyse de l'adaptation de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) sous conditions semi-arides. Thèse de doctorat des sciences *Option* : Biologie et physiologie végétales. Département d'Ecologie et de Biologie végétales, Faculté SNV, Université Sétif-1. 130 p.

- Blum A. 1988. Plant breeding for stress environments. CRC Press Inc Florida, USA. 223 p.
- Blum A., Pnuel Y. 1990. Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a Mediterranean environment. Australian Journal of Agriculture Research 41: 799-810.
- Bonjean A., Picard E. 1990. Les céréales à paille : Origine, histoire, économie et sélection. Ed. Soft Word group ITM. 310 p.
- Bothmer von R., Sato K., Komatsuda T., Yasuda S., Fischbeck G. 2003. The domestication of cultivated barley. In: von Bothmer R, Hintum Tv, Knüpffer H, Sato K, editors. Diversity in barley (*Hordeum vulgare*). Amsterdam. Elsevier, pp. 9-27.
- Bothmer von R., Jacobsen N. 1985. Origin, taxonomy and related species. In Ramsusson D C (ed.) Barley. American Society of Agronomy Monograph 26. Madison, WI, USA, pp 19-51.
- Boukerrou L., Rasmusson D. C. 1990. Breeding for high biomass yield in spring barley. Crop Science 30: 31-35.
- Bouzerzour H. 1998. Sélection pour le rendement, le degré de précocité, la biomasse aérienne et l'indice de récolte chez l'orge (*Hordeum vulgare*) en zone semi-aride. Thèse Doctorat d'état. Université de Constantine, 170 p.
- Bouzerzour H., Djekoune A., Benmahammed A., Hassous K. L. 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., Monneveux P. 1992. Analyse de facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des hauts plateaux de l'est Algérien. Séminaire sur la tolérance à la sécheresse des céréales en zones méditerranéennes. Les colloques 64: 139-148.

- Bouzerzour H., Zerargui H., Dekhili M. 1995. Relationships among duration of vegetative and grain filling periods, yield components and grain yield in durum wheat. *Awamia* 75: 15-23.
- Bouzerzour, H., Dekhili M. 1995. Heritability, gains from selection and genetic correlations for grain yield of barley grown in two contrasting environments. *Field Crops Research* 41: 173-178.
- Brancourt-Humel M. 2000. Sélection pour l'adaptation au milieu et prise en compte des interactions génotype x milieu. *OCL*. 7:504-511
- Brancourt-Humel M, V. Biarnès-Dumoulin, JB. Denis. 1997. Points de repère dans l'analyse de la stabilité et de l'interaction génotype-milieu en amélioration des plants. *Agronomie* 17 : 2196246.
- Brancourt-Humel, M., C. Lecomte, J.M. Meynard. 1999. Diagnosis of yield-limiting factors on probe genotypes for characterizing environments in winter wheat trials. *Crop Scienc* 39:179861808.
- Ceccarelli S., Grando S., Impiglia N. 1998. Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. *Euphytica* 103: 307-318.
- Ceccarelli, S., S. Grando, F. Capettini. 2011. Barley: Breeding, history, progress, objectives, and Technology in North and East Africa and Latin America. Chapter book 8. *Barley : production, improvement, and uses / edited by Steven E. Ullrich. Library of Congress Cataloging 673 pages.*
- Chaabane R. El Falah M, Ben Salah M., Ben Naceur M., Abdelly C., Ramla D., Nada A., Saker M.. 2009. Molecular characterization of Tunisian barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes using micro satellites (SSRs) markers. *European Journal of Scientific Research* 36: 6-15.
- Chaves M. M., Pereira J. S. Maroco J. Rodrigues M. L. Ricardo C. .P. .P. Osorio M. L. Carvatho I. Faria T., Pinheiro C. : 2002. How plants cope with water stress in the field photosynthesis and growth ? *Annales Botanique* 89: 907- 916

- Clarck J. M., Mac-Caig T. N. 1982. Excised leaf water relation capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Canadian Journal of Plant Science* 62: 571-576.
- Clarke J. M., Mc Craig T. N. 1982. Evaluation of techniques for screening for drought resistance in wheat. *Crop Science* 22: 503-506.
- Clarke J. M., Romagosa I., Depauw R. M. 1991. Screening durum wheat germplasm for dry growing conditions : morphological and physiological criteria. *Crop Science* 31(3):
- Clavier., Cauderon A. 1951. Un cas d'haploïdie chez l'orge cultivée. *Ann. INRA* 1, série B, 332-335.
- Cropstat 7.2. 2008. Software package for windows, International Rice Research Institute, IRRI, Manila.
- Crossa J., Gauch H. G., Zobel R. W. 1990. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science* 30: 493-500.
- Dakheel A. .J., Nasi I., Mahalakshmi V., Peacock J. M. 1993. Morpho-physiological traits associated with adaptation of durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Aspects of Applied Biology* 34. Physiology of varieties: 297-307.
- Ebdon J. S., Gauch H. G. 2002. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turf grass performance trials: I. Interpretation of genotype x environment interaction. *Crop Science* 42: 489-496.
- Eberhart S. A., Russell W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6: 36-40.
- Ehdaie B., Alloush G. A., Madore M. A., Waines J. G. 2006. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in Wheat: I. Post anthesis changes in internode dry matter. *Crop Science* 46: 7356746.

- El Hafid R., Smith D. H., Karrou M., Samir K. 1998. Morphological attributes associated with early-season drought tolerance in spring durum wheat in a Mediterranean environment. *Euphytica* 101: 273-282.
- Fellah A., Benmahammed A., Djekoune A., Bouzerzour H. 2002. Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Actes de l'IAV, Hassan II, (Maroc). 64: 35-42.
- Finlay K. W., Wilkinson G. N. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14: 742-754.
- Forster B., Ellis R., Newton A., Tuberosa R., This D., El-Gamal A., Bahri H., Ben Salem M. 1999. Molecular breeding of barley for droughted low input agricultural conditions. In *Plant nutrition - Molecular biology and genetics*. G Gissel-Nielsen et A Jensen Eds. Kluwer Académie publishers Dordrecht Boston London, 359-363.
- Gallais A. 1994. La sélection assistée par marqueurs. *Le Sélectionneur Français* 43: 43-62.
- Gallais A. 2010. Homogénéité vs hétérogénéité et performances des structures variétales en amélioration des plantes. *Le Sélectionneur Français* 61: 61-74.
- Gallais A. 2013. De la domestication à la transgénèse. Evolution des outils pour l'amélioration des plantes. Editions Quae, France, 173 p.
- Gallais A., Bannerot H. 1992. Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection. INRA éditions. 759 p.
- Gauch H. G., 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 designs. Elsevier, Amsterdam. 50 pages
- Godfray, H. C. J., Crute I. R., Haddad L., Lawrence D., Muir J. F., Nisbett N., Lawrence D., Pretty J., Robinson S., Toulmin C., Whiteley R.. 2010. The future of the global food system », *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, vol. 365 (1554): 2769-2777.

- Grando S., Baum M., Ceccarelli S., Goodchild A., El-Haramein F. L., Jahoor A., Backes G. 2005. QTL for straw quality characteristics identified in recombinant inbred lines of a *Hordeum vulgare* × *H. spontaneum* cross in a Mediterranean environment. *Theoretical and Applied Genetics* 110 (4): 688-695.
- Haddad, L. 2009. Contribution à l'étude de la stabilité des rendements du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. Mémoire de Magister, Département Agronomie, Faculté des Sciences, UFAS, 70 p.
- Hagberg A., Hagberg G. 1980. High frequency of spontaneous haploids in the progeny of an induced mutation in barley. *Hereditas* 33: 341-343.
- Hakimi M. 1993. L'évolution de la culture d'orge: Le Calendrier Climatique Traditionnel et les Données Agro-météorologiques Modernes. In: *The Agro meteorology of Rainfed Barley-based Farming Systems*. Proc. Symp. WMO ICARDA. Tunis March, pp 157-166.
- Hamli S., Labhilili M., kadi K., Kabthan A. E. H., Tagouti M., Kamar M., Kanzeri R., Alyadini M., Bouzerzour H. 2015. Heat shock effects on fluorescence, membrane stability, chlorophyll content and metabolites accumulation in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) seedlings and relationships with stress tolerance indices. *Advances in Environmental Biology* 9 : 116-125.
- Hamza S., Ben Hamida W., Rebaï A., Harrabi, M. 2004. SSR based genetic diversity assessment among Tunisian winter barley and relationship with morphological traits. *Euphytica*, 135, 1: 107-118.
- Hargas H. 2007. Identification et sélection des caractères de résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions semi-arides. Thèse Magister. INA El Harrach, 73 p.
- Hsu P., Walson P. D. 1971. Relationships between yield and its components and structures above the flag leaf node in spring wheat. *Crop Science* 11: 190-193.
- <http://www.itis.gov/index.html>. Integrated Taxonomic Information System.

- Hunt, L. A., van der Poorten G., Pararajasingham S. 1991. Post anthesis temperature effects on duration and rate of grain filling in some winter and spring wheats. *Canadian Journal of Plant Science* 71:609-617.
- Jestin L. 1993. Quelques aspects de l'amélioration génétique de l'espèce òorge cultivée (*Horeum vulgare L.*) In Amélioration du blé tendre d'hiver, du blé dur et de l'orge à l'INRAA (ed) INRAA France: 160-172.
- Jouve P. 1984. Relation entre déficit hydrique et rendement des céréales (blé tendre et orge) en milieu aride. *Agronomie Tropicale* 39 (4): 308-315.
- Kadi Z., Adjel F., Bouzerzour H. 2010. Analysis of the genotype x environment interaction of barley grain yield (*Hordeum vulgare L.*) under semi-arid conditions. *Advances in Environmental Biology* 4: 34-40.
- Khaldoun A. 1989. Etude du comportement de l'orge exploitée à double fin. *Fourrages* 117: 77-88.
- Kirigwi, F. M., Van Ginkel M., Trethowan R., Sears R. G., Rajaram S., Paulsen G. M., 2004. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. *Euphytica* 135: 361-371.
- Lakew B., Semeane Y., Alemayehu F. 1995. Evaluation of Ethiopian barley landraces for disease and agronomic characters. *Rchis* 14: 21-24.
- Le Gouis J. 1992. A comparison between two- and six-row winter barley genotypes for above-ground dry matter production and distribution. *Agronomie*, vol. 12 (2) : 163-171
- Leterme, P., H. Manichon, and J. Roger-Estrade. 1994. Analyse intégrée des rendements du blé tendre et de leurs causes de variation dans un réseau de parcelles d'agriculteurs du Thymerais. *Agronomie* 14:341-361.
- Lin C. S., Binns M. R., Lefkovitch L. P. 1986. Stability analysis: Where do we stand? *Crop Science* 26:894-900.
- Liu, Z.-W., R. M. Biyashev and M. A. Saghaimarouf, 1996 Development of simple sequence repeat markers and their integration into a barley linkage map. *Theoretical and Applied Genetics* 93: 869-876.

- Ludwig F., Asseng S. 2006. Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia, *Agricultural Systems*, vol. 90: 159-179.
- Mekhlouf A., Dehbi F., Bouzerzour H., Hannachi A., Benmahammed A., Adjabi A. 2006. Relationships between cold tolerance, grain yield performance and stability of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes grown at high elevation area of eastern Algeria. *Asian Journal of Plant Science* 5 (4): 700-708.
- Menad A., Meziani N., Bouzerzour H., Benmahammed A. 2011. Analyse de l'interaction génotype x milieux du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.): application des modèles AMMI et la régression conjointe. *Nature & Technologie* 05: 99-106.
- Meziani N. 2001. Etude de la tolérance à la sécheresse de quelques variétés d'orge (*Hordeum vulgare*). Essai de production de plants haploïdes. Thèse Magister, INA El Harrach, 106 p.
- Meziani N., Bouzerzour H., Benmahammed A., Menad A., Benbelkacem A. 2011. Performance and adaptation of Barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) to diverse locations. *Advances in Environmental Biology* 5: 1465-1472.
- Monneveux P., This D. 1997. La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés. *Sciences et changements planétaires. Sècheresse* 8: 27- 37.
- Monneveux P. 1991. Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales? *In: L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. AUPELF-UREF. John Libbey Euritest.:* pp.165-186.
- Morgante M., Hanafey M., Powell W. 2002. Microsatellite are preferentially associated with nonrepetive DNA in plant genomes. *Nature genetics* 30: 194-200.

- Nevimova H., Bednar J., Vyhnanek T. 2009. Polymorphisme of microsatellite markers on chromosomes 3H and 7H in Barley genotypes resistant and susceptible to *Rhynchosporium secalis*. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis Sbornik Mendelovy Zemedelske a Lesnicke Univerzity V Brne, vol. LVII (2): 69-78.
- Nevo E, Chen GX. 2010. Drought and salt tolerances in wild relatives for wheat and barley improvement. Plant, Cell and Environment 33: 6706685.
- Nouar H., Bouzerzour H., Haddad L., Menad A., Hazmoune T., Zerargui H. 2012. Genotype x Environment Interaction Assessment in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf) using AMMI and GGE Models. Advances in Environmental Biology 6 (11): 3007-3015
- Nouar H., Haddad L., Laala Z., Oulmi L., Zerargui H., Benmahammed A., Bouzerzour H. 2010. Performances comparées des variétés de blé dur : Mohammed Ben Bachir, Waha et Boussalam dans la wilaya de Sétif. Céréaliculture, 54: 23-29.
- Olmeda-Arcega O. B., Elias E. M., Cantrell R. G. 1995. Recurrent selection for grain yield in durum wheat. Crop Science 35: 714-719.
- Openstat. 2009. Free Software package, version 1, release 2, Rev.2, written by William G. Miller.
- Oulmi A., Benmahammed A., Laala Z., Adjabi A., Bouzerzour H. 2014. Phenotypic variability and relations between the morpho-physiological Traits of three F5 populations of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) evaluated under semi-arid conditions. Advances in Environmental Biology 8: 4366443.
- Perrier X., Jacquemoud-Collet J. P. 2006. DARwin software. <http://darwin.cirad.fr/>
- Prowse T. A. A., Brook B. W. 2011. Climate change, variability and management impacts in Australia. Pacific Conservation Biology 17: 168-178
- Purchase J. Hatting L.H., Van Deventer C. S. 2000. Genotype x environment interaction of winter wheat in South Africa: Stability analysis of yield performance. South African Journal of Plant and Soil 17: 101-107.

- Rahal-Bouziane H., Abdelguerfi A. 2012. Evaluation agronomique et morphologique des orges traditionnelles (*Hordeum vulgare*) cultivées dans les oasis de la région d'Adrar (Algérie). *Revue Recherche Agronomique (INRAA)* 25 : 89-105
- Ramburan S. 2012. The nature and causes of sugarcane genotype x environment interactions: Integrated approaches to analysis and interpretation. Ph-D thesis. Faculty of Natural and Agricultural Sciences, Department of Plant Sciences, University of the Free State, Bloemfontein (South Africa). 180 pages.
- Ramsay L, Macaulay M, Ivanissevich DS, et al. A simple sequence repeat-based linkage map of barley. *Genetics* 156: 1997-2005.
- Rane J., Pannu R. K., Sohu V. S., Saini R. S., Mishra B., Shoran J., Crossa J., Vargas M., Joshi A. K. 2007. Performance of yield and stability of advanced wheat genotypes under heat stress environments of the Indo-Gange plains. *Crop Science* 47: 1561-1573.
- Rebetzke G. J., Richards R. A., Fettell N. A., Long M., Condon A. G., Forrester R. I., Botwright T. L. 2007. Genotypic increases in coleoptile length improves stand establishment, vigour and grain yield of deep-sown wheat. *Field Crops Research* 100: 1062.
- Rekika D. 1997. Identification et analyse génétique des caractères physiologiques liés au rendement en conditions de sécheresse chez le blé dur. Intérêt potentiel des espèces sauvages apparentées pour l'amélioration de ces caractères. Thèse Doctorat, ENSA Montpellier, France, 158 p.
- Richards R. A. Lukacs Z. 2002. Seedling vigour in wheat ó sources of variation for genetic and agronomic improvement *Australian Journal of Agricultural Science* 53:41-50.
- Richards R. A., Rebetzke G. J., Condon A. G., van Herwaarden A. F. 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Science* 42: 111-121.

- Richards R. A., Rebtzke G. J., Van Herwaarden A. F., Duggan B. L., Condon A. G. 1997. Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture* 36: 254-266.
- Russell J., Booth A., Fuller J., Harrower B., Hedley P., Machray G. and Powell W. 2004. A comparison of sequence-based polymorphism and haplotype content in transcribed and anonymous regions of the barley genome. *Genome* 47: 389-398.
- Samonte S.O.P.B., Wilson L. T., McClung A. M., Medley J.C 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE Biplot analyses. *Crop Science* 45: 2414-2424.
- Samouelian F., Gaudin V., Boccara M. *Génétique moléculaire des plantes*. Editions Quae. 208 p.
- Sayar R., H. Khemira, M. Kharrat. 2007. Inheritance of deeper root length and grain yield in half diallel durum wheat (*Triticum durum* Desf.) crosses. *Annals Applied Biolog*, 151: 213-220
- Saghai-Marouf M. A., Soliman K. M., Jorgensen R. A., Allard R. W. 1984. Ribosomal DNA spacer-length polymorphism in barley: mendelian inheritance, chromosomal location, and population dynamics. *Proceedings of the National Academy Sciences* 81:8014-8019.
- Sharma R. C. 1993. Selection for biomass yield in wheat. *Euphytica* 70: 35-42.
- Sharma R. C., et Smith E. L. 1986. Selection for high and low harvest index in winter wheat populations. *Crop Science* 26: 1147-1150.
- Siddique K. H. M., Belford R. K., Perry M. W., Tennant D. 1989. Growth development and light interception of old and modern wheat varieties in Mediterranean environment. *Australian Journal of Agriculture and Research* 40:473-487.
- Sinebo W. 2005. Trade off between yield increase and yield stability in three decades of barley breeding in a tropical highland environment. *Field Crops Research* 92:35- 52.

- Sinebo W., Gretzmacher R., Edelbauer A. 2004. Genotypic variation for nitrogen use efficiency in Ethiopian barley. *Field Crops Research* 85: 43-60.
- Soltani A, Galeshi S. 2002. Importance of rapid canopy closure for wheat production in a temperate sub-humid environment: Experimentation and simulation. *Field Crops Research* 77: 17-30.
- Tanksley S. D., Young N. D., Patterson A. H., Bonierabale M. W. 1989. RFLP mapping in plant breeding: new tools for an old science. *Bio/Technology* 7: 257-264.
- Triboi E., Planchon J., Magne J. 1985. Déterminisme du poids moyen du grain chez le blé. Effet sur la variation du rendement. *CR Acad. Agri de France* 71 : 871-886.
- Turner N.C. 1986. Crop water deficit: a decade of progress. *Advances in Agronomy* vol. 39: 1-53.
- Turner N.C. 1997. Further progress in crop water relations. *Advances in Agronomy* 58: 293-338.
- Ullrich, S.E. 2011. Barley : production, improvement, and uses. *Library of Congress NY*. 673 pages.
- Van Oosterom E. J. , Acevedo E. 1992. Adaptation of barley (*Hordeum vulgare* L.) to harsh Mediterranean environments. III. Plant ideotype and grain yield. *Euphytica* 62: 29-38.
- Vargas M., Crossa J., Van Eeuwijk F. A., Ramirez M. E., Sayre K. 1999. Using partial least squares, factorial regression and AMMI models for interpreting genotype x environment interaction. *Crop Science* 39: 955-967.
- Worland A. J., Apendina M. L, Sayers E. J. 1994. The distribution in European winter wheat of genes that influence ecoclimatic adaptability while determining photoperiod insensitivity and plant height. *Euphytica* 80 : 219-228.

- Yan W., Hunt L. A, Sheng Q., Szlavnic Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science* 40: 597-605.
- Yan W., Hunt L. A. 2001. Interpretation of genotype x environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Science* 41: 19-25.
- Yang, J., Zhang J., Wang Z., Zhu Q., Liu L. 2001. Water deficit induced senescence and its relationship to the remobilization of pre-stored carbon in wheat during grain filling. *Agronomy Journal* 93: 196-206.
- Zadocks J. C., Chang T. T., Konzak C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14: 415-421.
- Zarkouna T., Daaloul A. 1994. Etude de quelques critères de sélection pour le rendement chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) à l'aide d'un croisement diallele entre sept cultivars. *Revue de l'INAT* 9 : 117- 131.
- Zobel R.W., Wright M. J., Gauch H.G. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal* 80: 388-393.

**Résumé:** Le présent travail comporte trois études. En premier lieu l'étude de la performance de douze génotypes d'orges au niveau de six localités différentes. En second lieu, l'évaluation de quinze génotypes au niveau de la station expérimentale d'Oued Semar (Alger) durant deux campagnes agricoles (06/07, 07/08). La dernière étude a concerné l'évaluation de la diversité génétique par les marqueurs moléculaires de type SSR chez huit génotypes. Le matériel végétal utilisé est issu du programme d'amélioration de la station de l'ITGC de Sétif. Pour la première étude, l'analyse de la variance combinée du rendement en grains indique une interaction génotype x localités hautement significative, et l'effet localité se présente comme la source de variation la plus importante Avec 62.94%. Le génotype Bahia se présente comme étant un génotype instable, comme le suggère la variation assez large de son rendement nominal, et il montre une adaptation spécifique, alors que Fouara est plus stable et performe mieux sur l'ensemble des localités, et il peut être recommandé pour l'ensemble des localités testées et les régions qu'elles représentent. Pour la seconde étude, sur la base de 11 caractères mesurés, trois groupes de génotypes aux comportements inter campagnes contrastés, sont identifiés. Le groupe des variétés Acsad<sub>176</sub>, Bahia, Barberousse et Express répond à la fertilité des milieux, il est proposé pour les milieux favorables à la production de l'orge. Le groupe des Fouara, Saida, Soufara et Tina, présente l'avantage de tolérer le stress, il est à recommander pour les environnements contraignants et moins favorables. Le groupe des variétés Bégonia, Jaidor, Plaisant, Rahma, Rihane, Tichedret et Tissa semble mal adapté à l'environnement test, représenté par le site d'Oued Smar. L'étude de la diversité génétique a permis de classer les génotypes en trois groupes génétiquement proches : le groupe de Bahia et Soufara, qui se différencie des deux autres groupes de génotypes. Le groupe formé par les génotypes Acsad 176, Fouara et Rihane et le groupe formé les génotypes Hamra, Saida et Tichedret.

Mots clés: *Hordeum vulgare*, AMMI, interaction GxL, rendement en grains, stabilités SSR.

**Abstract:** This work includes three studies. The first is to study the performance of twelve genotypes of barley at six different locations. The second is to evaluate fifteen genotypes at the experimental station of Oued Semar (Algiers) during two cropping seasons (06/07, 07/08). The latest study is to evaluate the genetic diversity in eight genotypes by SSR type of molecular markers. Plant material used is derived from the breeding program of ITGC station of Setif. For the first study, grain yield combined analysis of variance indicates highly significant interaction genotype x localities, and locality effect is as the most important source of variation with 62.94%. The genotype Bahia purports to be an unstable genotype, as suggested by the wide variation in its nominal yield, and it shows a specific adaptation, while Fouara is more stable and performs better on all localities, and it can be recommended for all tested areas and regions they represent. For the second study, based on 11 traits measured, three genotype groups are identified. The group of genotypes Acsad176, Bahia, Barbarossa is proposed for environments favorable to the barley production. The group represented by Fouara, Saida, Soufara and Tina, has the advantage of tolerating stress, is recommended for less favorable environment. The group of Begonia varieties, Jaidor, Pleasant, Rahma, Rihane, Tichedret and Tissa seems unsuitable to the Oued Smar site. For The study of genetic diversity, genotypes were classified into three groups genetically close: Group of Bahia and Soufara, which differ from the other two groups of genotype. The group formed by Acsad 176, Fouara and Rihane genotypes and the group formed the Hamra, Saida and Tichedret genotypes.

**Key words:** *Hordeum vulgare*, AMMI, GxL Interaction, grain yield, stability, SSR.

**المخلص:** يشمل هذا العمل ثلاث دراسات. أول هذه الدراسات هي دراسة كفاءة اثني عشر نوع من الشعير في إنتاج البذور في ستة مواقع مختلفة. ثانيا دراسة سلوك خمسة عشرة نوع خلال موسمين (07/06، 08/07) على الموقع التجريبي لمحطة الابحث للمحاصيل الكبرى بواد السمار (الجزائر العاصمة). اما الدراسة الثالثة تمثلت في دراسة التنوع الجيني عند ثمانية انواع من الشعير باستعمال الواسمات الجزيئية من نوع RSS. وتستخدم المادة النباتية المستعملة من برامج الوراثة للنباتات لمحطة سطيف للمحاصيل الكبرى. بالنسبة للدراسة الأولى، دل تحليل التباين المشترك لمحصول الحبوب على وجود نمط تفاعل كبير بين انواع الشعير والمناطق البيئية، وكان تأثير المكان أهم مصدر للاختلاف ب 62.94%. يعتبر النوع باهيا نوع غير ويتميز بتكيف محددة، في حين النوع الفوارة هو أكثر استقرارا وأداء أفضل في جميع مستقر، وذلك للتباين الواسع إلى حد ما في الانتاج الاسمي، المناطق، وأنه يمكن أن يوصى لجميع المناطق والأقاليم الذي يمثلها. للدراسة الثانية، وعلى أساس الصفات 11 التي تمت دراستها، تم تحديد ثلاث مجموعات ذات تصرفات متناقضة بين الانواع التي درست. المجموعة المتكونة من اكساد، باهيا، بارباروس و اكسبراس تقترح المناطق المواتية لإنتاج الشعير. المجموعة الثانية المتكونة من فوارة، سعيدة، سوفارا وتينا، تتمتع بميزة تحمل الاجهاد، وهذه المجموعة مستوصى بها للمناطق اقل مواتبات. واما المجموعة المتكونة من بيكونيا، جيبور، بليزون، رحمة، ريجان، تيشدرت و بيسا فهي غير مناسبة لمنطقة واد السمار. وسمحت دراسة التنوع الجيني لتصنيف انواع من الشعير إلى ثلاث مجموعات: النوعين باهيا وسوفارا يختلفان عن المجموعتين الأخرين، المجموعة الأولى المتشكلة من اكساد، فوارة وريجان، اما المجموعة الثانية فتتشكل من الانواع حمرة، سعيدة و تيشدرت.

**الكلمات المفتاحية:** الشعير، IAMM، التفاعل GxL، انتاج البذور، الاستقرار، الواسمات الجزيئية RSS.