

Rythme de développement, utilisation de l'eau et rendement de l'orge (*Hordeum vulgare L.*) dans l'étage bioclimatique semi aride (

Soutenu par Mr MENAD Abdelkader
Dr BOUZERZOUR H. Prof. Fac Sci. Univ. Sétif Rapporteur
28- 06- 2009

Devant le jury composé de : Dr AIDAOUI A. Prof. ENSA El Harrach Président Dr HANIFI-MEKLICHE L. M.C. ENSA El Harrach Examinatrice Dr MOUHOCHE B. M.C. ENSA El Harrach Examineur

Table des matières

ص ——— خلم	5
Résumé . .	6
Abstract . .	7
REMERCIEMENTS . .	8
Dédicace . .	9
INTRODUCTION . .	10
CHAPITRE I: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE . .	11
I.1. La culture de l'orge : Historique, origine et utilisation . .	11
I.2. Les contraintes climatiques de la production des céréales sous climat méditerranéen . .	11
I.2.1. Le stress hydrique . .	11
I.2.2. Le stress thermique . .	13
I.3. Mécanismes d'adaptation des plantes aux stress abiotiques . .	14
I.3.1. L'esquive ou échappement . .	15
I.3.2. L'évitement de la déshydratation des tissus . .	16
I.3.3. La résistance à la déshydratation des tissus . .	19
I.4. Les critères de sélection . .	22
I.4.1. Sélection pour le rendement . .	22
I.4.2. Sélection pour l'adaptation aux stress . .	23
I.5. Gain génétique du rendement et caractères associés . .	24
I.6. Interactions génotype – milieu (G x E) et stabilité de rendement . .	26
CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES . .	27
II.1. Caractérisation des sites d'étude . .	27
II.1.1. La station expérimentale du Khroub . .	27
II.1.2. La station expérimentale de Sidi Bel abbés . .	27
II.1.3. La station expérimentale de Sétif . .	28
II.1.4. La station expérimentale de Saida . .	28
II.2. Description du matériel végétal . .	28
II.2.1. Groupe de variétés syriennes . .	28
II.2.2. Groupe de variétés locales . .	29
II.2.3. Groupe de variétés européennes . .	29
II.3. Dispositif expérimental . .	30
II.4. Grandeurs mesurées . .	30
II.4.1. Caractère phénologique . .	30
II.4.2. Caractère morphologique . .	30
II.4.3. Caractères physiologiques . .	30
II.4.4. Le rendement et ses composantes . .	31
II.5. Conditions climatiques de l'année d'expérimentation . .	32
II.6. Analyses statistiques . .	34
CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION . .	36

III.1. Variabilité des caractères morphologiques, du rendement et des composantes par site expérimental . .	36
III.1.1. Site du Khroub . .	36
III.1.2. Site de Sidi Bel abbés . .	38
III.1.3. Site de Sétif . .	40
III.1.4. Site de Saida . .	42
III.2. Analyse combinée des différents sites expérimentaux . .	44
III.3. Etude de l'interaction génotype x localité du rendement grain . .	48
III.4. Etude de l'interaction génotype x localité du rendement économique . .	54
III.5. Analyse de la stabilité des rendements grain et économique . .	58
III.6. Corrélations entre les variables mesurées sur l'ensemble des sites . .	61
III.7. Rythme développement sur les sites de Sétif et Saida . .	63
III.7.1. Variation de la durée levée-épiaison . .	64
III.7.2. Relation entre la durée de la phase végétative et le rendement grain . .	65
III.8. Valorisation des eaux pluviales . .	67
III.8.1. Estimation des quantités d'eau utilisées . .	67
III.8.2. Efficience d'utilisation des eaux pluviales . .	67
CONCLUSION . .	70
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES . .	72
ANNEXES . .	84
<u>Annexe 1-A</u> .Données climatiques du site du Khroub . .	84
<u>Annexe 1-B</u> .Données climatiques du site de Sidi Bel Abbés . .	84
<u>Annexe 1-C</u> .Données climatiques du site de Sétif . .	85
<u>Annexe 1-D</u> .Données climatiques du site de Saida . .	85

ص — خلم

وطبئة النمو، استعمال الماء و مردود الشجر تحت مناخ شبه جاف

نجريت الدراسة خلال الموسم الزراعي 2005/2006، على مستوى محطات الأبحاث الزراعية للخروب، سيدي بلعاس، سطيف و سعدي، تابعة للمعهد التقني المحاصيل الكبرى (ITGC) بهدف دراسة تسي تقييم مردود و إنتاج الخشب الخضر، صنف من شجر، و كذا علائق ما بين و طبئة النمو، استعمال الماء و كفاء استعمال الماء من جهة و مردود من جهة أخرى. زرعت هذه الأصناف حسب تصميم القطع عشوائية كاملة، بثلاث مكررات. تم قياس مركبات مردود و مردود، زيادة على هذا تم قياس و طبئة النمو، كمية الماء المستهلكة و حساب كفاء استعمال الماء في كل من موقع سطيف و سعدي. تم تحليل البيانات لكل موقع عن طريق تحليل التباين (ANOVA). أعطت نتائج لولوي مطوية لمطمح متميزت. الأصناف المنتخبة بكل موقع تختلف كثيرا فيما يخص ترم المرود، لكن تختلف في ترم طول نباتات و تبن المنتج. تحليل التباين المشترك لكل موقع، يظهر لولوي مطوية لكل من الموقع (L) و تفاعل (GxL)، بينما لا يوجد لولوي مطوية ما بين الأصناف (G). تمت دراسة تفاعل (GxL) بطريقتي الانحدار المشترك (RC) و مركبات الأساسية للتفاعل (AMMI) كتنا تقنيين أعطت نفس النتائج فيما يخص إنتاج الخشب، أظهرنا أن الصنفين رص و نكساد 176، ذات إنتاج تقني، و صنف لولوي ذات إنتاج خاص للمناطق المرتفعة المرود. ظهرت دراسة و طبئة النمو مع المرود، أنه يوجد علائق شديدة بين هاتين المتزكين في موقع سطيف، بينما لا يوجد أي علائق بين و طبئة النمو و مردود في موقع سعدي. الأصناف المنتخبة هي رص و لولوي ذات طول نمو منتمص. الاختلاف في كمية الماء المستهلكة لتسرجزانيا، الاختلافات في مردود متوسط ترم كفاء استعمال الماء المتسا، تظهر أن هناك ارتباط مطوي مع المرود، و يوجد ارتباط طفيف مع و طبئة النمو. تشير النتائج فتحصن عليها أن المرود العالي نتيجة عدة تحيات/2 عدة تحيات بالسنة و عدة تحيات/2. كذلك وجد أن طول نباتات و تبن المنتج يساهم في تكوين كتلة الإحيائية في مرحلة التخرج.

تلمام المقاصد: شجر، مردود، وطبئة النمو، كفاء استعمال الماء، تفاعل (GxE)، شبه جاف.

Résumé

L'étude a été conduite durant la campagne agricole 2005/2006, sur les sites expérimentaux des stations de l'ITGC du Khroub, Sidi bel Abbés, Sétif et Saida. L'objectif est l'évaluation de la productivité et l'adaptation de douze génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans l'étage bioclimatique semi-aride, et d'étudier les relations entre le rythme de développement, le rendement et l'efficacité d'utilisation de l'eau. Le matériel végétal a été mis en place dans un dispositif en blocs aléatoires complets avec trois répétitions. Les mesures ont porté sur le rendement et ses composantes. Pour les sites de Sétif et Saida, en plus de ces paramètres, le rythme de développement et l'efficacité d'utilisation de l'eau ont été mesurés. Les données de l'ensemble des paramètres mesurés ont été soumises à une simple analyse de la variance. Des différences significatives ont été trouvées pour la plupart des caractères mesurés. Les génotypes sélectionnés par site diffèrent peu pour les valeurs relatives du rendement en grains et des composantes du rendement; ils diffèrent surtout pour la hauteur du chaume et la quantité de paille produite. L'analyse de variance combinée sur les différents sites, a permis de déceler des différences significatives pour les localités et l'interaction génotypes x localités, par contre aucune différence significative n'a été trouvée entre les génotypes pour l'ensemble des caractères. Les modèles de régression conjointe et AMMI, utilisés pour l'étude de l'interaction G x L ont fournis des informations similaires sur l'adaptation des différents génotypes. Ces deux techniques ont permis d'identifier les génotypes Rahma et Acsad₁₇₆ à large adaptation et Fouara à adaptation spécifique aux environnements favorables représentés par le site du Khroub, l'exploitation positive de l'interaction permet un gain génétique en rendement grain et économique. La durée de la phase végétative est négativement liée avec le rendement en grain sur le site de Sétif, alors que sur le site de Saida il n'existe aucune relation entre ces deux paramètres. Les valeurs moyennes de l'efficacité d'utilisation de l'eau mesurées sont corrélées significativement avec le rendement en grain. L'expression d'un haut rendement est due à la réalisation d'un nombre élevé de grains par m², de grains/épi et d'épis/m². Le rendement est également influencé par la hauteur du chaume et la paille produite, qui est une composante de la biomasse aérienne accumulée à maturité.

Mots clés: *Hordeum vulgare* L., rendement, phénologie, efficacité d'utilisation de l'eau, interaction génotype-par-environnement, semi-aride.

Abstract

This study was conducted during the 2005/2006 cropping season at the ITGC experimental stations of Khroub, Sidi Bel Abbès, Sétif and Saida. The objectives were to assess the productivity and the adaptation of twelve barley (*Hordeum vulgare L.*) genotypes under semi-arid conditions, and to analyze the relationship between phenology, grain yield and water use efficiency. The design adopted was a randomized complete blocks with three replications. Besides grain yield and yield components which were measured at four locations, at Sétif and Saida were measured too, growth rhythm, water used and water use efficiency. Data of each location were submitted to single analysis of variance. Significant differences were found for most traits. Top yielding genotypes by location differed little in relative yield value and components of yield, but differed mainly in plant height and straw yield. Combined analysis of variance over locations showed significant location main effect and interaction, and a non significant genotype main effect. Joint regression and Additive Main effects and Multiplicative Interaction analysis modeled adequately the interaction patterns and genotypes adaptability. Rahma and Acsad176 exhibited adaptation to a wide range of environments, while Fouara showed specific adaptation to favorable environments represented by Khroub location, a positive exploitation of interaction can improve grain yield and economic yield. Vegetative phase duration was negatively linked with grain yield at Sétif location, whereas at Saida location no relationship existed between these two parameters. Water use efficiency values were significantly correlated with grain yield. High yield expression is due to high grain number m^{-2} , grains per spike and spikes m^{-2} . Yield was influenced, to some extent, by plant height and straw yield, which are components of above ground biomass accumulated at maturity.

Key words: *Hordeum vulgare L.*, yield, phenology, water use efficiency, genotype-by-environment interaction, semi-arid.

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu de m'avoir donné la force et la patience pour réaliser ce travail.

Mes sincères remerciements à Monsieur BOUZERZOUR H., professeur à l'université de Sétif, qui m'a dirigé durant la réalisation de cette thèse. Sa disponibilité, sa confiance et ses conseils judicieux m'ont été très utiles pour arriver au terme de ce travail, qu'il trouve ici le témoignage d'une profonde gratitude.

Je remercie également Monsieur AIDAOUI A., Professeur à l'ENSA d'El Harrach, de me faire l'honneur de présider le jury et d'apprécier mon travail.

Mes remerciements s'adressent aussi à Madame HANIFI-MEKLICHE L. et Monsieur MOUHOUCHE B., Maîtres de conférences à l'ENSA d'El Harrach, qui m'ont fait l'honneur en acceptant d'examiner mon travail.

Je remercie de même Monsieur BELARBI B. du département de phytotechnie, Mademoiselle Naima et Samira ainsi que Monsieur Said du DPGR.

Je remercie mes collègues des différentes stations de L'ITGC où s'est déroulée l'expérimentation, Messieurs ZELTNI A. du Khroub, MAKHLOUF M. et HASSOUS K.L. de Sétif, SEKKAL A., BEDDA A. et Mademoiselle ABBAS F.Z., de Sidi Bel Abbés, ainsi que Monsieur et Madame Taibi, pour leurs aides.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, je leurs dis merci.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à : - La mémoire de mon père - Ma mère - Ma femme et mes enfants

INTRODUCTION

Dans beaucoup de régions du monde, caractérisées par un climat semi-aride, l'eau est le principal facteur limitant les performances des céréales. Suite à sa relative adaptabilité aux zones sèches de la méditerranée, la culture de l'orge prédomine avec 15 millions d'hectares qui sont emblavées annuellement (FAOSTAT, 2008). En Algérie, 35 % de la superficie céréalière est consacrée à la culture de cette espèce qui est concentrée entre les isohyètes 250 et 450 mm (Ould Saïd et Menad, 2005).

La production est faible et irrégulière, les rendements sont particulièrement affectés par les contraintes environnementales, tout le long du cycle de développement de la plante. Les contraintes les plus importantes sont le stress hydrique associé le plus souvent au stress thermique. Ce dernier prend la forme de froid hivernal et de hautes températures de fin du cycle de la culture (Mekhlouf *et al.*, 2006).

En effet, comme le souligne Baldy (1986), au sujet des particularités saisonnières du climat méditerranéen ; quelques jours trop froids, trop chauds, ou trop secs, suffisent à annihiler une récolte prometteuse, au début de la montaison, pendant la formation des épis, puis durant le remplissage du grain.

D'après Richards *et al.*, (2002), le déficit hydrique intervient dans plus de 50% dans la diminution des rendements, en zone semi-aride. Amri et Mekni (1989) trouvent que le rendement en grains est beaucoup plus influencé par la distribution des précipitations que par le cumul de ces dernières. Richards *et al.*, (2002) rapportent que 70-80% de la variation du rendement de l'Australie du Sud est due à la variation annuelle des précipitations.

Les travaux de recherche ont été orientés vers l'amélioration de l'état hydrique du sol, en utilisant les techniques qui permettent une meilleure conservation et utilisation de l'eau du sol et en réduisant les effets du stress hydrique par des irrigations d'appoint quand c'est possible (Debaeke et Aboudrare, 2004). Cependant, en absence d'eau, l'amélioration génétique reste sans doute le moyen le plus efficace (Ceccarelli *et al.*, 1998).

En effet, l'amélioration génétique permet l'identification de génotypes adaptés aux conditions environnementales prévalentes, ce qui atténue l'effet du stress hydrique. Ceci, nécessite l'assortiment d'une architecture génotypique qui s'harmonise au mieux avec le milieu de production, grâce au choix d'un rythme de développement et d'une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau (Al Hakimi, 1995).

Sous des conditions de contraintes environnementales fortes et erratiques, le rendement ne peut être retenu comme seul critère de sélection en raison de sa faible héritabilité. Dans ce contexte, Bouzerzour et Dekhili (1995) indiquent que le rendement en grains est un caractère souvent soumis à de fortes interactions génotype x milieu.

Pour qu'elle soit efficace, la sélection doit s'appuyer sur des caractéristiques physiologiques et/ou phéno-morphologiques, qui sont étroitement liées avec le rendement, et qui peuvent être utilisées comme critères de sélection indirecte pour le rendement grain. La présente contribution a pour objectifs (1) l'évaluation de la productivité et de l'adaptation de douze génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) à travers différentes localités de l'étage bioclimatique semi-aride et (2) d'étudier les relations entre le rythme de développement, le rendement et l'efficacité d'utilisation de l'eau.

CHAPITRE I: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. La culture de l'orge : Historique, origine et utilisation

L'orge est probablement la plus ancienne espèce cultivée par l'homme, dont la culture remonte, aux périodes 5000 à 7000 ans avant J.C. (Poehlman, 1985). L'origine géographique de l'orge est le croissant fertile, espace couvrant la Palestine, la Jordanie, le sud de l'Anatolie et l'ouest de l'Iran (Bothmer et Jacobsen, 1985).

L'extension de cette espèce sur plusieurs centres secondaires de diversification a contribué à sa large adaptation à la variation des milieux de production. Ainsi on la trouve dans le cercle arctique, en Finlande, en Inde tropicale à des altitudes de 5000 m et aussi dans les Andes équatoriales à plus de 3000 m (Bothmer et Jacobsen, 1985).

Selon Bothmer et Jacobsen (1985), toutes les orges cultivées proviennent de l'espèce *Hordeum sativum*. Deux groupes sont reconnus, il s'agit du groupe *distichum*, orge à deux rangs et *polystichum*, orge à six et quatre rangs.

L'orge est la quatrième culture céréalière dans le monde, après le blé, le maïs et le riz (FAOSTAT, 2008). C'est une espèce adaptée aux systèmes de culture pratiqués en zones arides et semi- arides. Cette adaptation est liée à un court cycle de développement et à une vigueur de croissance appréciable en début de cycle.

Cette culture, de par ces caractéristiques, s'insère bien dans les milieux caractérisés par une grande variabilité climatique où elle constitue avec l'élevage ovin l'essentiel de l'activité agricole (Hakimi, 1989).

En Algérie, le grain d'orge sert essentiellement à l'alimentation animale et en second lieu seulement en tant que nourriture humaine. La paille d'orge est très appréciée par les éleveurs et constitue la principale source d'alimentation du cheptel, particulièrement sur les Hauts plateaux où l'association céréales – élevage ovin prédomine (Oudina et Bouzerzour, 1989). Dans d'autres régions du monde, le grain d'orge entre dans le processus de production du malt (Poehlman, 1985).

I.2. Les contraintes climatiques de la production des céréales sous climat méditerranéen

I.2.1. Le stress hydrique

Le déficit hydrique est une contrainte permanente de la production agricole dans de nombreux pays au climat de type méditerranéen. Elle est à l'origine des pertes de production agricole dans de nombreuses régions (Ceccarelli et Grando, 1996). 35 % des terres arables, de par le monde, sont classés dans la catégorie aride ou semi-aride. Richards *et al.*, (2002)

rapportent que 70-80% de la variation du rendement au Sud de l'Australie est due à la variation annuelle des précipitations. Des relations similaires existent aussi en Afrique du Nord, l'Ouest de l'Asie et l'Ouest de l'Australie (Srivastava, 1987 ; Blum et Pnuel, 1990 ; Karimi et Siddique, 1991).

Passioura (1996) définit le déficit hydrique comme étant les circonstances dans lesquelles les plantes accusent une réduction de croissance et de production suite à une alimentation hydrique insuffisante. Blum (1996) mentionne que le statut hydrique de la plante passe progressivement par trois principales phases, selon le développement du stress hydrique. Au cours de la phase initiale, la transpiration et l'assimilation se déroulent comme si la plante dispose de l'eau à volonté. Cette phase se poursuit jusqu'au moment où le niveau d'absorption racinaire ne peut plus satisfaire la demande climatique que subit le feuillage. La réserve utile du sol est alors épuisée à 50 %.

Après ce seuil, la plante entre dans la seconde phase, au cours de laquelle la transpiration et l'assimilation sont réduites relativement à leur potentiel. La plante réagit de façon dynamique au cours de cette phase, essayant de rétablir l'équilibre entre la demande climatique et l'offre du sol, en faisant intervenir des mécanismes qui lui sont propres (développement du système racinaire, régulation stomatique, ajustement osmotique).

Quand le déficit hydrique devient plus intense, alors la plante entre dans la troisième et dernière phase au cours de laquelle les stomates se ferment complètement, annulant toutes activités photosynthétiques. Toutes les pertes hydriques de la plante se font alors à travers les voies non-stomatiques (cuticule). Il n'y a plus de gain de matière sèche, la respiration consomme les hydrates de carbone stockés et la plante passe au stade de survie. La période de survie dépend du rythme de la transpiration résiduelle et de la tolérance à la dessiccation des tissus vivants restants (Chaves *et al.*, 2002).

Selon Kameli et Losel (1996), la croissance s'arrête avant qu'aucun abaissement notable ne soit perceptible dans le contenu relatif en eau. Le premier effet du déficit hydrique est de réduire l'élongation des cellules de la tige, en partie, à cause de l'accumulation de l'acide abscissique. Le nanisme de la hauteur du chaume est donc une fonction du degré de stress hydrique (Dakheel *et al.*, 1993).

Le déficit hydrique du sol et la siccité de l'air ambiant induisent la production et le dépôt de cire épicuticulaire, chez certaines variétés de céréales. Ce dépôt est d'autant plus marqué que l'environnement est plus sec (Blum, 1996). L'inflorescence des céréales est relativement protégée de l'évaporation par des surfaces protectrices comme une cuticule épaisse et un dépôt épais de cire épicuticulaire qui font que le statut hydrique des inflorescences est meilleur que celui des feuilles (Blum, 1996).

Le déficit hydrique provoque la réduction du nombre de grain par épi, du nombre d'épis par plant, du poids moyen du grain, de l'indice de récolte et du rendement en grains (Dakheel *et al.*, 1993). Kameli et Losel (1996) notent que la matière sèche augmente progressivement sous stress hydrique, mais elle reste sous le seuil de 50%, comparativement à l'évolution de la matière du témoin non stressé. Cette réduction est assez conséquente pour affecter significativement le rendement en grains.

Le déficit hydrique affecte significativement le nombre, le volume et la masse racinaires. La réduction du volume traduit non seulement une réduction de la croissance, mais aussi une diminution du diamètre. Cette réduction engendre une augmentation de la résistance au transfert de l'eau vers la partie aérienne.

Le rapport du poids sec des racines sur celui des tiges augmente chez les plantes exposées au déficit hydrique, à cause de la croissance racinaire au détriment de la partie aérienne et à cause de la réduction de la croissance de la partie aérienne (Blum, 1996).

La conductance stomatique diminue avec le déclin du contenu hydrique du sol et la réduction de l'hygrométrie. Une résistance stomatique élevée limite le flux de l'eau à partir des racines et de ce fait réduit la transpiration. Elle diminue la concentration du CO₂ dans la chambre sous stomatique et réduit l'activité photosynthétique (Tardieu, 1996).

Dakheel *et al.*, (1993) notent qu'en zone semi-aride, au cours du printemps, l'intensité lumineuse est supra-optimale pour une activité photosynthétique normale. Une forte luminosité, sous stress hydrique, engendre une réduction de l'efficacité des photosystèmes, suite à la photo-inhibition causée par l'élévation de la température du couvert végétal.

L'intensité du stress hydrique induit une baisse de la teneur relative en eau, ainsi que la réduction des potentiels hydrique et osmotique foliaires. Alors que la croissance foliaire est fortement inhibée, dès l'avènement du stress hydrique, l'assimilation du carbone, réagissant moins vite, produit des assimilats qui sont déroutés en priorité vers la croissance racinaire et utilisés pour l'ajustement osmotique (Blum, 1996). Parmi les solutés, accumulés sous stress hydrique, on note une augmentation des sucres solubles, des acides aminés comme la proline et à un degré moindre la bêtaïne (Kameli et Losel, 1996 ; Rekika *et al.*, 1998).

I.2.2. Le stress thermique

Le seuil mis en cause dans le cas du stress des hautes températures est variable en fonction du stade végétatif de la plante et de l'interaction avec le stress hydrique. Rawson (1993) montre que l'effet pénalisant de l'élévation de la température est surtout dû au fait que la plante n'arrive pas à absorber les éléments nutritifs et l'eau, et les utiliser, au rythme imposé par le stress thermique.

Kirby (1985) note que l'effet des hautes températures au semis se matérialise par une réduction de la longueur du coléoptile, la plante ne peut pas s'ancrer en profondeur et devient très sensible aux effets du stress thermique. Il note une réduction de la longueur du coléoptile de 10 mm à une température de 15°C, mesurée à 5 cm de la profondeur du sol, à moins de 30 mm lorsque la température maximale du sol atteint le seuil de 35°C.

Fischer (1985) trouve que le stress thermique au cours de la phase levée-stade double-ride réduit fortement la capacité de tallage de la plante. Hauchinal *et al.*, (1993) observent une réduction du rendement en grains des semis tardifs, liée à une diminution du nombre d'épis et du poids moyen du grain, causée par les effets des hautes températures en fin de cycle.

Hauchinal *et al.*, (1993) notent aussi que l'effet pénalisant du stress thermique se matérialise par une accélération du développement et une réduction des dimensions des organes constitutifs de la plante. La résultante est un effet négatif sur la productivité globale de la plante.

L'abaissement brutal de la température, en dessous de 0°C, provoque de nombreuses perturbations au sein du végétal. Lorsque la température chute fortement, des cristaux de glace se forment dans les espaces intercellulaires déshydratant les cellules dont l'eau est appelée vers ces espaces.

Sous ces conditions, la membrane plasmique perd sa spécificité et il y a arrêt du fonctionnement cellulaire. La réversibilité du phénomène n'a lieu que si la structure cellulaire

n'est pas fortement endommagée. Lors du dégel, les cellules intactes se réhydratent et redeviennent fonctionnelles (Fuller *et al.*, 2007).

Abbassenne *et al.*, (1998) observent une chute de la fertilité des épis des semis précoces qui est liée aux effets des basses températures au cours du stade gonflement. Gate (1995) mentionne que les températures minimales inférieures à -4°C , de la période stade épi-1cm au stade 2 nœuds, affectent le nombre de grains par épi. Abbassenne *et al.*, (1998) mentionnent qu'en régions méditerranéennes semi-arides, les gelées printanières touchent surtout les variétés précoces au stade début-montée, détruisant l'épi du brin maître. Les dégâts sur racines se manifestent particulièrement sur la croissance du rhizome.

Les effets indirects des basses températures peuvent se manifester par la disparition progressive des plantes, plusieurs semaines après le dégel. Un autre effet indirect du gel est consécutif aux lésions des gaines foliaires (à 1 ou 2 cm au dessus du sol) provoquant l'aplatissement des plantes sur le sol et favorisant leur attaque par les agents pathogènes. En outre, la transformation de l'eau de surface en glace, et l'alternance des périodes de gel et dégel, provoque des ruptures au niveau du collet. Il y a aussi déchaussement de plantules dues au soulèvement du sol (Fowler *et al.*, 1999).

Tant que l'ébauche d'épi n'est pas atteinte parce qu'elle est protégée par l'empilement des feuilles, les dégâts foliaires ont peu de conséquences sur le devenir de la culture. Lorsque la vague des basses températures fait son apparition de manière progressive, la plante s'accoutume et s'endurcit. Les effets sont relativement moins importants. L'endurcissement est plus intense lors de la période hivernale. Il est activé par des jours courts et des températures faibles.

Les variétés de type hiver s'endurcissent mieux que les variétés de printemps dont les besoins hivernaux sont nuls et de ce fait se montrent plus sensibles au froid. Plus que la valeur absolue de la température minimale enregistrée, c'est l'écart des températures qui règle l'intensité des dégâts observés sur les plantes. Ces derniers seront plus importants si une baisse brutale de la température est précédée d'un temps relativement clément (Gate, 1995).

L'état hydrique du sol peut atténuer ou accentuer les effets du froid. Ce dernier sera plus néfaste sur un sol sec, car il se produira un gel de surface pouvant entraîner la rupture du collet des végétaux. De plus, toute cause favorisant l'évaporation de l'eau (froid survenant par grand vent) accentue les effets directs du gel.

I.3. Mécanismes d'adaptation des plantes aux stress abiotiques

L'adaptation se définit comme la capacité d'une plante à croître et à donner des rendements satisfaisants dans des zones sujettes à des stress de périodicités connues. La notion d'adaptation est liée à celles de résistance et de tolérance aux stress. Pour Levitt (1982), l'adaptation prend trois formes distinctes. L'esquive, qui est la situation où la plante grâce à un rythme de développement spécifique, réussit à s'harmoniser à l'environnement de production, en échappant partiellement ou complètement au stress.

L'évitement prend forme grâce au maintien, par divers mécanismes, d'un état interne satisfaisant. Cet état permet à la plante de continuer ses activités métaboliques sans

être fortement perturbée par le milieu extérieur qui peut être très stressant. La tolérance du stress qui s'installe dans les tissus de la plante est la capacité de maintenir une activité métabolique. Cette activité assure l'intégrité fonctionnelle aux structures cellulaires et autorise la reprise des activités de la plante dès que les conditions de croissance redeviennent plus normales.

Les termes résistance, tolérance et adaptation sont indifféremment utilisés dans la littérature. Reprenant les formes d'adaptation aux stress abiotiques définies par Levitt (1982), Belhassen *et al.*, (1995) les classifient en trois grands types d'adaptation au stress de nature hydrique et qui sont (1) l'échappement ou esquivage qui consiste à réaliser le cycle pendant la période favorable, (2) l'évitement de la déshydratation (ou résistance) qui permet le maintien d'un potentiel hydrique élevé dans la plante et (3) la tolérance à la déshydratation qui consiste en un ensemble d'aptitudes à résister aux effets d'un faible potentiel hydrique.

I.3.1. L'esquive ou échappement

L'exploitation de l'esquive comme stratégie d'adaptation aux stress s'est faite dans le contexte agricole en cherchant à faire coïncider le développement de la culture ou du moins les phases les plus sensibles avec les périodes où le stress est moins intense. Ceci s'est fait par des études de l'influence de la variabilité de la durée des phases de développement sur la productivité de la plante, dans le but de déduire la durée la plus optimale pour que les stades sensibles puissent se réaliser à des périodes où les risques de stress sont moins pénalisants (Abbassenne *et al.*, 1998 ; Debaeke et Aboudrare, 2004).

Parmi les changements qualitatifs que subit la céréale pendant sa vie, les plus importants sont certainement le début de la montaison et l'épiaison. Blum (1996) souligne qu'une longue durée de croissance est associée avec une biomasse élevée et que les génotypes tardifs ont une productivité potentielle supérieure. Cependant, comme la sécheresse et les hautes températures de fin de cycle sont des caractéristiques dominantes des zones semi-arides, il est souvent plus judicieux de privilégier la sélection de la précocité (esquive).

Plusieurs études montrent l'existence d'une liaison positive entre le degré de précocité au stade épiaison et le rendement grain sous de telles conditions de culture (Morgan, 1984 ; Ceccarelli *et al.*, 1987 ; Nachit *et al.*, 1988 ; Kayyal *et al.*, 1995). Fischer et Maurer (1978) dans une étude réalisée sur 53 cultivars de blé, orge et triticale, notent un gain de rendement de l'ordre de 30 Kg/ha, pour chaque jour de précocité entre la levée et le stade épiaison. Abbassenne *et al.*, (1998) montrent, en conditions semi-arides d'altitude, que les génotypes précoces à l'épiaison se caractérisent par des vitesses de remplissage par m² élevées, alors que les génotypes tardifs font plus appel aux assimilats stockés dans la tige.

Une grande précocité n'est, cependant, d'aucune utilité pratique en sélection dans les régions où la présence du gel tardif affecte les génotypes trop précoces (Ceccarelli *et al.*, 1998). La recherche sur la résistance ou la tolérance aux basses températures printanières est nécessaire pour exploiter l'avantage en productivité des génotypes précoces permettant d'échapper aux stress de fin de cycle (Mekhlouf *et al.*, 2006).

Abbassenne *et al.*, (1998) préconisent, pour les régions semi-arides, des génotypes tardifs à l'épiaison et précoces à maturité. Ces variétés minimisent le risque vis-à-vis de la contrainte des basses températures printanières. Les génotypes tardifs valorisent peu sous forme de grains produits par unité de surface la matière sèche totale accumulée au stade épiaison.

Ces variétés investissent peu d'hydrates de carbone dans les épis et à cause des effets des stress thermique et hydrique, beaucoup de leurs talles avortent. Ce type de matériel végétal est désirable à condition que lui soient associées des capacités de production d'épis et de grains par épi assez conséquentes, pour induire des indices de récolte et de remplissage assez élevés afin d'aboutir à des rendements en grains acceptables (Abbassenne *et al.*, 1998 ; Brancourt- Hulmel *et al.*, 2003).

Pour faciliter la sélection de génotypes appropriés, il est nécessaire que les mécanismes physiologiques qui sont à la base du contrôle de la précocité à l'épiaison soient étudiés. La durée semis-épiaison dépend presque exclusivement de la température et de la luminosité (Kirby et Appleyard, 1982). On distingue deux actions de la température. La première est dite positive parce qu'elle accélère l'avènement de l'épiaison, elle tend donc à raccourcir la durée semis-épiaison.

La seconde a tendance, au contraire, à allonger la durée de cette phase de développement parce que la plante a besoin d'accumuler une somme donnée de basses températures hivernales (Kirby et Appleyard, 1982). C'est l'action conjuguée des effets positifs et négatifs de la température, combinée à l'effet de la durée du jour, qui détermine et explique mieux la variation de la durée des différentes phases de développement (Worland *et al.*, 1994).

La stabilité de la précocité au stade épiaison est importante pour limiter les risques liés à la variabilité climatique (Hadjichristodoulou, 1987; Abbassenne *et al.*, 1998). Les génotypes précoces ont tendance à épier plus tôt ou plus tard, selon que l'hiver est plus doux ou plus rigoureux (Bahlouli *et al.*, 2005). Par contre les variétés tardives sont caractérisées par des dates d'épiaison plus régulières.

Bahlouli *et al.*, (2005) ont noté que les génotypes tardifs épient à une date plus au moins fixe quelque soit l'année. Ceci s'explique par le fait que les génotypes précoces répondent plus aux sommes des degrés-jours accumulées, alors que les génotypes tardifs répondent en plus aux températures hivernales et à la photopériode (Worland *et al.*, 1994).

I.3.2. L'évitement de la déshydratation des tissus

L'évitement représente la capacité du génotype à maintenir un statut hydrique ou thermique foliaire élevé quand il est soumis aux stress. Dans le cas du stress hydrique, l'évitement est lié à la réduction des pertes en eau par fermeture partielle ou totale des stomates ou au maintien de l'absorption de l'eau, grâce à un système racinaire mieux adapté (Richards *et al.*, 1997). Dans le cas du stress thermique, il est lié à la réduction de la température de la canopée (Reynolds *et al.*, 1995).

L'utilisation de l'eau est directement liée à l'indice foliaire qui s'établit au cours du cycle de la culture. Pour un réservoir d'eau du sol donné, il faut chercher un développement de la surface foliaire qui rythme mieux la consommation d'eau par la plante pour conserver une partie afin d'assurer un remplissage adéquat des grains (Passioura, 1977). C'est particulièrement vrai dans les situations où l'eau est abondante dans la première partie du cycle et déficitaire dès la floraison (Debaeke *et al.*, 2008). Ceci peut conduire à utiliser des variétés à indice foliaire modéré ou à faible conductance stomatique (Richards, 2006 ; Casadebaig, 2008). Le statut hydrique foliaire des 20 jours avant et après l'épiaison est un indicateur de cette capacité génotypique (Araus *et al.*, 2002).

Blum *et al.*, (1990) ne trouvent, cependant, aucune relation entre la surface foliaire et le degré de résistance à la sécheresse. La sélection vers une réduction de la dimension des

feuilles est compensée par une augmentation de leur nombre, avec un effet net nul sur la variation de l'indice foliaire. Blum (1996) précise que c'est la plasticité de l'indice foliaire qui intervient dans le contrôle de l'utilisation de l'eau du sol.

Les variétés possédant cette capacité modulent, lorsque la sécheresse s'installe progressivement, leur indice foliaire pour réguler la transpiration en fonction de leur approvisionnement en eau du sol. Cette modulation de la surface foliaire est la conséquence de la variation du statut hydrique des tissus en croissance et de la production d'hormones spécifiques tel que l'acide abscissique (Passioura, 1996).

Au stade floraison, la réduction de l'indice foliaire, sous stress hydrique, est largement due à une expansion foliaire affaiblie. Après ce stade, la réduction est essentiellement due à la sénescence progressive du feuillage (Blum, 1996). La sénescence foliaire est un mécanisme qui intervient au niveau de la plante entière pour réduire de la transpiration, sous stress hydrique (contrôle non stomatique). Bensemane (2004) trouve des différences dans le rythme de sénescence de la feuille étendard après l'épiaison chez le blé dur.

L'enroulement foliaire est considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation. Il contribue à la réduction de la transpiration. Il joue un rôle conséquent dans la résistance aux températures élevées et au déficit hydrique de fin de cycle (Reynolds *et al.*, 1995; Monneveux et Belhassen, 1996).

La capacité de modifier la composition en chlorophylle des feuilles, mesurée par le rapport des chlorophylles de type a et b, a un effet sur la proportion de la lumière incidente. Un rapport faible est associée à une couleur verte foncée (plus de chlorophylle a) notée en début printemps, en présence de stress moins intense.

Dès que les conditions de croissance deviennent moins favorables, avec l'installation des stress, la plante reconvertie une partie de la chlorophylle a en chlorophylle b. Elle prend de ce fait une couleur moins foncée, (vert clair) permettant de réfléchir la luminosité reçue et par conséquence de réduire la température foliaire et la transpiration (Reynolds *et al.*, 1995).

Van Oosterom *et al.*, (1993) remarquent que durant l'hiver, quand la radiation limite la photosynthèse, les variétés à feuilles sombres associées à un contenu élevé en chlorophylle de type a sont plus efficaces. Au printemps, quand la radiation est supra-optimale pour la photosynthèse, la couleur claire associée à un faible contenu en chlorophylle de type a permet la dissipation de la radiation et évite la photo-inhibition des photo-systèmes.

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

Le pédoncule de l'épi atteint sa forme définitive 10 à 15 jours après le stade épiaison, au moment où les stress hydrique et thermique deviennent de plus en plus intenses. C'est cette partie du chaume qui est généralement le siège de transfert d'hydrates de carbone pour la finition du grain, lorsque le remplissage se réalise sous stress (Bahlouli *et al.*, 2005 ; Bouzerzour *et al.*, 2008).

L'évaporation du sol, est une source majeure de perte d'eau sous climat méditerranéen, elle représente 40% de l'eau utilisé par la céréale (Cooper *et al.*, 1983; French et Schultz, 1984; Siddique *et al.*, 1990). Allen (1990) dans une étude réalisée dans le nord de la Syrie, a mesuré l'évaporation et l'évapotranspiration de l'orge, et par différence il a trouvé que la transpiration ne constitue qu'une petite partie de l'eau totale utilisée, elle est de 33% chez l'orge fertilisée et 23% chez le témoin. Réduire ou éliminer l'évaporation directe du sol

permet d'augmenter la quantité d'eau qui transite par le végétal et de la valoriser sous forme de matière sèche (Karrou *et al.*, 1998). Pour réduire l'évaporation du sol et contrôler les adventices, il faut une installation rapide de la culture qui permet une complète couverture du sol, très tôt en début du cycle, c'est la vigueur de croissance (Soltani et Galeshi, 2002).

Bensemene (2004) trouve des différences du point de vue vigueur de croissance chez le blé dur, le cultivar Waha se développe notamment plus vite très tôt en début de cycle comparativement au cultivar Mohammed Ben Bachir. La vigueur de croissance est associée à la capacité du génotype à croître sous basses températures de fin d'hiver début printemps.

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

La glaucescence foliaire est liée à la résistance à la sécheresse. Etudiant des lignées iso-géniques pour ce caractère, Clarke *et al.*, (1989) montrent que les rendements biologique et en grains des lignées glauques étaient significativement plus élevés que ceux des lignées non glauques, sous stress.

Le dépôt de la cire épicuticulaire diminue la perméabilité de la cuticule et augmente l'albédo de la culture. Les lignées glauques ont une transpiration nocturne réduite, une transpiration diurne plus faible, pour un taux de photosynthèse donné, et une température du feuillage plus réduite. Les feuilles glauques réfléchissent une grande partie de la lumière reçue et restent en activité plus longue (Clarke *et al.*, 1989).

Le système racinaire le plus efficace sous stress est sujet à controverse. C'est la masse racinaire qui est importante selon Blum *et al.*, (1983). Gregory (1989) préconise, par contre, un système racinaire épars, peu développé, qui assure la conservation de l'eau. Ces résultats, apparemment contradictoires, s'expliquent par les différences des environnements dans lesquels les expérimentations ont été conduites. Chaque environnement nécessite un système qui lui est spécifique.

La mesure de la température de la canopée a bénéficié d'un certain intérêt comme technique de criblage pour la résistance au stress, particulièrement avec l'avènement du thermomètre infrarouge portable. Dakheel *et al.*, (1993) trouvent que durant les premiers stades de développement, jusqu'au stade épiaison, quand la température de l'air est relativement basse, la température de la canopée est corrélée positivement avec le rendement en grains.

A partir du stade épiaison et durant la période de remplissage du grain, la température foliaire est corrélée négativement avec le rendement en grains. Des températures basses du couvert végétal sont indicatives d'un potentiel hydrique foliaire élevé (Blum et Pnuel, 1990).

Selon Dakheel *et al.*, (1993), la capacité des plantes à maintenir une température foliaire basse est une indication de leur grande capacité à extraire l'eau du sol et à se rafraîchir par transpiration. Ces variétés maintiennent une activité photosynthétique élevée autorisant un rendement plus élevé, sous stress terminal. La transpiration stomatique est la voie principale de perte d'eau par la plante. Elle représente plus de 90% des pertes totales d'eau en conditions normales.

D'après Tardieu (1996), le contrôle de la conductance stomatique permet d'assurer un meilleur statut hydrique de la plante, sous déficit hydrique. C'est une régulation à court terme. Elle est réversible ce qui permet une réduction du flux hydrique et, par

conséquent, une diminution de la différence des potentiels hydriques racinaire et foliaire. Ce type de contrôle conduit, cependant, à une diminution de la concentration du CO₂ dans les chloroplastes, malgré l'apparente stabilité de sa concentration dans les espaces intercellulaires (Tardieu, 1996).

Sous stress hydrique, la transpiration épidermique (ou résiduelle) définie comme la somme des transpirations s'effectuant par la cuticule et par les stomates incomplètement fermés, joue un rôle important (Belhassen *et al.*, 1995). Elle est caractérisée par la vitesse de déperdition de l'eau (RWL) des feuilles excisées (Clarke *et al.*, 1989). Les mêmes auteurs, notent que le rendement en grains des génotypes à faible RWL était de 40 à 150% plus élevé que celui des génotypes à RWL élevé. Ils concluent qu'un RWL faible contribue à améliorer les rendements en conditions pluviales.

I.3.3. La résistance à la déshydratation des tissus

Des gains de rendements en grains appréciables peuvent être obtenus dans les systèmes de cultures pluviales des régions semi-arides du bassin méditerranéen grâce à une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau (El Hafid *et al.*, 1998). L'efficacité d'utilisation de l'eau EUE, chez les plantes est considérée comme un paramètre très important pour l'adaptation à la sécheresse.

Chez les céréales, Begg et Turner (1976) ont défini ce paramètre comme le rapport de la matière sèche à la quantité d'eau utilisée, comme le rapport du rendement en grains à la quantité d'eau utilisée (Grégory, 2000). Fischer et Turner (1978), Sinclair *et al.*, (1984) ont défini le caractère EUE au niveau des feuilles des plantes comme le rapport de la photosynthèse (assimilation nette de CO₂) à la quantité d'eau transpirée par les feuilles. Le facteur clé de la plante, lié à l'efficacité de la transpiration, est le rapport de la pression partielle du CO₂ dans la chambre sous stomatique et à celle de l'atmosphère.

L'activité photosynthétique est la seule cause de la variation du CO₂ interne, son augmentation réduit le ratio [CO₂interne]/ [CO₂air], et par conséquent la quantité de carbone fixée par unité d'eau utilisée, ou efficacité d'utilisation de l'eau augmente (Ehdaie *et al.*, 1991).

La variation du rapport [CO₂interne]/ [CO₂air] est liée à la variation de la composition isotopique du carbone constituant la matière sèche dite discrimination isotopique. Cette dernière représente le rapport molaire des isotopes de carbone ¹³CO₂/¹²CO₂ appelé ¹³C/¹²C. La discrimination des isotopes du carbone se fait à différents niveaux de la plante. Le CO₂ dans l'atmosphère comprend typiquement 98,9% de ¹²CO₂ et 1,1 % de ¹³CO₂.

Les plantes absorbent le ¹²CO₂, plus léger, à un rythme plus rapide que le ¹³CO₂, plus lourd. Ceci s'explique, en partie, par la diffusion plus lente de ¹³CO₂ à travers les pores stomatiques et aussi à cause de la discrimination contre le ¹³CO₂ par l'enzyme de la carboxylation primaire, la ribulose biphosphate carboxylase/oxygénase (Rubisco).

La Rubisco utilise le ¹²CO₂ plus rapidement (>1000 fois) qu'elle n'utilise le ¹³CO₂. La mesure de ¹³C/¹²C offre des avantages sur les mesures des échanges gazeux. Elle reflète

une mesure intégrative du rapport $[CO_2\text{interne}] / [CO_2\text{air}]$ tout le long de la période de croissance. Plusieurs études sur une large gamme d'espèces ont confirmé que l'efficacité d'utilisation de l'eau est négativement corrélée à $^{13}C/^{12}C$ (Araus *et al.*, 1997).

Araus *et al.*, (1993) ont étudié la discrimination de carbone isotopique sur les différentes parties de l'épi (barbes, glumes et grains) et la feuille étendard de plusieurs variétés de blé dur. Ils ont conclu que la discrimination de carbone isotopique des différentes parties de l'épi est plus faible que celle de la dernière feuille; ces organes de l'épi ont une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau EUE.

Dans une étude réalisée sur blé, Ehdai *et al.*, (1991) ont trouvé des héritabilités de EUE et $^{13}C/^{12}C$ élevées. Ces deux caractéristiques sont négativement corrélées, la sélection de l'une améliore indirectement l'autre. Les avantages de la sélection pour $^{13}C/^{12}C$ sont nombreux. Il y a une variation génétique substantielle et peu d'interaction génotype x environnement. La mesure est non destructive et peut être réalisée tôt dans le cycle, permettant aux plantes sélectionnées d'être utilisées en hybridations.

Trethowan *et al.*, (2005) notent qu'il est possible d'améliorer l'adaptation des variétés de blé aux conditions du déficit hydrique, via l'amélioration de EUE, une meilleure tolérance à la sécheresse ou la combinaison des deux.

Classiquement considéré comme une hormone de stress, l'ABA joue un rôle majeur dans l'évitement du stress par son action sur la fermeture stomatique, sur la réduction de l'élongation des feuilles et sa promotion de l'extension des racines (Tardieu, 1996). La déshydratation ou le traitement à l'ABA des tissus mènent à une synthèse massive de nouvelles transcriptions protéiques. Ces transcriptions codent pour la synthèse de polypeptides de protéines dites LEA (Late Embryogenesis Abundant proteins) protéines, qui s'expriment dans le grain en cours de maturation (Blum, 1996).

Une importante variation génétique pour la capacité d'accumulation d'ABA en conditions de stress hydrique a été observée chez le blé par Quarrie et Jones (1979). Les travaux d'Austin *et al.*, (1982) sur des lignées de blé divergentes (niveau faible et élevé d'accumulation d'ABA) montrent un contrôle génétique simple de ce caractère.

Chez les céréales, le remplissage du grain dépend de la photosynthèse durant cette période et de la translocation des réserves à partir des parties végétatives de la plante et notamment à partir des tiges et des feuilles sénescentes (Simane *et al.*, 1993). La contribution des réserves d'assimilats de pré-anthèse au remplissage du grain est particulièrement importante sous stress abiotique.

La tolérance dans le cas d'un abaissement du potentiel hydrique peut s'exprimer par le maintien de la turgescence qui est rendue possible grâce à l'ajustement osmotique (Belhassen *et al.*, 1995). L'ajustement osmotique (AO) maintient l'ouverture stomatique et l'assimilation du CO_2 (Kameli et Losel, 1996). Elle améliore l'EUE, retarde la sénescence, et maintient le transfert des assimilats vers le grain, augmentant par conséquent l'indice de récolte (Araus *et al.*, 1997).

Selon Morgan *et al.*, (1986), l'AO et le rendement en grains, chez les céréales, sont corrélés sous une large gamme de stress. La capacité d'ajustement osmotique élevée améliore le rendement en grains à des niveaux allant de 11 à 17 % par rapport au rendement des génotypes présentant une faible capacité d'AO. La diminution du potentiel osmotique est due à l'accumulation des solutés cellulaires compatibles (Monneveux et Belhassen, 1996).

Parmi les composés organiques et minéraux qui interviennent dans l'ajustement osmotique, on évoque fréquemment les nitrates, le potassium, les acides organiques, les sucres solubles et la proline (Al Hakimi, 1995). Les ions inorganiques, comme le potassium, expliquent une grande part de la variation du potentiel osmotique foliaire des plantes non stressées où la quantité de solutés organiques est relativement faible.

Ces ions n'interviennent pas significativement dans le changement du potentiel osmotique induit par le stress (Kameli et Losel, 1995). Sous stress hydrique, ce sont les sucres solubles, et plus particulièrement le glucose, qui contribuent le plus à l'ajustement osmotique (Kameli et Losel, 1995). La photosynthèse qui est vraisemblablement la source principale de solutés organiques qui s'accumulent sous stress hydrique (Kameli et Losel, 1996).

Le suivi du développement progressif du stress hydrique révèle la capacité des feuilles jeunes, à accumuler de grandes quantités de sucres comparativement aux feuilles plus âgées. Les feuilles plus jeunes présentent en fait une plus grande capacité d'ajustement osmotique que les tissus foliaires plus âgés (Kameli et Losel, 1995).

Parmi les acides aminés, la proline joue un rôle particulièrement important. Son accumulation à des niveaux élevés sous stress fait qu'on lui attribue un rôle important dans l'ajustement osmotique (Monneveux, 1991). Les résultats obtenus par Blum et Pnuel (1990) indiquent que les dommages de la chaleur estimés par méthode de l'intégrité de la membrane cellulaire, sont négativement corrélés avec l'ajustement osmotique. Le tableau 1 résume l'ensemble des mécanismes intervenant dans l'adaptation des plantes à la sécheresse.

Mécanismes	Paramètres	Références
Evitement de la sécheresse <i>a/.,(1987)</i>	précocité	Grignac (1987); Bidinger
Amélioration de l'absorption de l'eau	longueur et densité des racines profondeur de l'enracinement partie souterraine/aérienne	Nachit et Jarrah (1986); Newman (1972) Taylor et Yamauchi (1991) Benlaribi & <i>a/., (1990)</i> Mac Key (1978)
Réduction des pertes d'eau O'Toole&Cruz(1980) (1980)	enroulement foliaire port et orientation, couleur des feuilles glaucescence pilosité des feuilles transpiration foliaire	Nachit & Ketata (1991) Morgan(1984); Blum & <i>a/., (1982)</i> Acevedo (1987) Turk & Hall O'Toole&Cruz (1980) Clarke & Mc Caig (1982)
Capacité à remobiliser les assimilats stockés	hauteur de la plante longueur du col de l'épi longueur des barbes	Mc WILLIAM (1989) Whan & <i>a/., (1988)</i> Nachit & Ketata (1991)
Ajustement osmotique (1984)	accumulation osmolytes TRE, potentiel hydrique	Stewart & Lahrer (1980) Matin & <i>a/., (1989)</i> ; Morgan
Maintien de l'activité PS	teneur en chlorophylles résistance PS II	Gummuluru & <i>a/., (1989)</i> Havaux & <i>a/., (1988)</i>
EUE	discrimination du Carbone	Farquhar & Richards (1984)

Tableau 1. Mécanismes d'adaptation à la sécheresse

I.4. Les critères de sélection

I.4.1. Sélection pour le rendement

Dans les environnements favorables, la sélection des nouvelles variétés plus productives a été faite sur la base du rendement en grains, après sélection pour la résistance aux diverses maladies. Dans ces milieux le progrès génétique était perceptible et tel que le gain obtenu avoisinait 1% par an pour un potentiel de 70 q/ha (Pfeiffer *et al.*, 2002). Le même schéma de sélection était appliqué dans les environnements stressants où les résultats obtenus étaient peu significatifs et surtout variables dans l'espace et le temps (Blum et Pnuel, 1990 ; Ceccarelli *et al.*, 1998).

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

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

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

Simane *et al.*, (1993) ainsi que Bahlouli *et al.*, (2005) montrent que les effets directs des composantes sur le rendement sont positifs. Ceci indique que si on réussit à maintenir constantes les moyennes des composantes non pris comme critères de sélection, on peut améliorer le rendement par augmentation de la composante utilisée comme critère de sélection. La difficulté réside dans le fait qu'il est difficile de contrôler la variation des composantes non prises en compte dans le processus de sélection (Benmahammed *et al.*, 2004).

Clarke *et al.*, (1991) mentionnent qu'une biomasse élevée à maturité est une caractéristique désirable en milieux semi-arides. Siddique *et al.*, (1989) soulignent qu'une

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

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

La stabilité du rendement, perçue en terme de réduction de la fréquence des rendements de faibles niveaux, est un objectif très important dans les environnements stressants (Bouzerzour *et al.*, 1998). Les nouvelles variétés d'orge montrent en générale une faible stabilité spatio-temporelle des rendements. Elles se caractérisent par des rendements élevés en bonnes années et des rendements faibles en années problématiques, comparativement aux variétés locales qu'elles sont sensées remplacer. De sorte que les variétés les moins variables ne sont pas les plus productives (Benmahammed *et al.*, 2004). Ce qui laisse apparaître que le rendement potentiel et la stabilité du rendement sont deux paramètres indépendants qu'il faut concilier pour obtenir une meilleure adaptation du génotype à la variation environnementale du lieu de production.

1.4.2. Sélection pour l'adaptation aux stress

Les résultats des travaux de physiologie sont très encourageants dans ce sens où ils indiquent de grandes possibilités pour améliorer l'adaptation de la plante aux conditions de stress qu'elle endure sous climat semi-aride. L'inconvénient majeur de ces études est qu'elles ont été conduites avec un nombre très restreint de génotypes. Elles ont donc un caractère purement relatif et en plus il est peu envisageable de les étendre à de larges populations en ségrégations.

Des résultats expérimentales suggèrent que lorsque la variabilité environnementale est élevée suite à des différences imprévisibles dans la fréquence, le moment et la sévérité des stress climatiques, il y a différentes combinaisons de caractères qui sont susceptibles de conférer la résistance aux stress (Ceccarelli *et al.*, 1992 ; Fella *et al.*, 2002 ; Benmahammed *et al.*, 2004). L'esquisse d'un idéotype de plante pour un environnement ciblé dépend, donc, de la capacité à prédire les effets des stress sur la plante, et les réactions de cette dernière dans un environnement donné.

Les résultats récents de Bahlouli *et al.*, (2005) indiquent qu'il n'y a pas une seule architecture de caractères idéale pour un environnement variable. Au contraire différentes combinaisons de caractères conduisent à un même niveau rendement en grains sous stress (Acevedo et Ceccarelli, 1989). L'incapacité du rendement en grains, utilisée seul comme critère de sélection, à améliorer la production en conditions environnementales difficiles, suggère le recours à l'utilisation des paramètres morfo-physio-biochimiques.

Selon Richards *et al.*, (1997), Araus *et al.*, (1998) et Benmahammed *et al.*, (2004), le frein à la réalisation d'un progrès de rendement en grains significatif, sous stress, résulte

de la variation du degré d'expression de la multitude de caractères qui conditionnent le rendement dans de tels milieux. L'identification des combinaisons de caractères, les plus fréquentes et les plus liées au rendement dans le milieu ciblé, quoique difficile, est une œuvre de longue haleine.

L'analyse des liaisons inter-caractères est le plus souvent utilisée pour mesurer l'influence d'un caractère particulier sur le rendement en grains. Cependant, une corrélation n'implique pas nécessairement une relation de cause à effet, à cause notamment de l'effet indirect des autres caractères liés au caractère en question. La validation du rôle d'un caractère donné peut être effectuée soit en créant des lignées iso-géniques, soit en appliquant une sélection divergente.

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

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

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

I.5. Gain génétique du rendement et caractères associés

Bouzerzour *et al.*, (2002) mentionnent, suite à une étude comparant la productivité et l'adaptation de l'orge et des blés, en zone semi-aride, que l'orge est plus adaptée que le blé dur à cette région. Les variétés nouvelles n'apportent de gain génétique significatif pour le rendement grain que chez les blés mais pas chez l'orge. La variété Barberousse n'arrive à dépasser la variété Tichedrett que dans 53% des cas. En blé dur, la variété Waha arrive à produire significativement mieux que la variété Mohamed Ben Bachir, 12 années sur 15. La variété HD1220, qui est un blé tendre se montre significativement plus productive que Mahon Démias, depuis son adoption par la grande culture. Blum (1996) remarque que le rendement potentiel est souvent négativement corrélé avec l'adaptation à la sécheresse. Les génotypes très productifs accusent une plus grande réduction du rendement sous stress hydrique comparativement aux génotypes à rendement modéré. L'auteur signale que des exemples de relations positives entre un rendement potentiel élevé et la sensibilité à la sécheresse sont devenus très courants.

Fellah *et al.*, (2002) trouvent une relation négative entre l'adaptation, mesurée par la tolérance au stress calorique et le rendement en grains. Les variétés tolérantes, produisent moins en absence de stress comparativement aux variétés sensibles. L'inverse est vrai en présence de stress, avec un écart de rendements entre environnements, plus élevé chez

les génotypes sensibles que chez les génotypes tolérants. L'amplitude de l'écart est du surtout aux bonnes performances des génotypes sensibles sous conditions optimales et non leurs performances sous stress hydrique qui restent très proches de celles des variétés tolérantes.

Selon Ceccarelli (1994), de nombreux programmes d'amélioration nationaux et internationaux considèrent la recherche d'une large adaptation comme un objectif primordial. Cette sélection conduite à l'identification d'un nombre réduit de génotypes adoptés sur de vastes superficies, où la variation climatique est très importante. Cette pratique qui réduit de la diversité génétique, n'est pas sans risque d'autant plus que les agriculteurs ne sont pas intéressés par des cultivars largement adaptés dans l'espace, mais plutôt par des cultivars spécifiquement adaptés à leurs conditions et utilisations.

Annicchiarico et Perenzin (1994) notent que dans une région comprenant plusieurs localités, une interaction génotype x localité plus importante qu'une interaction génotype x saison suggère une subdivision de cette région en plusieurs macro-environnements uniformes (Sous-régions) de sélection. Passioura (1996) remarque que les environnements de stress, souvent très variables, nécessitent plusieurs années d'expérimentations pour démontrer les avantages d'un cultivar donné.

Brancourt- Hulmel *et al.*, (2003) mentionnent que le rendement en grain s'est amélioré sensiblement entre 1880 et 1950 de l'ordre de 10 kg/ha/an. Puis il a connu un changement plus significatif entre 1956 et 1999, de l'ordre de 126kg/ha /an. Plusieurs auteurs ont comparé le rendement potentiel des variétés anciennes et modernes (Slafer et Andrade 1991 ; Feil 1992). L'objectif est de déterminer le gain génétique du rendement grain évalué sur la base des données collectées au cours de longues périodes et/ou sur la base des essais comparatifs de rendement intégrant les variétés anciennes, prises comme témoins, et les nouvelles obtentions représentant l'apport génétique du à la sélection.

Cette dernière approche est plus intéressante. Elle mesure les mêmes génotypes sous les mêmes conditions culturales et climatiques. Elle permet ainsi de mesurer les changements qui ont touché les caractères liés à l'architecture de la plante, suite aux effets du processus de sélection. Le gain génétique du rendement grain est associé à l'augmentation du nombre de grains par m² et celui du poids de 1000 grains (Cox *et al.*, 1988), à la réduction de ce dernier caractère (Perry et D'Antuono, 1998).

L'amélioration de la fertilité seule ou combinée avec le nombre d'épis par m² sont aussi rapportés comme étant une cause de l'augmentation du rendement grain des nouvelles variétés (Slafer et Andrade, 1989 ; Austin et Ford, 1989). Feil (1992) discute le fait que le poids de 1000 grains ne soit pas toujours associé avec l'amélioration du rendement grain des nouvelles obtentions. Il explique que les grains produits en plus le sont sur des sites secondaires qui ne peuvent développer de meilleurs poids du grain.

L'amélioration du rendement en grains chez les nouvelles obtentions vient du fait d'une amélioration de l'indice de récolte (Austin, 2000). La biomasse aérienne a aussi connu une légère augmentation, avec une nette amélioration de l'indice de récolte (Austin *et al.*, 1980). Les nouvelles obtentions semblent posséder la capacité de faire une meilleure utilisation de l'azote du sol et des fertilisants pour produire plus de grains, avec une nette efficacité d'utilisation de l'azote en post-anthèse (Cox *et al.*, 1988 ; Ortiz-Monasterio *et al.*, 1997).

I.6. Interactions génotype – milieu (G x E) et stabilité de rendement

Les variations des réponses génotypiques face à des variations environnementales nécessitent d'étudier l'interaction G x E. La plupart des études dans lesquelles la magnitude de l'interaction G x E du rendement en grains a été mesurée, ont détecté une interaction statistiquement significative. En générale, seules les études menées avec un nombre limité de génotypes et/ou d'environnements présentent une interaction négligeable (Ceccarelli, 1989).

Dés 1974, Reitz regroupe des variétés d'espèces cultivées en trois catégories :

- Les variétés maintenant des rendements élevés dans une large gamme d'environnements ou variétés « à adaptation large » ;
- Les variétés assurant une production de grains relativement élevée dans les environnements à fortes contraintes, ou variétés « rustiques » ;
- Les variétés ne donnant de bons rendements qu'en conditions très favorables ou variétés « à haute productivité »

Différents modèles ont été proposés pour analyser ces interactions G x E. Ils reposent tous sur un suivi du comportement, dans une large gamme de situations différentes, d'un même groupe de variétés. La plupart de ces modèles sont dits « linéaires »; la stabilité du rendement d'une variété est évaluée soit :

- à partir de la contribution de chaque génotype à l'interaction (W_i) (Wricke, 1962).
- à partir des valeurs du coefficient de régression, du rendement moyen (obtenu en prenant en compte l'ensemble des « situations »), et éventuellement du carré moyen de la déviation (Sd^2) (Finlay et Wilkinson, 1963; Eberhart et Russel, 1966).
- à partir du coefficient de détermination (R^2) (Pedersen *et al.*, 1978).
- à partir d'une analyse de variance qui permet d'estimer la variance d'interaction (Westcott, 1986).

Des modèles multivariés ont été proposés (Kempton, 1984 ; Gauch, 1988 ; Zobel *et al.*, 1988). Le programme AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) est un exemple de ce type de modèles ; il a été utilisé pour l'analyse du comportement de différentes variétés d'orge (Romagosa *et al.*, 1993 ; Rodriguez *et al.*, 2008), de blé dur (Nachit *et al.*, 1992 ; Annicchiarico *et al.*, 2005), et de triticales (Royo *et al.*, 1993) dans le bassin méditerranéen.

La recommandation des variétés peut être définie sur la base des meilleurs rendements du matériel végétal au niveau de chaque site, si le matériel végétal diffère en fonction du site. Les localités dont le classement des meilleures variétés est le même forment une sub-région ou mégaenvironnement (Gauch et Zobel, 1997 ; Annicchiarico, 2002). D'autre part, la même recommandation peut être appliquée à l'ensemble de la région si les meilleurs génotypes restent les mêmes à travers toutes les localités (Annicchiarico, 2002).

CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES

L'expérimentation a été menée sur quatre sites, représentant l'aire où prédomine la culture de l'orge. 20 % de la production nationale d'orge proviennent des quatre régions ciblées (MADR, 2006). Les sites expérimentaux sont caractérisés par un climat semi-aride.

II.1. Caractérisation des sites d'étude

II.1.1. La station expérimentale du Khroub

La station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes cultures (ITGC) du Khroub appartient au plateau de Ain El Bey. Située à 713 m d'altitude, aux coordonnées 36° 3' N de latitude et 6° 6' E de longitude, elle fait partie du territoire de la commune d'El Khroub. La majeure partie de la superficie du site est de faible pente 0 à 7 % (ITGC, 2005). Les sols sont carbonatés, de texture argilo-limoneuse. Le calcaire total varie de 19 à 21 %, la teneur en calcaire actif de la couche de surface (0-30 cm) varie de 9.87 à 12 % (ITGC, 2005). Les sols sont non salins, avec une conductivité électrique qui varie de 0.12 à 0.18 mmhos/cm. Le complexe absorbant est bien saturé en bases échangeables, à plus de 90 %. Le cation Ca^{++} occupe plus de 50 %.

La capacité d'échange cationique est moyenne, elle varie entre 23 et 28 méq/100g. Les sols sont moyennement pourvus en matière organique dont le taux varie de 1.49 à 2.65 %. Le rapport C/N est satisfaisant. Ils sont pauvres en azote et phosphore total et riche en potassium total. Le pH a une valeur moyenne de 7,9 (ITGC, 2005). Le climat oscille entre le sub-humide et le semi-aride à hiver frais. L'indice d'aridité est de 0.46, la température moyenne de l'hiver est de 7.3°C et celle de l'été est égale à 24.5°C (Climat d'Algérie, 2003).

II.1.2. La station expérimentale de Sidi Bel abbés

La station expérimentale ITGC de Sidi Bel abbés est située à une altitude de 483 m, à 35° 2' N et 0° 3' O. Les parcelles de la station sont caractérisées par un relief plat avec une pente de 1 %. Les sols sont calcimagnésiques bruns calcaires, peu profonds. La texture est limono-sableuse, le taux de calcaire total est de 24.8 %, le calcaire actif est de l'ordre de 13 % (ITGC, 2005). Ils sont non salins avec une conductivité électrique de 0.12 mmhos/cm sur l'horizon 0-30 cm. Le pH est de 8.36 et la capacité d'échange cationique est de 15.8 méq/100g.

Les sols sont relativement pauvres en matière organique, avec un taux de 1.93 %, riches en phosphore et moyennement pourvus en azote. Le climat de la région est de type semi-aride avec une tendance vers l'aride comme le confirment les données pluviométriques récentes qui restent bien inférieures à la normale des 400 mm (Benseddik,

2001). L'indice d'aridité est égal à 0.27, la température moyenne de l'hiver est de 9.4°C et celle de l'été est de 24.6°C (Climat d'Algérie, 2003).

II.1.3. La station expérimentale de Sétif

La station expérimentale de Sétif est située à une altitude de 1023 m, aux coordonnées géographiques 36° 12' N et 5° 24' E. Les terres sont caractérisées par un relief plat, de pente inférieure à 2 %. Les sols sont majoritairement carbonatés. Les carbonates de calcium sont présents en surface sous forme d'individualisations calcaires souvent continues, formant des dalles calcaires. La texture est argileuse à limono- argileuse (Hadj Youcef, 2002).

Le taux de calcaire total est de 31.3 % et celui de la matière organique est de 1.87% (ITGC, 2005). La densité apparente est de 1.35 (ITGC, 2006). Les caractéristiques hydriques de ce sol sont une capacité au champ égale à 2.5 mm/cm, le point de flétrissement se situe à 1.2 mm/cm ; d'où une réserve utile de 1.3 mm/cm (Hadj Youcef, 2002). Le climat de la région est caractérisé par des hivers froids, de fréquentes gelées et des coups de sirocco précoces (Baldy, 1974). L'indice d'aridité est de 0.33, la température moyenne durant les mois de l'hiver est de 6°C et celle des mois d'été est égale à 24.4°C (Annichiarico *et al.*, 2002).

II.1.4. La station expérimentale de Saida

La station expérimentale ITGC est située à 7 km au sud ouest du chef lieu de la daïra d'Ain El Hadjar, aux coordonnées géographiques 34° 3' N et 0° 8' O à 1013 m d'altitude. Les sols sont calcaires avec un pH de 8.05 à 8.45 et de texture argileuse à limono- argileuse. La capacité d'échange cationique varie de 11 à 32 méq/100g (ITGC, 2005). La teneur en phosphore assimilable est faible, variant de 6 à 20 ppm. La teneur en azote varie de 0.12 à 0.15 ‰, celle de la matière organique est faible. La densité apparente est de 1.21 (ITGC, 2006). Les caractéristiques hydriques de ce sol sont une capacité au champ égale à 2.37 mm/cm, le point de flétrissement se situe à 1.7 mm/cm ; d'où une réserve utile estimée de 0.67 mm/cm (Hadj Youcef, 2002). Le site est caractérisé par un climat rigoureux, du type méditerranéen, semi aride, à hiver long, les gelées se chevauchent avec les premiers coups de sirocco. L'indice d'aridité est égal à 0.26, la température moyenne au cours de l'hiver est de 8.7°C et durant l'été elle est de 25.5°C (Climat d'Algérie, 2003).

II.2. Description du matériel végétal

L'essai a été conduit avec 12 variétés d'orge, d'origine syrienne, locale et européenne.

II.2.1. Groupe de variétés syriennes

Rihane₀₃ est une orge à 6 rangs, de type printemps, très sensible aux gels tardifs, très performante lors des années sans froid excessif. C'est une sélection de la station de Sidi Bel Abbés. C'est une variété très productive dans les plaines intérieures et les hauts – plateaux de l'ouest (Benmahamed *et al.*, 2001).

Acsad₁₇₆ est une orge à 6 rangs, de type printemps, sélectionnée par la station de Tiaret à la fin des années 1970 dans le cadre du programme de coopération avec l'ACSAD. Elle donne de bons rendements en absence du gel tardif. Elle a été retirée du programme de multiplication de semences des hauts plateaux de l'est, à cause de sa forte sensibilité au gel tardif (Bouzerzour, 1990).

Rahma est une orge à 2 rangs, sélectionnée par la station de Sétif, au début des années 1990, à l'intérieur des pépinières de l'ICARDA. Elle est légèrement plus productive que les variétés locales. Bahia est une variété à 6 rangs, c'est une sélection récente de la station expérimentale de Sétif. Fouara est une orge à 6 rangs, elle a été sélectionnée par la station de Sétif à l'intérieure de la pépinière de l'ICARDA, en 1991/92. C'est une variété très productive et de bonne stabilité, elle a été proposée et inscrite au catalogue officiel depuis 1997 (Benmahamed *et al.*, 2001).

II.2.2. Groupe de variétés locales

Saida 183 est une orge à 6 rangs, issue des populations locales. Elle est de type printemps, à paille haute, sensible à l'Helminthosporiose. Elle est cultivée sur une large gamme d'environnements, et occupe 74% de la sole réservée à la production de semences au niveau national (Boufenar et Zaghouane, 2004). Tichedrett est une orge à 6 rangs, issue de la sélection à l'intérieure des populations locales. C'est une variété de type demi-hiver, rustique, s'adaptant plus aux conditions environnementales des hauts plateaux de l'est du pays. Elle occupe 15% du programme de multiplication de semences (Boufenar et Zaghouane, 2004).

II.2.3. Groupe de variétés européennes

Jaidor est une orge à 6rangs, c'est une sélection du groupe français Verneuil. Elle a été identifiée par la station du Khroub, variété semi-précoce très productive dans les plaines intérieures, sensible au froid à mesure que ses semis gagnent de l'altitude (Makhlouf *et al.*, 2003). Tina est une variété espagnole, introduite par le MADR dans le cadre du projet CEE–ITGC de Sétif, en 1984/1985. C'est une orge à 6 rangs qui se caractérise par un épi lâche, de taille réduite et une forte capacité de tallage épis ainsi qu'une hauteur de paille élevée. C'est une variété très adaptée aux conditions sèches (Cantero- Martinez *et al.*, 1995). Elle s'exprime mieux lors des années caractérisées par une fin de cycle sèche (Bouzerzour, 1998).

Plaisant est une variété à 6 rangs, introduite dans le cadre de la collaboration bilatérale entre l'ITGC et le groupe semencier français SERASEM au début des années 1990. Elle est semi- précoce, demi- hiver à demi- alternatif (Soltner, 1999). Barberousse, est une variété à 6 rangs, c'est une obtention de l'INRA de France. C'est une variété sensible à la photopériode, productive, tolérante à la sécheresse et au froid. Elle se distingue, le plus souvent, par une large adaptation aux zones littorales, les plaines intérieures et les hauts plateaux (ITGC, 2001).

Bégonia est une variété introduite par le MADR, dans le cadre du projet CEE – ITGC de Sétif, en 1984/1985. C'est une orge à 6 rangs qui se caractérise par un épi très dense, une fertilité élevée, associée à une forte capacité de tallage épis et une hauteur de paille intermédiaire. Cette variété s'exprime mieux lors des années caractérisées par une bonne répartition de la pluviométrie en fin de cycle (Bouzerzour, 1998).

II.3. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental, adopté au niveau de chaque site, est le modèle des blocs aléatoires complets avec trois répétitions. L'unité expérimentale est une parcelle de 5m de long sur 1.20 m de large (6 rangs espacés de 0.20 m). 100 kg ha⁻¹ d'azote, sous forme d'urée, ont été appliqués en début de la période de croissance active de la végétation, au mois de mars 2006. Le contrôle des mauvaises herbes est effectué à l'aide d'une application de l'herbicide Zoom [4.1% *Trisulfuron* + 65.9% *Dicamba*] à raison de 120g ha⁻¹, après l'application de la fertilisation azotée. La fertilisation P est appliquée avant le semis à raison de 100 kg ha⁻¹ de super phosphate à 46%. Les semis ont été réalisés durant la première semaine du mois de décembre 2005 et la récolte à la fin du mois de juin 2006.

II.4. Grandeurs mesurées

II.4.1. Caractère phénologique

II.4.1.1. Durée de la phase végétative

Elle est exprimée en jours calendaires, de la levée à la sortie de 50% des épis par variété.

II.4.2. Caractère morphologique

II.4.2.1. Hauteur des plantes (HPL)

Elle a été mesurée juste avant la récolte des essais, prise par trois endroits par parcelle élémentaire, du sol jusqu'au sommet de l'épi, barbes non incluses. Elle est exprimée en cm.

II.4.3. Caractères physiologiques

II.4.3.1. Eau utilisée (EU)

Elle est déterminée, par gravimétrie sur une profondeur de 0-60 cm, à partir de l'humidité du sol au moment du semis (H_S), les précipitations enregistrées durant le cycle de développement de la culture (P) et l'humidité résiduelle du sol à la récolte (H_R). Elle est exprimée en mm. Juste avant le semis, cinq échantillons de sol ont été prélevés à l'aide d'une tarière, de la parcelle recevant l'essai. Ces échantillons ont été mélangés pour constituer un échantillon moyen, sur lequel l'humidité pondérale a été déterminée.

A la maturité, les prélèvements ont été faits par parcelle élémentaire. Les échantillons sont mis dans des boîtes en aluminium, pesées à l'état frais (MH), puis ils sont repesés (MS) après les avoir mis dans une étuve, pour une durée de 24 heures à une température de 105°C. L'humidité pondérale (H %) du sol est obtenue à partir du rapport de la variation de la masse humide (MH) à la masse sèche (MS), selon la formule suivante, décrite par Duhauffour (1997):

$$H (\%) = 100 [(MH - MS) / (MS)]$$

La quantité d'eau disponible, et utilisable par la végétation, dans le profile (H, mm) est déduite par la formule:

$$H (\text{mm}) = [(H_{\%} - H_{PF}) \times h \times da] / 100$$

avec $H_{\%}$ = humidité pondérale du sol, H_{PF} = humidité du sol au point de flétrissement, h = profondeur de l'horizon en mm, da = densité apparente du sol du site expérimental considéré.

La quantité d'eau utilisée (EU) par variété est alors estimée à partir des humidités résiduelles au semis (H_S) et à la récolte (H_R), à laquelle on ajoute les précipitations (P) enregistrées au cours de la même période, selon Tennant *et al.*, (1991):

$$EU (\text{mm}) = P + H_S - H_R$$

II.4.3.2. Efficience de l'utilisation de l'eau (EUE)

L'EUE, exprimée en kg/ha/mm, est calculée à partir du rapport du rendement en grains sur la quantité d'eau utilisée au cours du cycle, d'après Gregory *et al.*, (2000):

$$EUE (\text{kg/ha/mm}) = \text{RDT} (\text{kg/ha}) / EU (\text{mm})$$

II.4.4. Le rendement et ses composantes

II.4.4.1. Composantes du rendement grain

Le nombre d'épis par m^2 (NE) a été déterminé à partir du comptage de deux placettes, d'une longueur de 2 m linéaires chacune, par parcelle élémentaire, puis rapportée au m^2 . Le nombre de grains par épi (NGE) a été déterminé par calcul selon la formule :

$$\text{NGE} = 1000 \text{RDT}(\text{g/m}^2) / \text{NE} \times \text{PMG} (\text{g})$$

où RDT représente le rendement en grains (g/m^2), NE le nombre d'épis/ m^2 et PMG le poids de 1000 grains en (g).

Le nombre de grains au m^2 (NGM^2), a été déterminé partir du produit du nombre d'épis par m^2 et du nombre de grains par épi. Le poids de mille grains (PMG, g) est déduit à partir de 1000 grains comptés à l'aide d'un compteur à grain du type numigral, puis pesés avec une balance de précision de marque Sartorius.

II.4.4.2. Le rendement

Le rendement en grains (RDT) a été déterminé après la récolte des 4 rangs centraux de chaque parcelle élémentaire avec une moissonneuse-batteuse expérimentale du type Hegé 125. Le rendement parcellaire est exprimé en g/m^2 . Le rendement en paille (PLL) a été déterminé après la récolte de chaque parcelle élémentaire, la paille produite est mise dans un sac, puis pesée pour déterminer le rendement en paille. Il est exprimé en g/m^2 . Le rendement économique (RDTéco) a été obtenu à partir de la somme du rendement en grains et l'équivalent grain de la paille produite (30 kg de grains équivaut à 1 quintal de paille produite (Annichiarrico, 2002). Il est exprimé en g/m^2 .

II.5. Conditions climatiques de l'année d'expérimentation

Au Khroub, la campagne agricole a été caractérisée par une pluviométrie déficitaire, avec un cumul de 363 mm enregistrés, par rapport à la normale de la région qui est de 502 mm (Figure 1, Annexe 1-A). Toutefois, à l'exception, de l'automne durant lequel le déficit a été enregistré, les précipitations ont été bien réparties au cours de l'hiver et le printemps.

Le régime thermique, a été caractérisé par des températures basses durant la période allant du mois de décembre à février (Figure 2), pendant lesquels 21 jours de gelées ont été observés (Annexe 1-A). A partir du mois de mars, on a relevé des températures douces. Il est à noter deux faits exceptionnels, l'absence de gelées au printemps, et le sirocco pendant la phase de remplissage du grain.

A Sidi Bel Abbes, la pluviométrie de la campagne a été de 351 mm, enregistrant un excédent de 45 mm par rapport à la moyenne de la région qui est de 306 mm (Figure 1, Annexe 1-B). Cependant, les précipitations ont été mal réparties, puisque d'abondantes chutes de pluies ont été enregistrées au cours de l'automne et l'hiver, à l'inverse, au printemps les pluies sont devenues rares (Figure 1), où un déficit de plus de 60 mm par rapport à la normale, a été noté (Annexe 1-B).

Du point de vu régime thermique, l'hiver a été relativement doux. Au cours du printemps on a enregistré une hausse des températures moyennes en comparaison avec la normale saisonnière. Le mois de mai a été plus chaud (Figure 2, Annexe 1-B), où un écart de 4°C a été noté. Le nombre de jours de gelées ainsi que celui de sirocco ont été inférieures à ceux observés habituellement dans la région (Annexe 1-B).

A Sétif, la pluviométrie de la campagne a été de 417 mm, soit un excédent de 42 mm par rapport à la moyenne admise pour la région qui est de 375 mm (Figure1, Annexe 1-C). Les précipitations ont été très irrégulières durant l'hiver, avec une diminution à partir du mois de janvier (Figure 1). Les mois de février et mars ne totalisent que 47.2 mm. Un retour progressif des précipitations a été enregistré à partir de la dernière décade du mois d'avril. Le mois de mai a été très pluvieux avec 88 mm, bien répartie. Ces précipitations tardives ont permis un bon remplissage du grain et par conséquent une amélioration du rendement de ce dernier.

Les températures moyennes des mois de janvier et février ont été inférieures à la normale, par contre à partir du mois de mars les températures ont été supérieures à la normale (Figure 2, Annexe 1-C). Le nombre de jours de gelées a été élevé au cours de cette campagne agricole, avec 95 jours enregistrées (Annexe 1-C), comparativement à la

moyenne habituellement enregistrée qui est de 66 jours. Le mois d'avril totalise 23 jours de gelées, ces dernières ont été à l'origine de la baisse de fertilité des épis, il est à signaler que les gelées ont persisté jusqu'au mois de juin, où 2 jours ont été enregistrés au courant de la première décade.

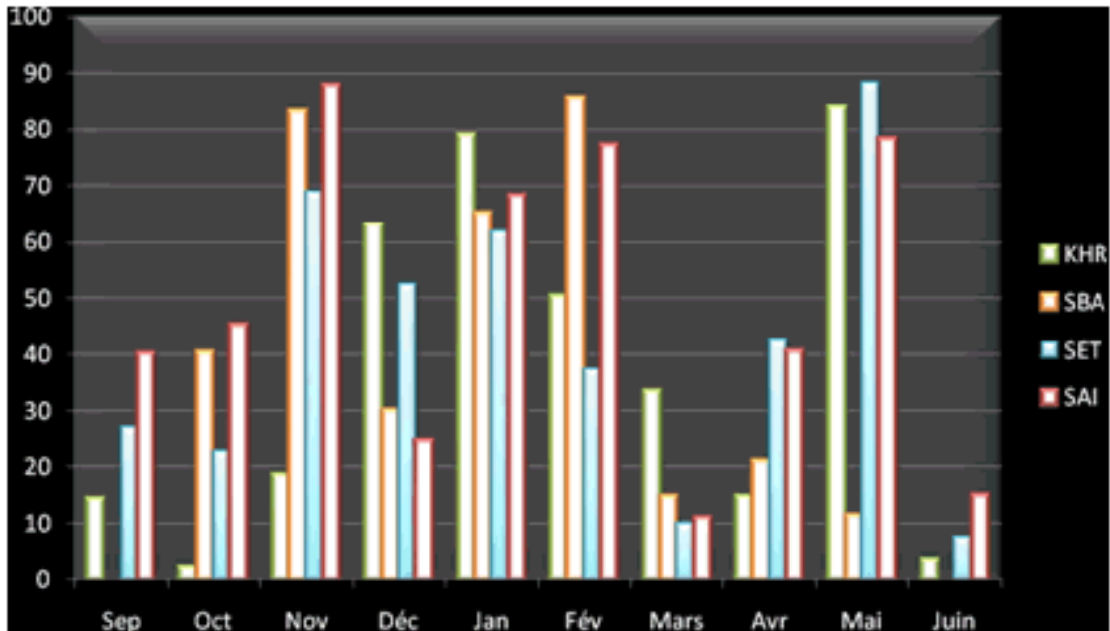


Figure 1. Précipitations moyenne mensuelle (mm) de la campagne agricole 2005/2006 sur les différentes localités

A Saida, le cumul pluviométrique de la campagne agricole est de 495 mm, avec un excédent de 167 mm sur la pluviométrie de la région estimée à 328 mm. Les précipitations ont été abondantes au cours de l'hiver et bien réparties, 68mm ont été enregistrés durant le mois de janvier (Figure 1). Au cours du printemps, le mois de mars a été pratiquement sec, où seulement 11 mm ont été recueillis à la fin de la deuxième décade (Annexe 1-D). Une longue séquence sèche d'une durée de 36 jours a été notée, ce qui a laissé apparaître des fentes de retraits le long du profil. De fortes précipitations ont marqué les derniers jours du mois d'avril, avec 50 mm en une journée. Le mois de mai a totalisé 78.2 mm de pluie et le mois de juin 15 mm (Annexe 1-D).

L'hiver a été rigoureux, les températures moyennes de décembre à février ont été inférieures à la normale saisonnière (Annexe 1-D). Au cours du printemps une hausse des températures a été enregistrée par rapport à la normale. Le mois de mai a été plus chaud, où un écart de plus de 3 °C a été noté (Annexe 1-D). Le nombre de jours avec des températures négatives est sensiblement le même que la normale. A partir de la mi-mars, on a observé le phénomène d'alternance, des gelées la nuit et des coups de sirocco le jour. Au total 23 jours de sirocco ont été enregistrés durant cette campagne agricole (Annexe 1-D).

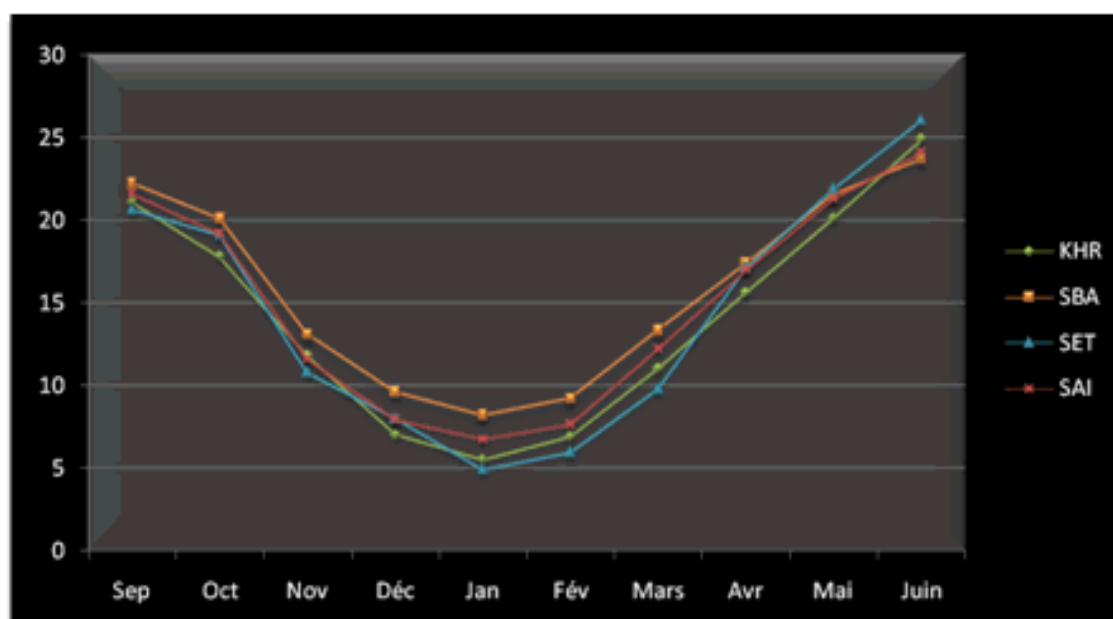


Figure 2. Températures moyennes mensuelles (°C) de la campagne agricole 2005/2006 sur les différents sites

II.6. Analyses statistiques

Les données mesurées ont fait l'objet d'une analyse de variance pour chaque site expérimental, à l'aide du logiciel STATITCF version 1.0 (1991). Une autre analyse de variance combinée sur les différents sites de l'interaction génotype-environnement (G x L) a été réalisée avec le logiciel IRRISTAT version 5.0 (2005). La plus petite différence significative (Ppds) au seuil de 5% de probabilité a été utilisée pour comparer les moyennes variétales et environnementales.

Suite à la multitude des réponses des génotypes à la variation du milieu, les données ont été traitées par la technique de la régression conjointe selon le modèle de Finaly et Wilkinson (1963) qui estime la régression du rendement de chaque variété par rapport à l'indice du milieu (I) qui est l'écart de la moyenne des génotypes dans un lieu (Y.j) déduite de la grande moyenne (Y..). L'équation de la régression est : $Y = bI + a$ où $I = Y.j - Y..$

Elle décrit une relation linéaire entre I, variable indépendante (indice du milieu) et Yij variable dépendante représentant le rendement moyen du génotype i dans l'environnement j. a est l'ordonnée à l'origine et b la pente de la droite, ou coefficient de régression.

Une valeur de b significativement inférieure à 1 est indicatrice d'une adaptation spécifique aux environnements défavorables tandis que des valeurs supérieures à 1 caractérisent une adaptation spécifique aux environnements favorables. Une valeur de b égale à l'unité est indicative d'une large adaptation. Cette méthode permet de calculer la droite de régression du rendement moyen du génotype en fonction du rendement moyen de tous les environnements (Finaly et Wilkinson, 1963).

La méthode des effets principaux additifs et de l'interaction génotype x environnement multiplicative (AMMI) a été aussi utilisée, pour étudier l'interaction. Cette technique associe

l'analyse de variance de modèle additif à l'analyse en composantes principales des interactions. Elle explique une plus grande partie de l'interaction, en séparant les effets dus au comportement génotypique (pattern) des effets dus à l'erreur dit bruit de fond (noise) (Zobel *et al.*, 1988).

Une étude des corrélations a été réalisée, pour déceler les liens éventuels entre certains caractères pré-et post récolte. La connaissance des relations entre caractères permet d'identifier ceux qui contribuent directement ou indirectement au rendement, pour leurs utilisations comme critères directes ou indirectes de sélection pour le rendement.

Pour comparer les paramètres statistiques mesurant la stabilité génotypique le coefficient de corrélation de rang de Spearman (r_s) a été calculé selon la procédure décrite par (Steel & Torrie, 1980). La signification statistique du coefficient de rang de Spearman r_s est testée par comparaison du t de Student calculé avec le t de table au seuil de 5% de probabilité. Le t de Student est calculé selon (Steel & Torrie, 1980) par :

$$t_{obs} = r_s \sqrt{(n-2)/(1-r_s^2)}$$

Où n = nombre de génotype et r_s est le coefficient de rang de Spearman. Le t de table a $n-2$ degrés de libertés.

CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Variabilité des caractères morphologiques, du rendement et des composantes par site expérimental

III.1.1. Site du Khroub

Les résultats obtenus révèlent une importante variabilité entre les différents génotypes expérimentés pour la plupart des caractères étudiés. Hormis le poids de 1000 grains, le reste des caractères étudiés présente des différences significatives (Tableau 2).

	NE	NGE	NGM ²	HT	PMG	RDT	PLL	EGP
RDTéco	m ²	----	----	cm	g	g m ²	g m ²	g m ²
Plai	266.7	38.5	10268	81.3	37.0	361.7	975	292.6
654.3								
Tin	343.3	36.2	12427	93.5	37.3	466.7	900	270.0
736.7								
Beg	285.0	44.1	12568	76.3	34.0	416.7	733	220.0
636.7								
Jai	311.7	24.2	7543	81.1	40.0	300.0	900	270.0
570.0								
Bah	181.7	38.0	6905	91.5	37.7	258.3	708	212.4
470.7								
Fou	311.7	53.3	16614	71.2	36.3	600.0	717	215.1
815.1								
Rah	368.3	34.0	12522	74.3	37.3	450.0	700	210.0
660.0								
Acs	231.7	52.9	12257	86.3	36.7	450.0	583	175.0
625.0								
Bar	255.0	34.1	8696	79.3	37.0	316.7	625	187.5
504.2								
Sai	343.3	41.2	14144	87.3	38.0	533.3	767	230.1
763.4								
Rih	315.0	41.9	13198	86.3	36.7	466.7	650	195.0
661.7								
Tic	271.7	47.0	12770	76.3	37.7	483.3	667	200.1
683.4								
Moy	290.4	40.4	11533	82.0	37.1	425.3	744	223.0
648.4								
C V _%	14.7	9.8	12.6	3.0	8.8	16.8	17.8	17.8
13.8								
Ppds _{5%}	59.0	4.2	4708	4.7	5.53 ^{ns}	121.2	227.1	68.1
152.7								

Tableau 2. Valeurs moyennes des caractères mesurés sur le site du Khroub

NE= nombre d'épis/m², PMG = poids de 1000 grains, RDT = rendement en grains, PLL = rendement paille, HT = hauteur du chaume, NGE = nombre de grains par épi, NGM² = nombre de grains/m², Eqg = rendement paille exprimé en équivalent grains, RDTéco = rendement économique qui est la somme du rendement en grains plus l'équivalent grain de la paille produite

La hauteur des plantes varie de 71.2 à 93.5 cm, avec une moyenne du site de 82.0 cm. Le test avec la Ppds_{5%} révèle que seules les variétés Tina et Bahia, avec respectivement 93.5 cm et 91.5 cm, sont significativement plus hautes que le reste des variétés testées (Tableau 2).

Le nombre d'épis/m² varie de 181 à 368, la moyenne est de 290.4 épis/m². Les variétés Rahma, Tina et Saida₁₈₃, avec des moyennes respectives de 368.3, 343.3 et

343.3 épis/m², présentent une capacité génétique de production d'épis par unité de surface significativement plus élevée que les autres variétés (Tableau 2).

Le nombre de grains par épi varie de 24.2 à 53.3, avec une moyenne de 39.5 grains/épi. Les variétés Fouara et Acsad₁₇₆, avec des moyennes respectives de 53.3 et 52.9 grains/épi, sont les plus fertiles. Le nombre de grains/m² varie de 6905 à 16614 grains. La moyenne du site est de 11659 grains/m². Les variétés Bahia, Jaidor, Barberousse et Plaisant sont significativement inférieures au reste de l'échantillon des génotypes étudiés. Parmi les meilleures variétés pour ce caractère, Fouara, Saida₁₈₃ et Tina produisent le plus grand nombre de grains par unité de surface, avec respectivement 16570, 14137 et 12524 grains par m² (Tableau 2).

L'analyse statistique ne révèle aucune différence significative entre les différents génotypes expérimentés, concernant le poids de 1000 grains. Ce dernier varie de 34.0 à 40.0 g, la moyenne enregistrée est de 37.1 g. Le rendement en grains varie de 300.0 à 600.0 g/m², avec une moyenne du site de 425.3 g. Fouara se classe première avec une moyenne de 600.0 g, suivie par la variété Saida₁₈₃ avec 533.3 g et par Rahma et Acsad₁₇₆ avec une moyenne de 450.0 g/m² (Tableau 2).

Le rendement en paille varie de 583.0 à 975.0 g/m² et l'équivalent grain de la paille de 175.0 à 292.6 g/m². Les moyennes du site sont de 743.0 pour la paille et 223.1 g pour l'équivalent grain de la paille produite (Tableau 2). Les meilleurs rendements en paille (et équivalent grain) sont notés chez Plaisant, Tina et Jaidor avec des moyennes variant de 900 à 975.0 g/m², pour la paille et 270.0 à 292.6 g/m², pour l'équivalent grain (Tableau 2). Le rendement économique varie de 470.8 à 815.0 g/m², avec une moyenne de 648.4 g. Les meilleurs rendements économiques ont été obtenus par les variétés Fouara, Saida₁₈₃ et Tina avec respectivement 815.0, 763.3 et 736.7 g/m² (Tableau 2).

III.1.2. Site de Sidi Bel abbés

Les résultats enregistrés au niveau du site de Sidi Bel Abbés montrent des différences significatives pour l'ensemble des caractères étudiés, excepté le poids de 1000 grains (Tableau 3). La hauteur des plantes varie de 86.0 à 96.0 cm avec une moyenne de 90.8 cm. Plaisant et Tina présentent la hauteur la plus élevée et Fouara et Rahma la hauteur la plus faible (Tableau 3).

	NE	NGE	NGM ²	HT	PMG	RDT	PLL	EGP
RDTéco	m ²	----	----	cm	g	g m ⁻²	g m ⁻²	g m ⁻²
Plai	214.0	34.8	7447	95.7	37.0	275.3	290.0	86.9
362.2								
Tin	210.0	29.2	6132	96.0	36.7	224.0	365.0	109.6
333.6								
Beg	215.0	37.8	8127	92.3	36.3	295.0	252.0	75.5
370.5								
Jai	205.0	37.7	7728	94.0	36.3	281.0	358.0	107.4
388.4								
Bah	214.0	35.4	7576	91.3	36.3	273.0	377.0	113.1
386.1								
Fou	205.0	43.8	8979	86.0	35.0	311.0	312.0	93.6
404.6								
Rah	267.0	33.6	8971	86.3	35.7	320.0	348.0	104.4
424.4								
Acs	267.0	33.7	8998	87.7	36.3	325.0	299.0	89.7
414.7								
Bar	256.0	35.1	8986	87.7	37.0	332.0	399.0	119.8
451.8								
Sai	263.0	35.1	9231	90.0	36.0	332.0	301.0	90.4
422.4								
Rih	207.0	41.0	8487	91.0	35.3	301.0	340.0	102.0
403.0								
Tic	206.3	42.7	8809	91.7	35.7	314.0	258.0	77.4
391.4								
Moy	227.4	36.6	8284	90.8	36.1	292.9	336.7	101.0
396.4								
C V %	3.8	7.1	8.2	5.8	2.4	6.5	6.2	6.2
5.0								
Ppds _{3%}	14.7	8.65	1544	8.9	1.44 ^{ns}	32.9	35.6	10.7
33.5								

Tableau 3. Valeurs moyennes des caractères mesurés sur le site de Sidi Bel Abbés

E= nombre d'épis/m², PMG = poids de 1000 grains, RDT = rendement en grains, PLL = rendement paille, HT = hauteur du chaume, NGE = nombre de grains par épi, NGM² = nombre de grains/m², Eqg = rendement paille exprimé en équivalent grains, RDTéco = rendement économique qui est la somme du rendement en grains plus l'équivalent grain de la paille produite

Le nombre d'épis varie de 205 à 267 épis/m². Rahma et Acsad₁₇₆, avec 267.0 épis/m², suivies par Saida₁₈₃ et Barberousse avec 263.0 et 256.0 épis/m² respectivement, sont les génotypes qui font monter le plus d'épis par unité de surface. Le nombre de grains par épi varie de 29.2 à 43.8 grains, avec une moyenne du site de 36.6 grains/épi. Les meilleures fertilités sont enregistrées par les variétés Fouara, Tichedrett et Rihane₀₃ avec respectivement 43.8, 42.7 et 41.0 grains/épi (Tableau 3).

Le nombre de grains/m² varie de 6132 à 9231 grains. La moyenne du site est de 8289 grains/m². Les meilleurs résultats ont été obtenus par les variétés Saida₁₈₃, Acsad₁₇₆, Barberousse, Fouara et Rahma avec respectivement 9231, 8998, 8986, 8979 et 8971 grains/m² (Tableau 3). Les moyennes génotypiques du poids de 1000 grains varient de 35.0 à 37.0 g. Fouara et Rihane₀₃ ont les plus faibles poids de 1000 grains alors que Plaisant et Tina présentent le poids de 1000 grains le plus élevé (Tableau 3).

Les moyennes génotypiques du rendement varient de 224.0 à 332.0 g/m². La moyenne du site est de 292.9g. Barberousse et Saida₁₈₃ se classent en tête avec un rendement de 332.0 g/m², suivies par Acsad₁₇₆ et Rahma avec respectivement 325.0 et 320.0 g/m². Le rendement en paille varie de 252.0 à 399.0 g/m². L'équivalent grain de la paille varie de 75.4 à 119.8 g/m².

Les meilleures variétés pour ces deux caractères sont Barberousse, Bahia et Tina avec respectivement 399.0, 377.0 et 365.0 g/m² pour le rendement en paille et 119.8, 113.1 et 109.6 g/m² pour l'équivalent grain de la paille (Tableau 3). Le rendement économique varie de 333.6 à 456.6 g/m². Les meilleures variétés pour le rendement économique sont Barberousse, Rahma et Saida₁₈₃ avec 451.8, 424.8 et 422.4 g/m² respectivement (Tableau 3).

III.1.3. Site de Sétif

Les résultats montrent que les variétés testées sont significativement différentes pour l'ensemble des caractères étudiés (Tableau 4). La hauteur de la plante oscille entre 31.7 et 56.7 cm et la moyenne est de 46.1 cm. L'étude avec la (Ppds_{5%} =11.9 cm), montre que parmi les meilleures variétés pour cette caractéristique, Tina, Saida₁₈₃ et Plaisant enregistrent respectivement 56.7, 55.7 et 51.0cm. Le peuplement épis varie de 163.3 à 388.0 épis/m², la moyenne est de 249.5 épis/m². L'étude avec (Ppds_{5%} =99.3 épis/m²), montre que seule la variété Rahma avec un peuplement de 388.0 épis/m² est significativement supérieure au reste des variétés testées.

	NE	NGE	NGM ²	HPL	PMG	RDT	PLL	EGP
RDTéco	m ⁻²	----	----	cm	g	g m ⁻²	g m ⁻²	g m ⁻²
Plai	244.3	26.8	6547	51.0	34.4	224.9	237.0	71.1
296.0								
Tin	263.3	27.8	7320	56.7	36.6	262.6	455.0	136.5
399.1								
Beg	280.3	19.8	5550	47.0	38.5	213.7	181.0	54.3
268.0								
Jai	241.7	19.5	4713	49.7	39.4	185.5	235.2	70.6
256.1								
Bah	287.3	16.0	4597	37.3	43.6	197.5	271.0	81.3
278.8								
Fou	265.0	21.5	5697	45.0	35.5	199.5	200.0	60.0
259.5								
Rah	388.0	13.8	5354	31.7	43.5	233.4	254.2	76.2
309.6								
Acs	163.3	36.8	6009	46.7	38.6	231.2	215.0	64.5
295.7								
Bar	202.3	21.7	4390	44.3	38.2	167.7	202.6	60.8
228.5								
Sai	265.0	18.8	4982	55.7	39.4	196.1	178.0	53.4
249.5								
Rih	179.0	23.8	4260	42.0	41.6	177.1	199.0	59.7
236.8								
Tic	215.3	23.7	5103	47.3	43.1	220.2	183.0	54.9
275.1								
Moy	249.5	22.5	5355	46.1	39.3	209.1	234.0	70.3
279.4								
	C V %	23.6	12.1	10.0	15.3	7.7	12.9	32.2
	Ppds _{5%}	99.3	10.2	1499	11.9	5.2	45.6	
		38.4	12.8	75.9				

Tableau 4. Valeurs moyennes des caractères mesurés sur le site de Sétif

NE= nombre d'épis/m², PMG = poids de 1000 grains, RDT = rendement en grains, PLL = rendement paille, HT = hauteur du chaume, NGE = nombre de grains par épi, NGM² = nombre de grains/m², Egp = rendement paille exprimé en équivalent grains, RDTéco = rendement économique qui est la somme du rendement en grains plus l'équivalent grain de la paille produite

Le nombre de grains/épi varie de 13.8 à 36.8 grains/épi, la moyenne est de 22.5 grains/épi. Le test avec la (Ppds_{5%}=10.2 grains/épi), révèle que les variétés Acsad176, Tina et Plaisant sont significativement supérieures au reste des génotypes testées avec respectivement 36.8, 27.8 et 26.8 grains/épi.

Le nombre de grains/m² varie de 4260 à 7320 grains/m², la moyenne est de 5355 grains/m². Le test avec la (Ppds_{5%}=1499 grains/m²), montre que les variétés Tina,

Plaisant et Acsad₁₇₆ sont significativement supérieures au reste des variétés étudiées, avec respectivement 7320, 6547 et 6009 grains/m².

Le rendement en grains varie de 167.7 à 262.6 g/m², la moyenne est de 209.1 g/m². Le test avec la (Ppds_{5%}=45.6g/m²), fait ressortir les variétés Tina, Rahma, Acsad₁₇₆ et Tichedrett significativement supérieures au reste des variétés, avec 262.6, 233.4, 231.2 et 220.2 g/m² dans l'ordre cité ci-dessus.

Le rendement en paille et l'équivalent grain de la paille, présentent des différences significatives entre les génotypes testés. Le rendement en paille varie de 181.0 à 455.0 g/m², la moyenne est de 234.0 g/m² ; l'équivalent grain de la paille varie de 54.3 à 136.5 g/m² et dont la moyenne est de 70.3 g/m². La (Ppds_{5%}=38.4g/m² et 12.8g/m²) respectivement, révèle que seule la variété Tina avec 455.0 g/m² de paille et 136.5 g/m² d'équivalent grain de la paille arrive à dépasser significativement le reste de l'échantillon de variétés testées. La variété Tina présente le meilleur rendement économique, avec 399.1 g/m². Elle est significativement supérieure au reste des variétés testées.

III.1.4. Site de Saida

Les résultats obtenus montrent une large variabilité entre les génotypes pour les caractères étudiés (Tableau 5). L'analyse de variance révèle des différences significatives pour l'ensemble des caractères. La hauteur des plantes varie de 40.9 à 62.8 cm, la moyenne observée au niveau de ce site est de 53.6 cm. L'analyse avec la (Ppds_{5%}=5.2 cm) révèle, que les variétés Acsad₁₇₆, Rihane₀₃ et Saida₁₈₃ sont significativement supérieures au reste des variétés testées avec respectivement 62.8, 59.5 et 57.6 cm.

Les résultats obtenus par les différents génotypes, pour la caractéristique nombre d'épis/m², indiquent qu'il existe des différences très hautement significatives entre les variétés. Le peuplement moyen varie de 142.7 à 266 épis/m² et la moyenne est de 222.2 épis/m². L'examen avec la (Ppds_{5%}=52.3 épis/m²) fait ressortir, les variétés Rahma, Acsad₁₇₆, Barberousse, Tichedrett et Rihane₀₃ significativement supérieures au reste de l'échantillon de variétés testées, avec respectivement 266.0, 263.3, 254.3, 235.0 et 232.7 épis/m².

	NE	NGE	NGM ²	HPL	PMG	RDT	PLL	EGP
RDTéco	m ²	----	----	cm	g	g m ⁻²	g m ⁻²	g m ⁻²
Plai	142.7	24.8	3544	54.2	35.4	125.3	437.0	131.1
256.4								
Tin	234.7	14.5	3345	53.2	34.7	116.3	444.5	132.7
249.0								
Beg	220.7	18.9	3943	40.9	32.7	129.0	432.5	129.7
258.7								
Jai	194.7	14.4	2812	51.2	36.0	101.4	389.2	116.7
218.1								
Bah	217.3	12.8	2815	57.6	40.7	114.7	426.7	128.0
242.7								
Fou	221.3	13.4	2926	50.9	38.8	113.5	386.7	116.0
229.5								
Rah	266.0	18.7	4969	50.6	35.6	177.2	510.0	153.0
330.2								
Acs	263.3	20.5	5341	62.8	37.1	198.1	415.0	124.5
322.6								
Bar	254.3	15.5	3912	51.2	31.5	123.5	435.0	130.5
254.0								
Sai	184.3	14.0	2573	57.6	39.5	101.6	459.2	137.7
239.3								
Rih	232.7	20.3	4564	59.5	37.7	172.4	472.5	141.6
314.0								
Tic	235.0	12.2	2860	53.7	35.9	102.5	523.3	157.0
259.5								
Moy	222.2	16.6	3633	53.6	36.3	131.3	444.3	133.3
264.6								
CV _%	13.9	11.0	12.9	5.8	3.3	13.2	16.4	16.4
15.4 Ppds _{5%}	52.3	6.5	1550	5.2	2.0	29.4	123.4	
37.0	69.4							

Tableau 5. Valeurs moyennes des caractères mesurés sur le site de Saïda

NE= nombre d'épis/m², PMG = poids de 1000 grains, RDT = rendement en grains, PLL = rendement paille, HT = hauteur du chaume, NGE = nombre de grains par épi, NGM² = nombre de grains/m², Egg = rendement paille exprimé en équivalent grains, RDTéco = rendement économique qui est la somme du rendement en grains plus l'équivalent grain de la paille produite

Pour la caractéristique nombre de grains par épi, les résultats obtenus révèlent un effet très hautement significatif entre les différents cultivars testés. Le nombre de grains/épi varie de 12.2 à 24.8 grains/épi, avec une moyenne de 16.7 grains/épi. Toutefois, les moyennes obtenues montrent que cette composante a été fortement affectée par la combinaison du déficit hydrique et les gelées enregistrées au cours de la période de reproduction (Annexe 1-D), ce qui a entraîné une chute considérable du nombre de grains/épi.

Varle *et al.*, (1986) signalent qu'il y'a réduction du nombre de grains/épi, lorsque le déficit hydrique coïncide avec la période reproductrice. Le test avec la (Ppds_{5%} =6.5 grains/

épi), montre que les meilleures fertilités d'épis ont été réalisées par les variétés Plaisant, Acsad₁₇₆, Rihane₀₃, Bégonia ainsi que Rahma avec 24.8, 20.5 20.3, 18.9 et 17.7 grains/épi dans l'ordre cité ci-dessus.

Il existe des différences significatives entre les cultivars pour la composante de rendement nombre de grains/m², cette dernière varie de 2812 à 5341 grains/m², la moyenne enregistrée est de 3633 grains/m². L'analyse avec la (Ppds_{5%}=1550 grains/m²), montre que les variétés Acsad₁₇₆, Rahma, Rihane₀₃ et Bégonia avec respectivement 5341, 4969, 4564 et 3943 grains/m² sont significativement supérieures au reste des variétés étudiées.

L'analyse de la composante poids de 1000 grains, montre qu'il existe des différences très hautement significatives entre les cultivars testées. Le poids de 1000 grains varie de 31.5 à 40.7 g, la moyenne obtenue est de 36.3 g. L'examen avec la (Ppds_{5%} =2g), montre que les variétés Bahia, Saida₁₈₃ et Fouara expriment les meilleurs poids de 1000 grains, avec respectivement 40.7, 39.5 et 38.8 g.

Il existe des différences significatives entre les variétés expérimentées pour le rendement en grains. Ce dernier varie de 101.4 à 198.1 g/m² et la moyenne de rendement est de 131.1 g/m². Les plus hauts rendements ont été enregistrés respectivement par les variétés Acsad₁₇₆, Rahma et Rihane₀₃ avec 198.1, 177.2 et 172.4 g/m².

Concernant le rendement en paille et l'équivalent grain de la paille, Les résultats montrent qu'il existe des différences hautement significatives entre les variétés testées pour ces caractéristiques. Le test avec la (Ppds_{5%} = 16.4g/m²), révèle que seules les variétés Jaidor et Fouara sont significativement inférieures au lot de variétés expérimentées, avec 389.2 et 386.7 g/m² de paille et 116.7 et 116.0 g/m²d'équivalent grain de la paille.

Pour le rendement économique qui est (la somme du rendement en grains+l'équivalent grain de la paille produite), les résultats révèlent qu'il existe des différences significatives entre les génotypes testées. Les meilleurs rendements économiques ont été obtenus par les variétés Rahma, Acsad₁₇₆ et Rihane₀₃ avec respectivement 330.2, 322.6 et 314 g/m².

III.2. Analyse combinée des différents sites expérimentaux

L'analyse de la variance des caractères mesurés, combinée sur les différentes localités d'évaluation, montre un effet site significatif, un effet génotype non significatif et une interaction génotype x localité significative pour l'ensemble des variables analysées (Tableau 6). Cette analyse indique que les localités affectent significativement l'expression des variables mesurés chez l'échantillon de génotypes évalués.

Caractères	CV% G x L	Localité (L)	Génotype (G)
NE	11.3 0.0000	0.0001	0.1001
PMG	05.0 0.0000	0.0001	0.1948
RDT	10.0 0.0000	0.0000	0.1977
PLL	14.3 0.0250	0.0000	0.1744
HT	04.7 0.0000	0.0004	0.0125
NGE	10.4 0.0000	0.0000	0.0646
NGM ²	11.0 0.0000	0.0000	0.1780
Eqgrain	14.3 0.0250	0.0000	0.1744
RDTéco	11.3 0.0000	0.0000	0.4696

Tableau 6. Probabilité du F_{Obs} de l'analyse de la variance des caractères mesurés

NE= nombre d'épis/m², PMG = poids de 1000 grains, RDT = rendement en grains, PLL = rendement paille, HT = hauteur du chaume, NGE = nombre de grains par épi, NGM² = nombre de grains/m², Eqg = rendement paille exprimé en équivalent grains, RDTéco = rendement économique qui est la somme du rendement en grains plus l'équivalent grain de la paille produite

L'effet moyen localité indique que le site du Khroub (KHR) permet une meilleure expression des variables suivantes: le nombre d'épis m⁻², de grains par épi et par m², le rendement en grains et en paille, l'équivalent grain de la paille produite et le rendement économique qui est la somme du rendement en grains et de l'équivalent grain de la paille produite.

La meilleure expression de la hauteur a été observée sur le site de Sidi Bel Abbés (SBA) et celle du poids de 1000 grains sur le site de Sétif (SET) (Tableau 7). Ce dernier site s'est caractérisé par la plus faible hauteur mesurée et par la plus faible production de paille comparativement aux trois autres sites d'évaluation. Le site de Saida (SAI) exprime le plus faible nombre de grains par épi et le plus faible rendement en grains (Tableau 7).

Rythme de développement, utilisation de l'eau et rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans l'étage bioclimatique semi aride (

	NE	PMG	RDT	PLL	HT	NGE	NGM ²	Egg
RDTéco	m ⁻² g m ⁻²	g	g m ⁻²	g m ⁻²	cm	----	----	gm ⁻²
	Effet moyen localité							
KHR	290.4 648.4	37.1	425.3	744.0	82.0	40.4	11533	223.1
SBA	227.4 396.4	36.1	292.9	336.7	90.8	36.6	8284	101.0
SET	249.5 279.4	39.3	209.1	234.0	46.1	22.5	5355	070.3
SAI	222.2 264.6	36.3	131.3	444.3	53.6	16.6	3633	133.3
Ppds5%	16.7 34.4	0.83	17.8	78.0	3.5	2.2	356.3	23.5
	Effet moyen génotype							
Plai	216.9 392.2	35.9	246.8	484.0	70.5	31.2	6816	145.3
Tin	262.9 429.8	36.6	267.4	541.0	74.8	26.9	7293	162.3
Beg	250.2 383.5	35.3	263.6	369.0	64.1	30.1	7463	119.9
Jai	238.3 358.2	37.9	217.1	470.0	69.0	23.9	5701	141.1
Bah	225.0 344.8	39.3	211.0	445.0	69.4	25.5	5443	133.7
Fou	250.7 427.2	36.4	306.0	403.0	63.2	33.0	8512	121.1
Rah	322.4 431.1	38.0	295.2	453.0	60.7	25.0	7859	135.9
Acs	231.4 414.6	37.2	301.1	378.0	70.8	35.9	8137	113.4
Bar	231.4 359.6	37.2	301.1	378.0	65.6	26.6	6510	124.6
Sai	264.0 418.7	38.2	290.8	426.0	72.6	27.3	7730	127.8
Rih	264.0 403.8	37.8	279.3	415.0	69.6	31.7	7523	124.5
Tic	232.1 402.5	38.0	280.1	407.0	67.2	31.4	7427	122.3

Tableau 7. Valeurs des effets moyens des variables mesurées des 4 sites expérimentaux et les 12 génotypes évalués

NE= nombre d'épis/m², PMG = poids de 1000 grains, RDT = rendement en grains, PLL = rendement paille, HT = hauteur du chaume, NGE = nombre de grains par épi, NGM² = nombre de grains/m², Egg = rendement paille exprimé en équivalent grains, RDTéco = rendement économique qui est la somme du rendement en grains plus l'équivalent grain de la paille produite

Tenant compte de la plus petite différence significative au seuil de 5% (Ppds_{5%} = 29.4g/m²), les meilleures variétés pour le rendement en grains, sur le site de Saida, sont Acsad₁₇₆, Rahma et Rihane₀₃ avec respectivement 198.1, 177.2 et 172.4 g/m² (Figure 1). A Sétif, plusieurs variétés se montrent plus productives et dont les moyennes de rendement en grains ne diffèrent pas significativement les unes des autres. Ces génotypes sont Tina,

Rahma, Acsad₁₇₆, Plaisant, Tichedrett, Bégonia et Fouara avec respectivement 262.6, 233.4, 231.2, 224.9, 220.2, 213.7 et 199.5 g/m² (Figure 3).

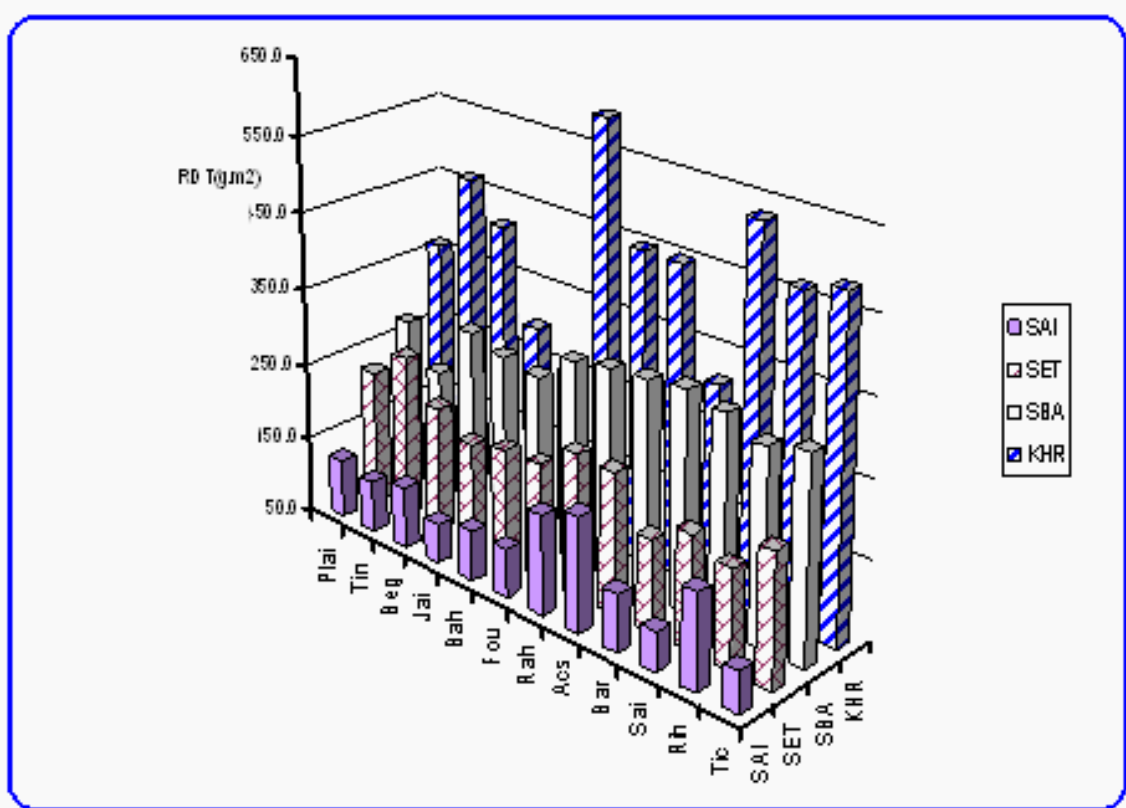


Figure 3. Variation du rendement en grains des génotypes sur les différentes localités

A Sidi Bel Abbés, seule la variété Tina, avec 224.0 g/m², produit significativement moins que le reste des variétés évaluées, dont les moyennes de rendements en grains varient de 273.0 g/m² pour Bahia à 332.0 g/m² pour Barberousse. Sur le site expérimental de la station du Khroub la variété Fouara est la meilleure avec une moyenne de 600.0 g/m² de rendement en grains. Sur ce site la variété locale Saida₁₈₃ suit de près la variété Fouara qui est en tête (Figure 3). Tenant compte du fait que l'orge a une destination fourragère, la paille joue un rôle important dans le choix de la variété. De ce fait le rendement paille a été exprimé en équivalent grain, en considérant que le quintal de paille est l'équivalent de 30 kg de grains (Annichiarico *et al.*, 2005).

La comparaison des génotypes évalués sur la base de leur rendement économique (grains+ paille en équivalent grains), dont la Ppds_{5%} est de 69.4 g/m², laisse apparaître que sur le site de Saida, les variétés Rahma, Acsad₁₇₆ et Rihane₀₃ présentent des rendements économiques significatifs par rapport au reste de l'échantillon de variétés étudiées (Figure 4). Le rendement économique sur ce site varie de 242.7 g/m² produit par Bahia à 330.2 g/m² pour Rahma.

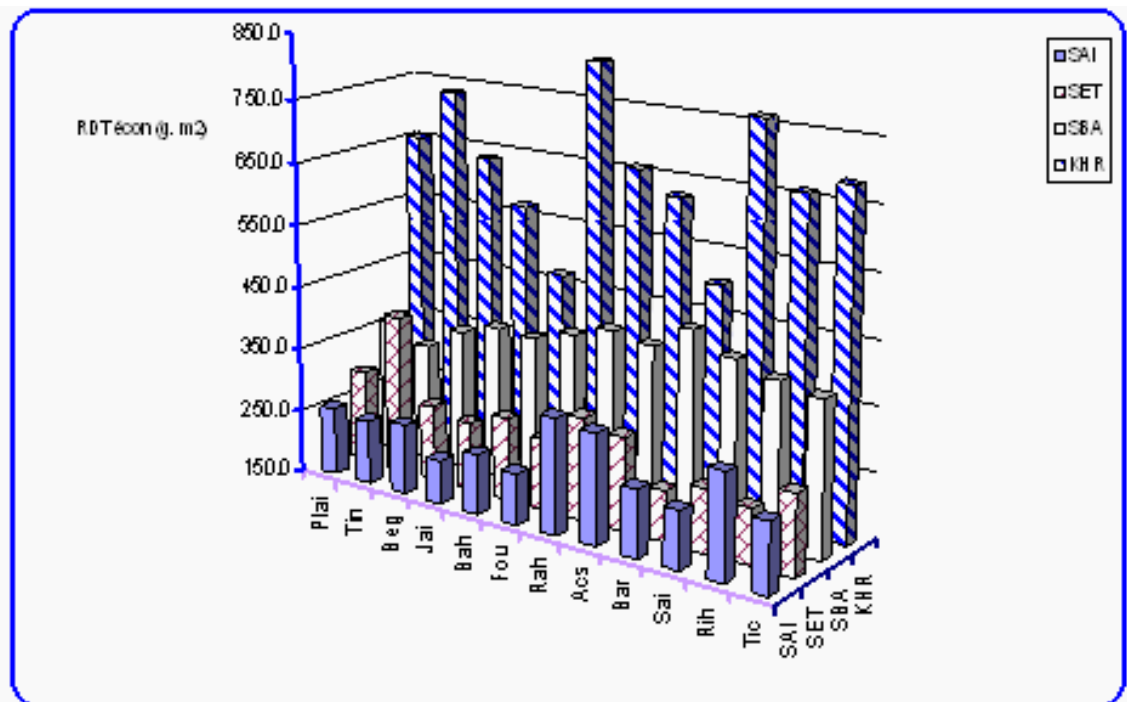


Figure 4 .Variation du rendement économique des géotypes dans les différents sites

Sur le site de Sétif, Tina avec 399.2 g/m^2 et Rahma avec 309.7 g/m^2 se détachent en tête des variétés évaluées. Au niveau du site de Sidi Bel Abbés les géotypes Barberousse, Rahma et Saida₁₈₃ expriment les meilleurs rendements économiques. Le rendement économique sur ce site varie de 452.1 g/m^2 pour Barberousse à 362.1 g/m^2 pour Plaisant (Figure 4). Au Khroub, Fouara, Saida₁₈₃ et Tina se classent en tête des variétés évaluées avec des rendements économiques de 815.0 , 763.3 et 736.7 g/m^2 respectivement.

III.3. Etude de l'interaction géotype x localité du rendement grain

L'étude de l'interaction géotype x environnement offre des opportunités d'adoption des géotypes qui montrent une interaction positive dans certaines localités et sous certaines conditions environnementales spécifiques : géotypes à adaptation spécifique (Ceccarelli, 1994). Comme elle offre aussi l'opportunité de sélectionner des géotypes caractérisés par un rendement au dessus de la moyenne générale mais avec une faible variation inter sites: géotypes à large adaptation (Simmonds, 1991 ; Ceccarelli, 1996 ; Annichiarico, 2002).

Le modèle additif de l'analyse de la variance du rendement grain, qui intègre les effets localité, géotype et leur interaction, montre un effet localité hautement significatif qui explique $100 (1722.2/2143.2) = 80.4\%$ de la variation totale des traitements, avec seulement $100 (3/47) = 6.4\%$ des degrés de liberté (Tableau 8). L'effet moyen géotype, qui est le centre d'intérêt de l'étude, n'est pas significatif.

La somme des carrés des écarts génotype n'explique que 100 (137.1/2143.2) = 6.4% de la somme des carrés des écarts traitements avec 100 (11/47)= 23.4% des degrés de liberté. L'interaction génotype x localité est hautement significative et n'explique que 100 (283.9/ 2143.2) = 13.24% de la somme des carrés des écarts traitements avec 70% des degrés de liberté (Tableau 8).

Ces résultats indiquent que la variation inter sites est très élevée. Cette variation génère des changements de classement des performances génotypiques ce qui fait, qu'en moyenne, on n'observe pas d'effet génotype. Ce type d'analyse de la variance conduit le plus souvent à tirer la conclusion que chaque site doit être analysé séparément suite à sa spécificité. La généralisation des résultats à plus d'un site, voire à une sous région entière, n'est pas possible alors qu'elle est généralement d'un grand intérêt pour le sélectionneur (Yan *et al.*, 2001 ; Annichiarico *et al.*, 2006).

Source de variation	ddl	SCE ^a	CME ^a	
	R ² (%)			
Traitements	47	2143.2	45.6	---
Localité (L)	3	1722.2	574.08**	
	80.4			
Génotype (G)	11	137.1	12.47 ^{ns}	6.4
Bloc /L	8	8.59	1.07 ^{ns}	---
G X L	33	283.9	8.60**	
	13.2			
Hétérogénéité de la régression	11	178.5	16.18**	
	62.9			
Déviations de la régression	22	105.4	4.79 ^{ns}	----
IPC1	13	226.5	17.42**	
	79.80			
Résiduelle	20	57.4	2.84 ^{ns}	---
Erreur pondérée	88	140.8	1.6	
	6.14			
Totale	143	2292.7	---	---

Tableau 8. Analyse de variance du rendement grain (g/m²) selon les modèles de la régression conjointe et l'AMMI

a= x 10³, ddl= degrés de liberté, SCE= somme carrées des écarts, CME= carrées moyens des écarts, R²(%)= pourcentage de la SCE expliquée par rapport au total traitement et SCE G x L, ICP₁= première composante principale de l'interaction

Dans de telles situations, Finlay et Wilkinson (1963) suggèrent d'utiliser la régression conjointe pour modéliser le comportement génotypique sur les sites tests et par là même

sur l'ensemble des environnements possibles. L'application de ce modèle aux valeurs de l'interaction génotype x localité de la présente étude explique 62.9% de la somme des carrés des écarts de l'interaction (Tableau 8).

La déviation de la régression est non significativement différente de l'erreur pondérée. Ceci indique que l'essentiel de la SCE de l'interaction G x L est expliquée par la régression. Le modèle linéaire est donc finement adapté dans ce cas (Tableau 8). L'hétérogénéité des régressions est hautement significative suggérant des coefficients de régression différents les uns des autres. Le comportement des génotypes varie donc selon les environnements. L'analyse des pentes individuelles des différents génotypes confirme ces comportements différents (Tableau 9, Figure 5).

Gén	Rendement grain				Rendement économique			
	Yi.	score	b	a	Yi.	score	b	a
Génotypes								
Plai	246.8	-3.07	0.77*	43.01	392.2	1.08	1.00*	-5.00
Tin	267.4	2.85	1.07*	-18.78	429.8	5.17	1.10*	-7.12
Beg	263.6	-0.42	0.97*	6.89	383.5	0.18	0.99*	-9.73
Jai	217.0	-5.27	0.68*	37.04	358.3	-2.61	0.89*	4.79
Bah	210.9	-7.77	0.49 ^o	81.22	344.8	-8.17	0.56 ^o	122.3
Fou	306.0	9.40	1.65**	-130.67	427.2	8.97	1.52**	176.5
Rah	295.1	-0.40	0.94*	46.33	431.2	-1.61	0.90*	73.72
Acs	301.1	-0.89	0.88*	68.21	414.6	-2.88	0.84*	80.95
Bar	235.0	-5.42	0.73*	41.71	359.7	-7.79	0.69*	85.63
Sai	288.2	6.06	1.47**	-100.84	418.7	5.88	1.38**	129.4
Rih	279.3	1.71	1.06*	-1.23	403.9	-0.18	1.02*	-1.24
Tic	280.0	3.21	1.27**	-56.11	402.5	1.96	1.10*	34.42
Localités								
KHR	425.3	14.5	--	--	648.4	15.0	--	--
SBA	292.9	-4.6	--	--	396.4	-6.3	--	--
SET	209.1	-4.9	--	--	279.4	-2.5	--	--
SAI	131.3	-6.1	--	--	264.6	-6.5	--	--

Tableau 9. Moyennes génotypiques (Yi.), coefficients de régression (b), coordonnées de l'IPC₁ (score) et ordonnées à l'origine (a) des rendements grains et économiques des 12 génotypes évalués dans 4 localités

a, *, ** = coefficient de régression significativement inférieure à 1, non significativement différent de 1 et significativement supérieur à 1 respectivement.

En effet Bahia se caractérise par une pente significativement inférieure à l'unité, alors que Fouara, Saida₁₈₃ et Tichedrett ont des pentes significativement supérieures à l'unité. Le reste des génotypes évalués ont des pentes qui ne dévient pas significativement de l'unité (Tableau 9). Bahia est spécifiquement adaptée aux zones caractérisées par de fortes

contraintes abiotiques, autorisant de faible rendement suite à la valeur de sa pente et aussi à celle de son ordonnée à l'origine. Cependant sa moyenne de rendement inter sites est la plus faible (Tableau 9).

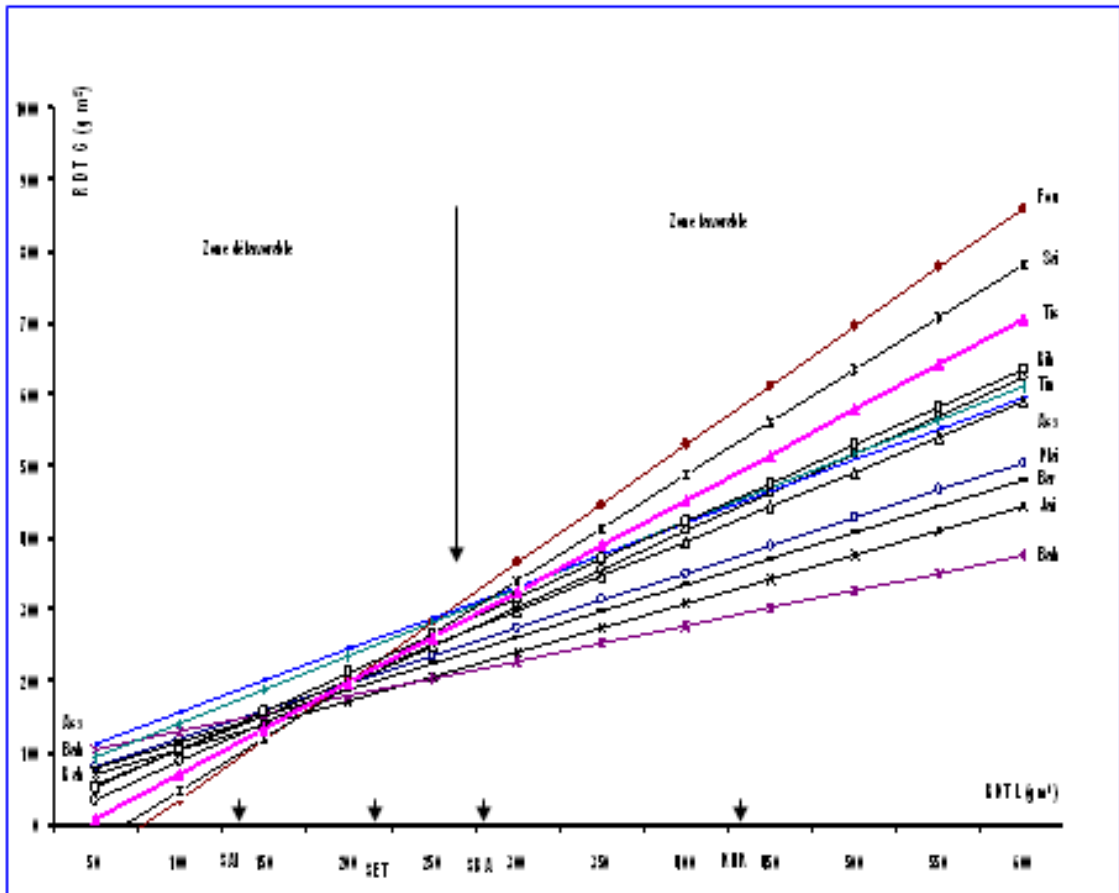


Figure 5. Comportement prédictif des génotypes évalués pour le rendement grain selon le modèle de la régression conjointe

Fouara présente une moyenne de rendement inter sites élevée, associée à une pente significativement supérieure à l'unité et une ordonnée à l'origine négative. Cette variété est spécifiquement adaptée aux zones au potentiel de production relativement plus élevé (Tableau 9). Les droites prédictives des rendements mettent en relief deux zones différentes. L'une favorable, comportant les sites de Sidi Bel Abbés et Khroub, représente le domaine de recommandation de Fouara. La seconde zone, moins favorable à l'expression du rendement grain, intègre les sites de Saida et Sétif, elle représente le domaine de recommandation de la variété Acsad₁₇₆, qui a une moyenne de rendement plus élevée que celles de Rahma et Bahia (Tableau 9, Figure 5).

Le choix de ces deux variétés pour les deux zones contrastées est une manière d'exploiter positivement l'interaction génotype x localité qui est présente dans le processus de sélection de l'orge. En plus les quatre sites d'évaluation ont été regroupés, sur la base des prévisions de ce modèle, en deux zones différentes, chacune a son génotype spécifique.

L'utilisation du modèle AMMI indique que la première composante principale explique 79.80% de la somme des carrés des écarts de l'interaction G x L. La résiduelle du modèle est non significativement différente de l'erreur pondérée (Tableau 8). Ces résultats indiquent

que les scores des génotypes et des sites sur la première composante principale (IPC₁) expliquent la totalité de l'interaction G x L présente dans la matrice des données du rendement grain soumises à l'analyse.

Le biplot de l'IPC₁ et des effets moyens génotype et localité (AMMI1) montre clairement comment chaque génotype forme son rendement (effet additif seulement ou additif + interaction) et à quelle localité il est plus adapté (Figure 6). Selon Zobel *et al.*, (1988) les génotypes ayant de faibles scores sur l'IPC₁, contribuent faiblement à l'interaction, et de ce fait se caractérisent par une adaptation générale. Par contre ceux qui ont des scores élevés (+/-) présentent de fortes interactions. Ils sont spécifiquement adaptés à l'environnement qui a le score de même signe.

Le biplot AMMI1 indique que les localités KHR et SAI suite à leurs IPC₁ scores élevés, discriminent nettement mieux entre les performances des différents génotypes évalués et sont une source significative de contribution à l'interaction G x L. Par contre SET et SBA contribuent nettement moins à l'interaction G x L. De part leur position le long de l'axe des effets moyens, Fouara a le meilleur rendement grain et Bahia le plus faible rendement grain, en moyenne sur les 4 localités (Figure 6).

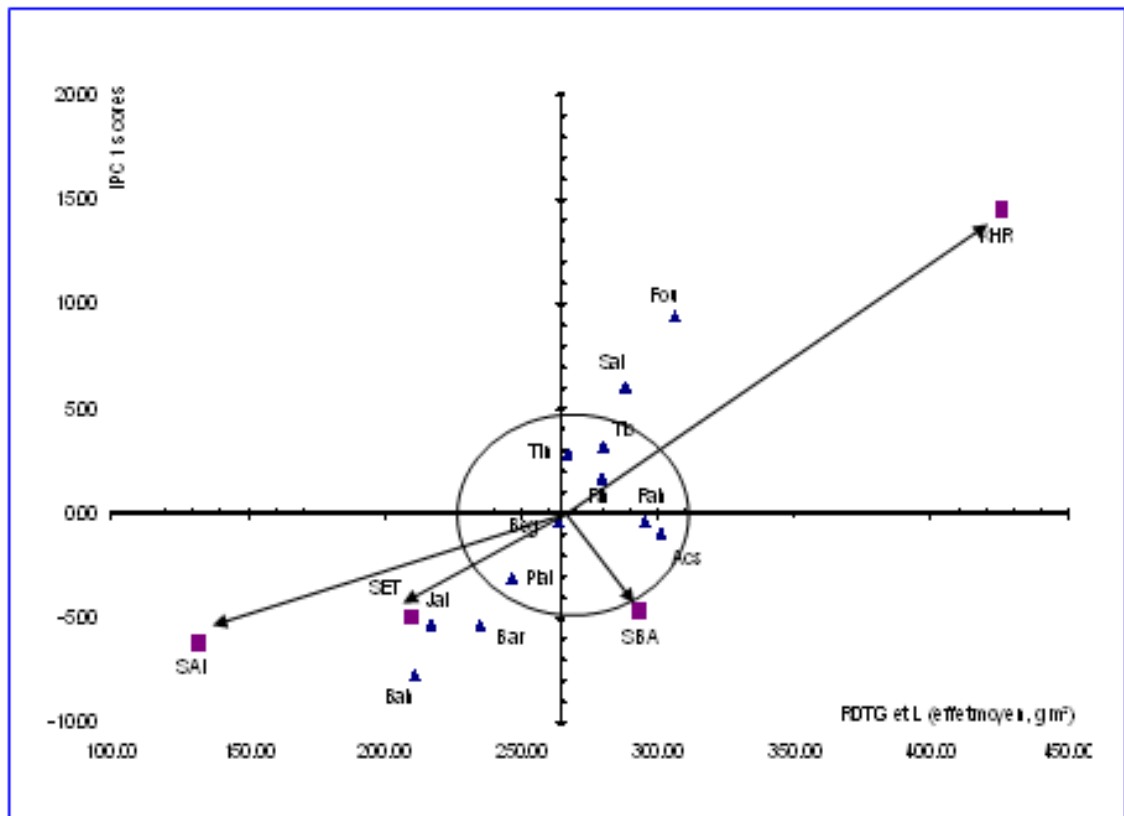


Figure 6. Biplot AMMI₁ représentant la relation entre le scores de l'IPC₁ et les effets moyens génotype et localité du rendement grain des 12 génotypes évalués

Acsad₁₇₆, Rahma, Saida₁₈₃ diffèrent peu du point de vue effet moyen rendement mais contribuent différemment à l'interaction G x L, suite à leurs positions le long des axes IPC₁ et effet moyen. Suite à leurs positions toutes proches de l'origine, les génotypes Acsad₁₇₆, Tichedrett, Rahma, Rihane₀₃, Tina, Bégonia et Plaisant présentent une adaptation générale

à l'ensemble des localités (Figure 6). Dans ce groupe à adaptation générale, Acsad₁₇₆ a l'effet moyen le plus élevé. Il est donc le plus recommandé pour l'ensemble des sites, comme nouvelle variété pour la grande culture et aussi comme témoin, pour l'adaptation générale, au niveau des essais comparatifs de rendement.

Suite à sa grande sensibilité au gel tardif (Bouzerzour, 1990), Acsad₁₇₆ pourrait être remplacé par Rahma (Figure 6). Fouara et Saida₁₈₃ réagissent à la variation des lieux, elles présentent une adaptation spécifique au site de Khroub, alors que Bahia et Jaidor présentent une adaptation spécifique aux localités Saida et Sétif (Figure 6).

Le biplot AMM1 indique trois alternatives possibles pour le sélectionneur. La première alternative est d'adopter le choix d'un génotype performant et à adaptation générale comme Acsad₁₇₆ (scénario 1). La deuxième alternative est d'utiliser positivement l'interaction, par le choix du génotype spécifiquement adapté aux sites à haut potentiel de production associé au choix de génotype à large adaptation pour les localités à faible potentiel de production (scénario 2). En effet les différences entre génotypes sont plus marquées sur les sites à haut potentiel que sur les sites à faible potentiel de rendement (Figure 5).

Dans ce cas de figure, on retient Fouara pour le site du Khroub, Acsad₁₇₆ pour les autres localités qui formeront ainsi une région aux potentialités plus ou moins similaires (Figure 6). La troisième alternative est d'affecter à chaque site son génotype spécifique (scénario 3). Sous ce scénario on retient Fouara pour Khroub, Acsad₁₇₆ pour Sidi Bel Abbés, Jaidor pour Sétif et Bahia pour Saida (Figure 6).

Selon Zobel *et al.*, (1988) le modèle AMMI décompose la variable analysée en deux termes : l'effet additif + l'interaction. L'effet additif est estimé par : $Y_i + Y_j - Y_{..}$. L'interaction est estimée par le produit des scores $GIPC_1 \times LIPC_1$. Y_i , Y_j , $Y_{..}$, $GIPC_1$ et $LIPC_1$ représentent respectivement l'effet moyen génotype, l'effet moyen localité, la grande moyenne, le score du génotype et le score de la localité sur l' IPC_1 .

Les estimations des rendements attendus pour les différentes stratégies de sélection indiquent que l'adoption d'une stratégie qui exploite positivement l'interaction sur les sites à haut potentiel de production et l'adaptation générale pour les sites au potentiel relativement plus faible permet d'améliorer le rendement grain de 6%. La stratégie d'adoption de génotypes à adaptation spécifique par site ne permet qu'un gain de rendement grain de 3.6% (Tableau 10).

Il est intéressant de faire remarquer que la sélection des génotypes adaptés aux sites à haut potentiel de rendement associé à la sélection des génotypes à large adaptation pour les environnements à faible potentiel de rendement aboutit aux mêmes conclusions que l'analyse faite sur la base des résultats du modèle linéaire.

Stratégie	Site	Génotype	Rendement	indice
Adaptation Générale	KHR	Acsad ₁₇₆	448.85	
	SBA	Acsad ₁₇₆	288.18	
	SET	Acsad ₁₇₆	202.96	
	SAI	Acsad ₁₇₆	135.52	
Moyenne			301.34	100
Adaptation Générale + Spécifique	KHR	Fouara	602.95	
	SBA	Acsad ₁₇₆	333.44	
	SET	Acsad ₁₇₆	202.96	
	SAI	Acsad ₁₇₆	135.52	
Moyenne			317.81	105.8%
Adaptation Spécifique	KHR	Fouara	602.95	
	SBA	Acsad ₁₇₆	333.44	
	SET	Jaidor	187.27	
	SAI	Bahia	124.95	
Moyenne			312.15	103.6%

Tableau 10. Rendements et gains de rendements attendus selon trois stratégies de sélection possibles : adaptation générale, adaptation spécifique et combinaison des deux

III.4. Etude de l'interaction génotype x localité du rendement économique

Le modèle additif de l'analyse de la variance du rendement économique montre, comme pour le rendement grain, un effet localité hautement significatif intégrant 87.9% de la variation totale des traitements, un effet moyen génotype non significatif et une interaction significatif expliquant 9.08% de la variation total de la somme des carrés des écarts traitements (Tableau 11). Comme pour le rendement grain, ces résultats indiquent une forte variation due aux effets sites. La conséquence est que l'effet génotype se dilue, conduisant à tirer la conclusion que chaque site doit être analysé séparément suite à sa spécificité.

Source de variation	ddl	SCE ^a	CME ^b	R ² %
Traitements	47	3908.8	83.16	----
Localité (L)	3	3435.5	1145.1**	87.89
Génotype (G)	11	118.1	10.7 ^{ns}	3.02
Blocs/L	8	32.6	4.07 ^{ns}	----
G X L	33	355.2	10.7**	9.08
Hétérogénéité de la régression	11	218.2	19.8 [*]	62.78
Déviation de la régression	22	137.0	6.2 ^{ns}	----
IPC ₁	13	255.8	19.7**	72.02
Résiduelle	20	99.4	4.9 ^{ns}	-----
Erreur pondérée	88	178.2	2.02	
Total	143	4119		

Tableau 11. Analyse de variance du rendement économique ($g\ m^{-2}$) selon les modèles de la régression conjointe et l'AMMI

ddl= degrés de liberté, SCE= somme des carrées des écarts, CM= carrées moyens, R² %= pourcentage de la (SCE) par rapport au total, IPC₁= première composante principale de l'interaction

L'analyse de la régression linéaire explique 62.8% de la somme des carrés des écarts de l'interaction. La déviation de la régression est significativement non différente de l'erreur pondérée alors que l'hétérogénéité des régressions est significative suggérant des différences entre les coefficients de régression des génotypes étudiés (Tableau 11). L'étude des pentes individuelles des différents génotypes confirme ce résultat (Tableau 9, Figure 7).

Bahia se caractérise par une pente significativement inférieure à l'unité, alors que Fouara et Saida ont des pentes significativement supérieures à l'unité. Le reste des génotypes évalués ont des pentes qui ne dévient pas significativement de l'unité (Tableau 9). Bahia est spécifiquement adaptée aux zones caractérisées par de fortes contraintes abiotiques, permettant de faible rendement économique suite à la valeur de sa pente et aussi à celle de son ordonnée à l'origine (Tableau 9).

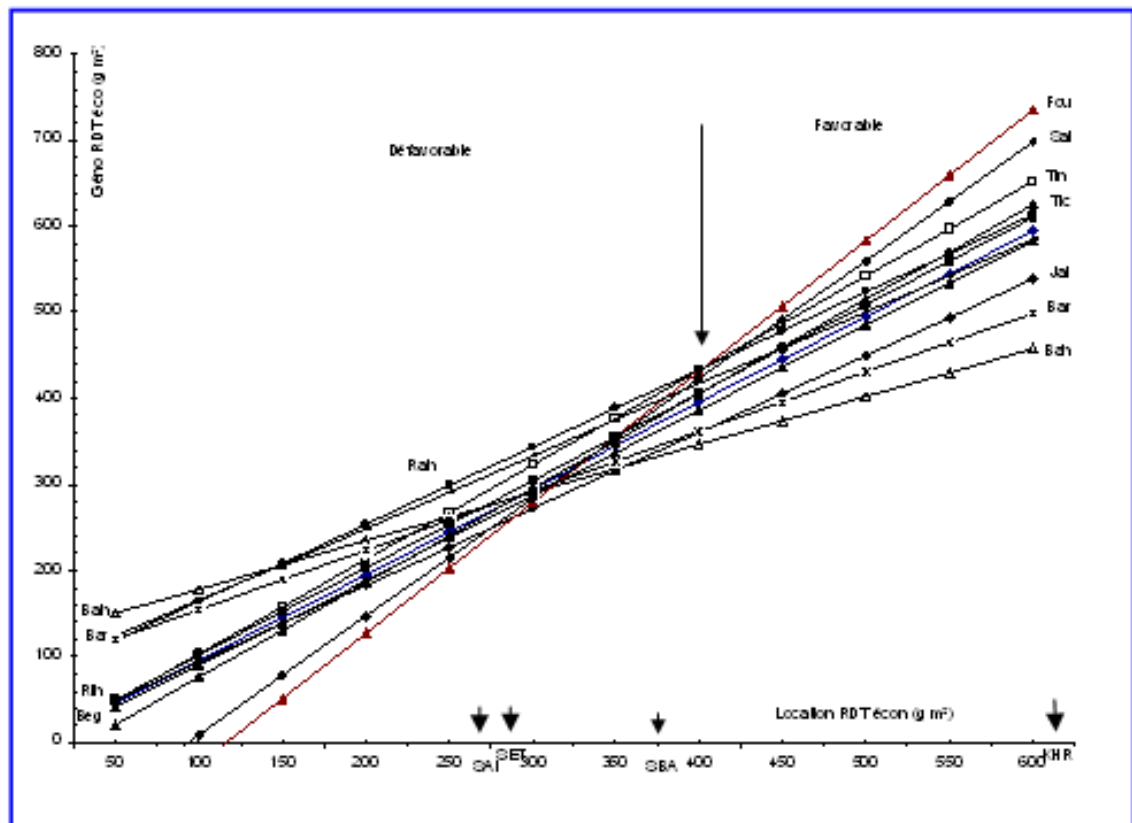


Figure 7. Comportement prédictif des génotypes évalués pour le rendement économique selon le modèle de la régression conjointe

Les droites prédictives des rendements économiques mettent en relief deux zones différentes. L'une favorable, comportant le site du Khroub, représente le domaine de recommandation de Fouara. La seconde zone, moins favorable aux performances génotypiques, représente le domaine de recommandation des Saida Sétif et SBA, où la variété Rahma montre une adaptation plus ou moins large à cette région (Tableau 9, Figure 7).

Fouara présente la caractéristique de faire simultanément des rendements grain et économique élevés dans les zones à haut potentiel de production. Par contre dans les régions moins favorables, représentées par les sites de Sétif et Saida voire Sidi Bel Abbés, la variété qui fait un rendement grain élevé n'est nécessairement pas celle qui assure un rendement économique adéquat.

Comme pour le rendement grain, l'analyse du biplot AMMI1 indique que les localités KHR et SAI, suite à leurs IPC1 scores élevés, discriminent nettement mieux entre les performances de rendement économique des différents génotypes évalués. Ils sont une source significative de contribution à l'interaction G x L. Par contre SET et SBA contribuent nettement moins à l'interaction G x L.

De part leur position le long de l'axe des effets moyens, Rahma, Tina et Fouara présentent le meilleur rendement économique mais contribuent différemment à l'interaction, alors que Bahia a le plus faible rendement économique, en moyenne des 4 localités. Elle diffère des autres génotypes pour l'effet moyen et l'interaction (Figure 8).

Suite à leurs positions toutes proches de l'origine, les génotypes Tichedrett, Rahma, Rihane03, Acsad176, Plaisant, Bégonia et Jaidor présentent une adaptation générale à l'ensemble des localités (Figure 8). Dans ce groupe à adaptation générale, Rahma a l'effet moyen le plus élevé. Cette variété est donc la plus recommandée pour l'ensemble des sites, comme nouvelle variété, dans la cas où on cherche à la valorisation de la paille et du grain.

Fouara, Tina et Saida réagissent à la variation des lieux, elles présentent une adaptation spécifique au site de Khroub, alors que Bahia et Barberousse présentent une adaptation spécifique aux localités Saida, Sidi Bel Abbès et Sétif (Figure 8).

Le biplot AMM1 indique trois alternatives possibles pour le sélectionneur. La première alternative est d'adopter le choix d'un génotype performant et à adaptation générale comme Rahma vu que ce dernier présentent un effet moyen rendement grain élevé. La deuxième alternative est d'utiliser positivement l'interaction, par le choix du génotype spécifiquement adapté aux sites à haut potentiel de production associé au choix de génotype à large adaptation pour les localités à faible potentiel de production (scénario 2).

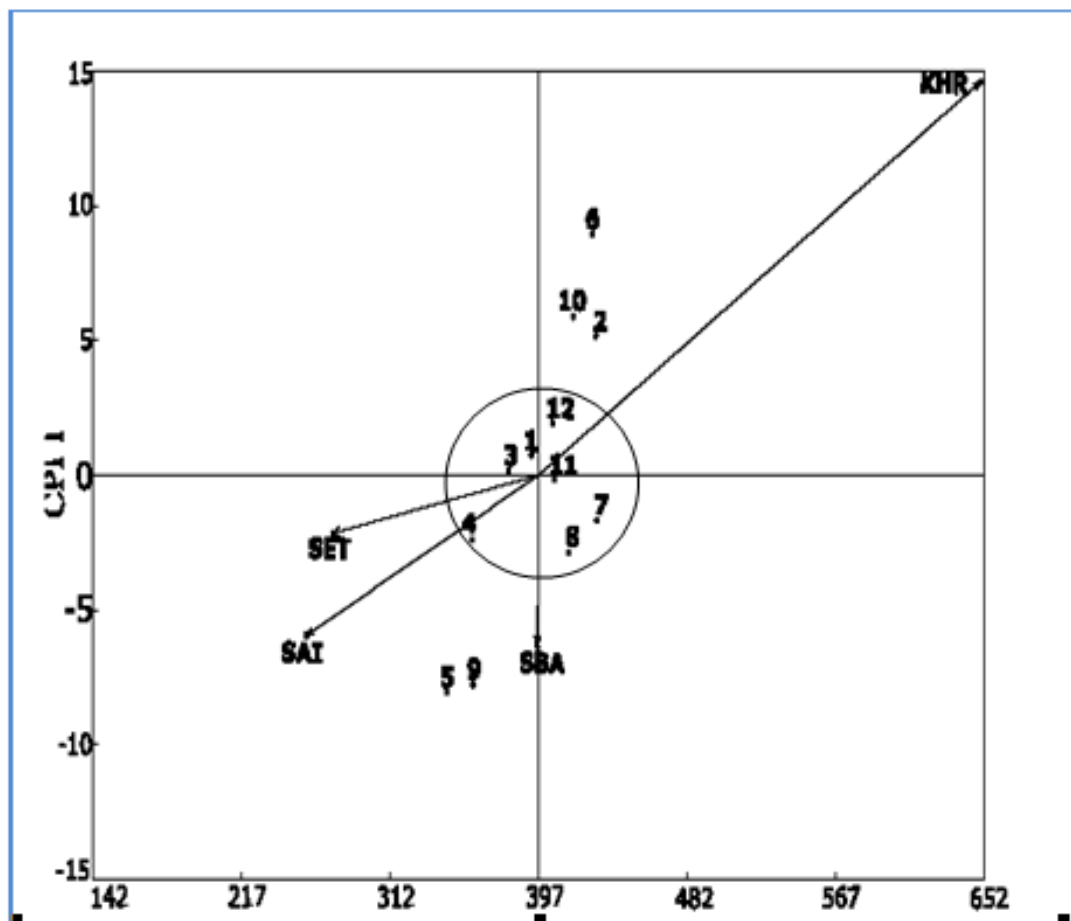


Figure 8. Représentation graphique du rendement économique (g/m^2) et la première composante principale de l'interaction (ICP_1)

1-Plai , 2-Tin , 3-Bég , 4-Jai , 5-Bah , 6-Fou , 7-Rah , 8-Acs , 9-Bar , 10-Sai , 11-Rih , 12-Tic KHR= Khroub, SBA= Sidi bel Abbès, SET= Sétif, SAI= Saida

Dans ce cas de figure, on retient Fouara pour le site du Khroub, Rahma pour les autres localités (Figure 8). La troisième alternative est d'affecter à chaque site son génotype spécifique (scénario 3). Sous ce scénario on retient

Fouara pour Khroub et Bahia pour Sidi Bel Abbés, Sétif et Saida (Figure 8).

Stratégie	Site	Génotype	Rendement	indice
Adaptation Générale	KHR	Rahma	658.25	
	SBA	Rahma	440.54	
	SET	Rahma	317.42	
	SAI	Rahma	309.06	
Moyenne			431.32	100
Adaptation Générale + Spécifique	KHR	Fouara	812.95	
	SBA	Rahma	440.54	
	SET	Rahma	317.42	
	SAI	Rahma	309.06	
Moyenne			469.99	109.0%
Adaptation Spécifique	KHR	Fouara	812.95	
	SBA	Bahia	395.47	
	SET	Bahia	247.42	
	SAI	Bahia	265.30	
Moyenne			430.28	99.75%

Tableau 12. Rendements économiques et gains de rendements économiques attendus selon les trois stratégies de sélection retenues

Les estimations des rendements économiques attendus pour les différentes stratégies de sélection indiquent que l'adoption d'une stratégie qui exploite positivement l'interaction sur les sites à haut potentiel de production et l'adaptation générale pour les sites au potentiel relativement plus faible permet d'améliorer le rendement économique de 9% (Tableau 12).

III.5. Analyse de la stabilité des rendements grain et économique

La stabilité est perçue en terme de réduction de la fréquence des faibles rendements. C'est un objectif de sélection très important dans les environnements stressants (Bouzerzour *et al.*, 1998). Généralement les nouvelles obtentions d'orge montrent une instabilité spatio-temporelle des rendements, comparativement aux variétés locales qu'elles sont censées remplacer.

Les variétés les moins variables ne sont donc pas les plus productives (Benmahamed *et al.*, 2004). Le rendement potentiel et la stabilité du rendement sont donc deux paramètres

indépendants qu'il faut concilier pour obtenir une meilleure adaptation du génotype à la variation environnementale du lieu de production.

Lin *et al.*, (1986) mentionnent l'existence de trois concepts de stabilité. Un génotype présente une stabilité du type 1, lorsque sa variance inter sites est faible. C'est une stabilité dite statique ou biologique selon la terminologie de Becker et Léon (1988). En effet un génotype qui possède ce type de stabilité présente des performances qui varient peu quelque soit l'environnement. Ceci n'est possible que pour les caractères qualitatifs comme la résistance aux maladies ou la qualité du grain. La variance génotypique inter environnementale est utilisée pour décrire ce type de stabilité (Lin *et al.*, 1986).

Un génotype présente une stabilité de type 2 lorsque sa réponse à la variation des environnements est parallèle à la moyenne des réponses des génotypes auxquels il est comparé dans l'expérience. C'est le concept de la stabilité dynamique ou agronomique (Becker et Léon, 1988). Un génotype stable dans ce sens ne présente pas de déviations autour de la moyenne des réponses des autres génotypes, ce qui permet de prédire son comportement et sa réponse à la variation environnementale (Lin *et al.*, 1986). Le coefficient de régression (b) de Finlay et Wilkinson (1963) et la variance de la stabilité de Shukla (1972) sont généralement utilisés pour mesurer ce type de stabilité.

Un génotype a une stabilité de type 3, lorsque la déviation de la régression de ses performances sur l'indice du milieu est faible. L'indice du milieu est représenté par la moyenne des performances de l'ensemble des génotypes par environnement déduit de la moyenne de tous les environnements. Ce type de stabilité est rattaché aussi à la stabilité agronomique ou dynamique, il est décrit par la méthode d'Eberhart et Russell (1966) ou celle de Perkins et Jinks (1968). Parmi les paramètres non paramétriques, pour approcher la stabilité, il y a aussi l'utilisation du score de la première composante principale de l'interaction (IPCA) (Zobel *et al.*, 1988).

Kang (1988) utilise la méthode de classement des valeurs des paramètres statistiques pour déterminer le génotype le plus désirable. Dans ce classement, le génotype, dont la moyenne de rendement grain est la plus élevée, est classé en position 1. Celui, dont le rendement est le plus faible, est classé en dernière position. Il en est de même pour les valeurs de coefficient de régression, des valeurs des scores de l'IPCA1 et celles de la variance inter sites. La somme de ces classements donne une mesure de la stabilité. Le génotype avec la plus faible somme des rangs est le plus désirable.

Dans la présente étude la stabilité des rendements grain et économique est approchée par le biais de trois paramètres qui sont le coefficient de régression, le score de l'IPCA₁ et la variance inter sites (Mohammadi *et al.*, 2007). Le coefficient de corrélation de rang de Pearson (r_s) indique des liaisons significatives entre ces trois paramètres et avec la moyenne des rendements grain et économique (Tableau 13).

Paramètres	Y _i .	b	IPCA1	S ²
Y _i .	1.000	0.623*	0.549*	0.692*
b	0.741**	1.000	0.977*	0.846**
IPCA1	0.769**	0.986**	1.000	0.893**
S ²	0.734**	0.993**	0.972**	1.000

Tableau 13. Coefficients de corrélation de Spearman (r_s) entre les différents paramètres mesurant la stabilité et les moyennes du

rendement grain (au dessus de la diagonale) et économique (au dessous de la diagonale) des 12 génotypes évalués sur 4 localités

*, ** = significatif au seuil de 5 et 1% respectivement

La nature de ces corrélations indique que les génotypes performants se distinguent globalement par des valeurs élevées de la pente, de l'IPCA₁ et de la variance inter sites. Ces résultats suggèrent que la stabilité n'est pas liée aux performances des rendements grain et économique et que les génotypes aux hauts rendements grain et économique sont relativement peu stables. Lorsqu'on privilégie la stabilité de la production, pour réduire des risques de rendements nuls, sous stress, il faut adopter des génotypes moins performants.

Dans ce contexte, Blum (1996) fait remarquer que le rendement potentiel est souvent négativement corrélé avec la tolérance. Les génotypes très productifs accusent une plus grande réduction du rendement sous stress hydrique comparativement aux génotypes à rendement modéré. L'auteur signale que des exemples de relation positive entre un rendement potentiel élevé et la sensibilité à la sécheresse est courante.

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

Selon Ceccarelli (1994), de nombreux programmes d'amélioration nationaux et internationaux considèrent la recherche d'une large adaptation comme un objectif primordial. Cette sélection conduite à l'identification d'un nombre réduit de génotypes adoptés sur de vastes superficies, où la variation climatique est très importante. Cette pratique qui réduit de la diversité génétique, n'est pas sans risque d'autant plus que les agriculteurs ne sont pas intéressés par des cultivars largement adaptés dans l'espace, mais plutôt par des cultivars spécifiquement adaptés à leurs conditions et utilisations.

Annicchiarico et Perenzin (1994) notent que dans une région comprenant plusieurs localités, une interaction génotype x localité plus élevée qu'une interaction génotype x année suggère une subdivision de cette région en plusieurs sous-régions uniformes. Passioura (1996) fait remarquer que les environnements défavorables nécessitent plusieurs années d'expérimentations pour mesurer les avantages d'un cultivar donné.

Brancourt-Humel *et al.*, (2003) mentionnent que le rendement grain a connu un changement significatif entre 1956 et 1999, de l'ordre de 126 kg/ha/an. Plusieurs auteurs ont comparé le rendement potentiel des variétés anciennes et modernes (Slafer et Andrade 1991, Feil 1992). L'objectif est de déterminer le gain génétique du rendement en grains évalué sur la base des données collectées au cours de longues périodes et/ou sur la base des essais comparatifs de rendement intégrant les variétés anciennes, prises comme témoins, et les nouvelles obtentions représentant l'apport génétique dû à la sélection.

Cette dernière approche est plus intéressante. Elle mesure les mêmes génotypes sous les mêmes conditions culturales et climatiques. Elle permet ainsi de mesurer les changements qui ont touché les caractères liés et l'architecture de la plante, suite aux effets du processus de sélection.

Selon Richards *et al.*, (1997), Araus *et al.*, (1998) et Benmahamed *et al.*, (2004), le frein à la réalisation d'un progrès de rendement en grains significatif, sous stress, résulte de la variation du degré d'expression de la multitude de caractères qui conditionnent le rendement dans de tels milieux. L'identification des combinaisons de caractères, les plus fréquentes et les plus liées au rendement dans le milieu ciblé, quoique difficile est une œuvre de longue haleine.

III.6. Corrélations entre les variables mesurées sur l'ensemble des sites

L'analyse des liaisons inter- caractères est le plus souvent utilisée pour mesurer l'influence d'un caractère particulier sur le rendement en grains. Cependant, une corrélation n'implique pas nécessairement une relation de cause à effet, à cause notamment de l'effet indirect des autres caractères liés au caractère en question. La validation du rôle d'un caractère donné peut être effectuée soit en créant des lignées iso géniques, soit en appliquant un schéma de sélection divergente.

Le gain génétique du rendement grain est associé à l'augmentation du nombre de grains par m² et celui du poids de 1000 grains (Cox *et al.*, 1988), à la réduction de ce dernier caractère selon Perry et D'Antuono, (1989). Dans la présente étude le rendement en grains est positivement lié au nombre de grains produit par unité de surface semée; il est aussi positivement corrélé avec le nombre d'épis et de grains par épi. Le rendement est aussi positivement influencé par la hauteur du chaume et la paille produite, qui est une composante de la biomasse aérienne accumulée à maturité (Tableau 14).

La contribution du nombre de grains par m² au rendement en grains, dans la présente étude, vient aussi bien du nombre d'épis par m² que des grains par épi. Il apparaît cependant une nette contribution de la fertilité au nombre de grains par m², vu les valeurs des coefficients de corrélation qui lient le nombre de grains par m² à ces deux composantes du rendement en grains (Tableau 14). Ainsi deux génotypes équivalent pour le même nombre d'épis par m², réalisent des rendements différents s'ils diffèrent significativement pour le nombre de grains par épi. Le poids de 1000 grains ne semble avoir un effet prépondérant dans la différenciation des génotypes pour le rendement en grains.

	NE	PMG	RDT	HT	NGE	NGM ²	Egrain	RDT _{éco}
PMG	0.152	1.000						
RDT	0.551**	-0.088	1.000					
HT	0.051	-0.316*	0.629**	1.000				
NGE	0.103	-0.273	0.867**	0.748**	1.000			
NGM ²	0.521**	-0.186	0.994**	0.653**	0.886**	1.000		
Egrain	0.426**	-0.167	0.544**	0.392**	0.367*	0.546**	1.000	
RDT _{éco}	0.465**	-0.254	0.772**	0.542**	0.783**	0.945**	0.782**	1.000

Tableau 14. Coefficients de corrélation entre les moyennes des différentes variables mesurées sur l'ensemble des localités

*, ** = rsignificatif au seuil de 5 et 1% respectivement

Chez les céréales, le remplissage du grain dépend de la photosynthèse durant cette période et de la translocation des réserves à partir des parties végétatives de la plante et notamment à partir des tiges et des feuilles sénescentes (Simane *et al.*, 1993). La contribution des réserves d'assimilats de pré anthèse au remplissage du grain est particulièrement importante sous stress abiotique. Les géotypes transférant plus de réserves vers le grain sont capables de minimiser la variation des dimensions du grain et donc celle du rendement (Bahlouli *et al.*, 2005).

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

Les géotypes sélectionnés par site différent peu pour les valeurs relatives du rendement en grains et des composantes du rendement; ils diffèrent surtout pour la hauteur du chaume et la paille produite (Figure 9). Clarke *et al.*, (1991) mentionnent qu'une biomasse élevée à maturité est une caractéristique désirable en milieux semi-arides.

Les résultats récents de Bahlouli *et al.*, (2005) indiquent qu'il n'y a pas une seule architecture idéale de caractères pour un environnement variable. Au contraire différentes combinaisons de caractères conduisent à un même niveau rendement grains sous stress (Acevedo et Ceccarelli, 1989 ; Bahlouli *et al.*, 2005). L'incapacité du rendement grain, utilisé seul comme critère de sélection, à améliorer la production en conditions environnementales difficiles, suggère le recours à l'utilisation des paramètres morfo-physio-biochimiques.

L'évaluation et la vérification des caractères basés sur l'utilisation des lignées isogéniques tendent à simplifier extrêmement l'interaction entre caractères, puisque l'approche donne l'information sur l'effet d'un seul caractère particulier dans un fond génétique spécifique (Al Hakimi *et al.*, 1995). La création de lignées iso- géniques n'est en fait réalisable que pour des caractères morphologiques, à déterminisme génétique simple. Dans le cas des caractères physiologiques à déterminisme génétique plus complexe, il est plus réaliste d'envisager la sélection divergente.

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

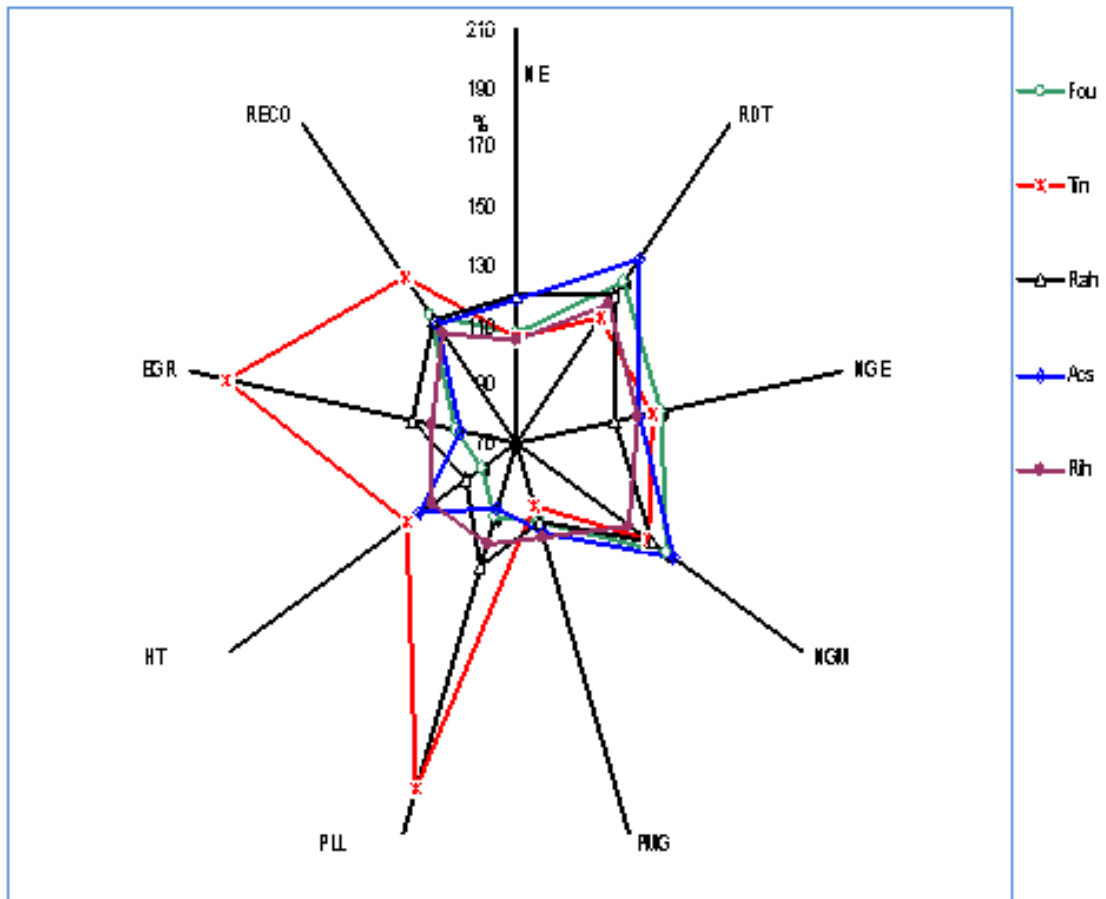


Figure 9. Moyennes des génotypes performants exprimées en % de la moyenne du site de sélection

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

III.7. Rythme développement sur les sites de Sétif et Saïda

III.7.1. Variation de la durée levée-épiaison

Dans le cas de la présente étude, la durée de la phase végétative allant de la levée au stade épiaison a été mesurée sur deux sites, Saida et Sétif. Les données recueillies indiquent que les géotypes évalués peuvent être classés en trois groupes de précocité différente (Figure 10). Le groupe tardif est constitué de Tina, Plaisant et Bégonia, des géotypes d'origine européenne.

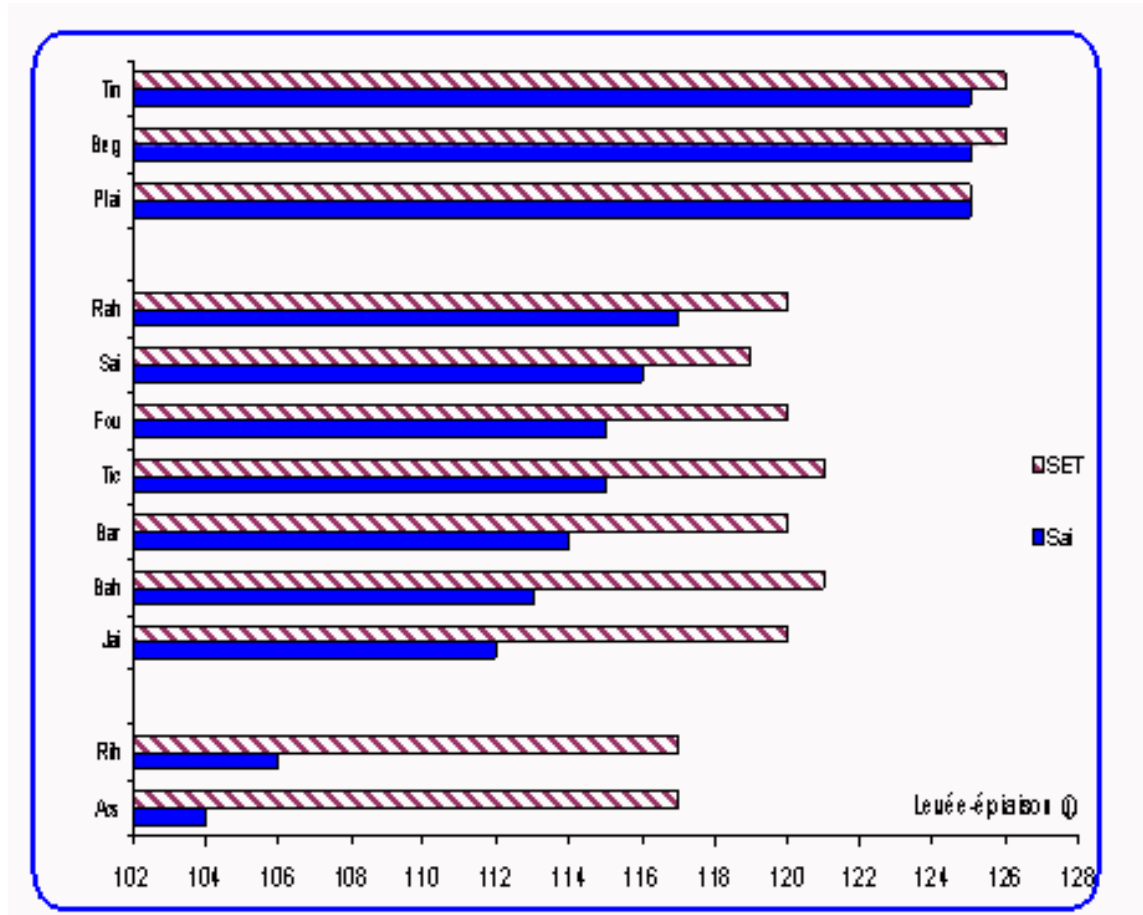


Figure 10. Variation de la durée de la phase levée-épiaison des différents géotypes sur les sites de Sétif et Saida

Le groupe de précocité intermédiaire est constitué de géotypes de diverses origines, locale, syrienne et européenne. Le groupe précoce est constitué par les géotypes Rihane₀₃ et Acsad₁₇₆. Le site de Saida a été plus discriminant pour la durée de la phase végétative comparativement au site de Sétif. En moyenne sur les deux sites la durée de la phase levée épiaison varie de 111.0 jours pour le groupe précoce à 125.3 jours pour le groupe tardif, avec une moyenne de 117.5 jours pour le groupe intermédiaire (Figure 10).

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

L'exploitation de l'esquive comme stratégie d'adaptation aux stress s'est faite dans le contexte agricole en cherchant à faire coïncider le développement de la culture ou du moins les phases les plus sensibles avec les périodes où les stress sont moins intenses. Ceci s'est fait par des études de l'influence de la variabilité de la durée des phases de développement sur la productivité de la plante, dans le but de déduire la durée la plus optimale pour que les stades sensibles puissent se réaliser à des périodes où les risques de stress sont moins pénalisants (Abbassenne *et al.*, 1998).

Blum (1996) souligne qu'une longue durée de croissance est associée avec une biomasse élevée et que les génotypes tardifs ont une productivité potentielle supérieure. Cependant, comme la sécheresse et les hautes températures de fin de cycle sont des caractéristiques dominantes des zones semi-arides, il est souvent plus judicieux de privilégier la sélection des génotypes à cycle relativement plus court. Sous de telles conditions de production, des études ont montré l'existence d'une liaison positive entre degré de précocité au stade épiaison et rendement en grains (Richards *et al.*, 1997; Araus *et al.*, 1998).

III.7.2.Relation entre la durée de la phase végétative et le rendement grain

La relation entre la durée de la phase végétative et le rendement en grains varie en fonction du site d'évaluation. Sur le site de Sétif la relation est négative indiquant que la durée de cette phase n'est pas favorable à l'expression d'un rendement en grains élevé. Par contre sur le site de Saida, la relation est plutôt lâche à inexistante (Figure 11). Les deux variétés sélectionnées Fouara et Rahma appartiennent au groupe de précocité intermédiaire.

Une grande précocité d'épiaison n'est, cependant, d'aucune utilité pratique en sélection dans les régions où la présence du gel tardif affecte les génotypes trop précoces (Ceccarelli *et al.*, 1998). De tels génotypes sont représentés dans le cas de la présente étude par les génotypes Acsad₁₇₆ et Rihane₀₃. La recherche sur la résistance ou la tolérance aux basses températures printanières est nécessaire pour exploiter l'avantage en productivité des génotypes précoces qui échappent aux stress de fin de cycle (Mekhlouf *et al.*, 2006).

Blum(1993) met en évidence l'interaction entre les disponibilités en eau et la durée de cycle optimale chez le blé en présence de stress hydrique, la corrélation entre le rendement et la durée de la phase levée-épiaison (indicateur de précocité) est négative alors qu'en conditions de bonne alimentation en eau, ce sont les variétés tardives qui ont l'avantage. Lorsque le stress est modéré, le rendement moyen des variétés n'est pas relié a la durée de cycle.

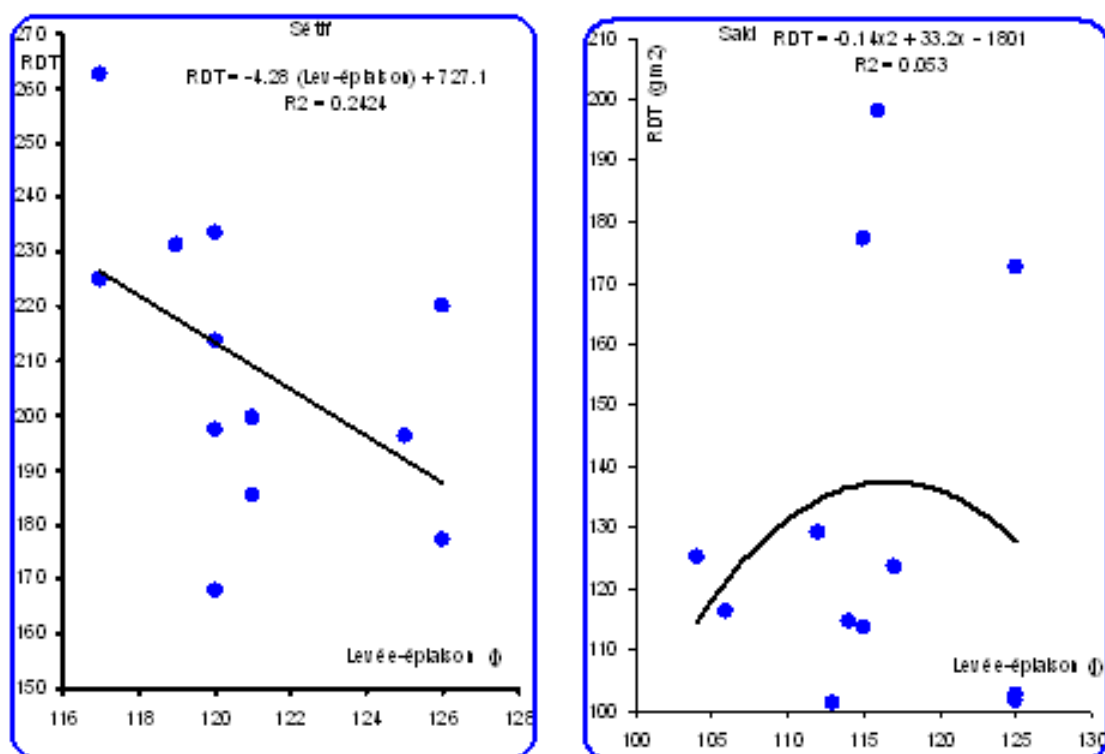


Figure 11. Relation entre la durée de la phase levée-épiaison et le rendement en grains sur les sites de Sétif et Saïd

Abbassenne *et al.*, (1998) montrent, en conditions semi-arides d'altitude, que les génotypes tardifs valorisent peu, sous forme de grains produits par unité de surface, la matière sèche totale accumulée au stade épiaison. Ces variétés investissent peu d'hydrates de carbone dans les épis et à cause des effets des stress thermique et hydrique, beaucoup de leurs talles avortent. Ce type de matériel végétal est désirable à condition que lui soient associées des capacités de production d'épis et de grains par épi assez conséquentes, pour induire des indices de récolte et de remplissage assez élevés afin d'aboutir à des rendements en grains acceptables (Brancourt-Humel *et al.*, 2003).

Pour faciliter la sélection de génotypes appropriés, il est nécessaire que les mécanismes physiologiques qui sont à la base du contrôle de la précocité à l'épiaison soient étudiés. La durée semis épiaison dépend presque exclusivement de la température et de la luminosité (Kirby et Appleyard, 1982). C'est l'action conjuguée des effets positifs et négatifs de la température, combinée à l'effet de la durée du jour, qui détermine et explique mieux la variation de la durée des différentes phases de développement de la céréale (Worland *et al.*, 1994).

Bensemene (2004) trouve des différences du point de vue vigueur de croissance chez le blé dur, le cultivar Waha se développe notamment plus vite très tôt en début de cycle comparativement au cultivar Mohammed Ben Bachir. La vigueur de croissance est associée à la capacité du génotype à croître sous basses températures de fin d'hiver début printemps. Une croissance rapide en début du cycle peut, cependant, engendrer une plus grande consommation et un gaspillage d'eau avant l'anthesis, au détriment de la part qui doit rester pour assurer un remplissage de grain satisfaisant. Il faut chercher à trouver un équilibre entre la part d'eau économisée par suite de la réduction de l'évaporation du sol et celle utilisée suite à l'amélioration de la croissance sous basses température (El Hafid *et al.*, 1998).

III.8. Valorisation des eaux pluviales

Le déficit hydrique est le principal facteur limitant la production dans les systèmes de production pluviaux des étages bioclimatiques aride et semi aride. Le manqué d'eau affecte principalement les cultures dont la croissance devient active dès le début du printemps et qui sont mise en place sur des sols superficiels. Lorsque l'eau est disponible, le recours à l'irrigation est parfois nécessaire pour maintenir la production à un seuil acceptable.

Les changements climatiques laissent présager que l'eau sera de plus en plus rare. Dans certaines régions qui deviendront plus arides, il faut produire plus avec moins d'eau disponible, et c'est là un grand défi pour l'agronome. Ceci ne sera possible qu'avec la sélection de variétés, le développement de techniques et de systèmes de productions valorisant mieux l'eau disponible (Kirda et Kander, 1999).

III.8.1. Estimation des quantités d'eau utilisées

Sur le site de Sétif, les quantités d'eau utilisées par les variétés évaluées ont été estimées. Elles varient de 328.4 mm chez les géotypes les plus précoces à 367.3 mm chez les géotypes les plus tardifs, sur les 60 cm de l'horizon de surface. La différence est de 38.9 mm. Au niveau du site de Saida, les quantités d'eau utilisées varient de 286.7 mm chez les variétés les plus précoces à 321.6 mm chez les variétés à cycle long. La différence est de 34.9 mm. Les géotypes précoces suite à leur rythme de développement plus rapide laissent donc de l'humidité dans le sol qui n'est pas valorisée.

Les différences de rendement en grains sont, donc, en partie, dues à des différences dans l'utilisation des eaux pluviales. On note cependant des différences géotypiques pour le rendement en grains qui ne s'expliquent pas par la différence des quantités d'eau utilisées. Ainsi au niveau du site de Sétif un géotype comme Acsad₁₇₆, très précoce, arrive à réaliser un rendement en grains similaire à celui des géotypes les plus tardifs tels que Plaisant et Bégonia (Tableau 15). Sur le site de Saida les variétés précoces Acsad₁₇₆ et Rihane₀₃ dépassent largement les géotypes les plus tardifs comme Bégonia et Plaisant en rendement en grains (Tableau 16).

Ceci indique que d'autres facteurs du milieu et spécifique à la variété interviennent pour favoriser ou, au contraire, défavoriser l'utilisation de l'eau pour produire des grains.

III.8.2. Efficience d'utilisation des eaux pluviales

Ainsi dans le modèle utilisé pour le calcul des quantités d'eau consommées, il est fait abstraction des différences géotypiques de progression du système racinaire et des différences dans la capacité d'extraction de l'eau pour un même horizon exploité. Le positionnement des événements pluvieux agit aussi sur la capacité de la plante à utiliser l'eau disponible. Un géotype, préalablement stressé par la contrainte hydrique, valorise moins bien l'humidité du sol qui devient disponible suite à l'avènement de la pluie comparativement à un géotype dont la phase de croissance coïncide avec la disponibilité en eau. En plus la température du milieu joue un rôle déterminant sur le rendement en grains obtenu, en effet des températures maximales élevées affectent fortement le remplissage du grain des variétés sensibles, qui utilisent l'eau disponible pour se rafraîchir au détriment de la photosynthèse et donc du rendement.

	Paramètres							
	RH% Semis	RH% maturité	Pluie (mm)	H semis (mm)	H maturité (mm)	ETU (mm)	RDT (Kg/Ha)	EUE (Kg/Ha/mm)
Plai	13.35	12.50	360.40	10.93	4.05	367.29	2249	6.12
Tin	13.35	12.50	360.40	10.93	4.05	367.29	2626	7.15
Beg	13.35	12.50	360.40	10.93	4.05	367.29	2137	5.82
Jai	13.35	15.20	360.40	10.93	25.92	345.42	1855	5.37
Bah	13.35	15.20	360.40	10.93	25.92	345.42	1975	5.71
Fou	13.35	15.20	360.40	10.93	25.92	345.42	1995	5.77
Rah	13.35	15.20	360.40	10.93	25.92	345.42	2334	6.75
Bar	13.35	15.20	360.40	10.93	25.92	345.42	1677	4.86
Sai	13.35	15.20	360.40	10.93	25.92	345.42	1961	5.68
Tic	13.35	15.20	360.40	10.93	25.92	345.42	2202	6.37
Rih	13.35	17.30	360.40	10.93	42.93	328.41	1771	5.39
Acs	13.35	17.30	360.40	10.93	42.93	328.41	2312	7.04

Tableau 15. Calcul de l'efficience de l'utilisation de l'eau pour le site de Sétif

RH% semis= pourcentage d'humidité au semis, RH% maturité= pourcentage d'humidité à la maturité, H semis= humidité en (mm) au semis, H maturité= humidité en (mm) à la maturité, ETU= eau totale utilisée, RDT= rendement en grains, EUE= efficience de l'utilisation de l'eau

L'efficience d'utilisation de l'eau varie de 4.86 pour Barberousse à 7.15 kg/ha/mm pour Tina sur le site de Sétif (Tableau 15). Au niveau du site de Saida , l'efficience de l'utilisation de l'eau varie de 3.31 pour Jaidor à 6.91 kg/ha/mm pour Acsad 176 (Tableau 16). Les valeurs de l'efficience d'utilisation de l'eau trouvée dans la présente étude se rapprochent de celles rapportées par Chenaffi *et al.*, (2006) qui varient de 3.92 à 15.99 kg/ha/mm, avec des apports d'eau d'appoint. Zhang *et al.*, (2006), sur blé irrigué trouvent des valeurs moyennes variant entre 14.6 et 16.2 kg/ha/mm. Sur les deux sites, le rendement en grains est corrélé significativement avec l'efficience de l'utilisation de l'eau ($r= 0.951^{**}$) pour le site de Sétif et ($r =0.992^{**}$) pour le site de Saida.

	Paramètres							
	RH% Semis	RH% maturité	Pluie (mm)	H semis (mm)	H maturité (mm)	ETU (mm)	RDT (Kg/Ha)	EUE (Kg/Ha/mm)
Plai	15.24	17.63	314.70	11.23	4.57	321.6	1253	3.89
Tin	15.24	17.63	314.70	11.23	4.57	321.6	1163	3.61
Beg	15.24	17.63	314.70	11.23	4.57	321.6	1290	4.01
Jai	15.24	19.76	314.70	11.23	20.03	305.9	1014	3.31
Bah	15.24	19.76	314.70	11.23	20.03	305.9	1147	3.75
Fou	15.24	19.76	314.70	11.23	20.03	305.9	1135	3.71
Rah	15.24	19.76	314.70	11.23	20.03	305.9	1772	5.79
Bar	15.24	19.76	314.70	11.23	20.03	305.9	1235	4.03
Sai	15.24	19.76	314.70	11.23	20.03	305.9	1016	3.32
Tic	15.24	19.76	314.70	11.23	20.03	305.9	1025	3.35
Rih	15.24	22.41	314.70	11.23	39.27	286.7	1724	6.01
Acs	15.24	22.41	314.70	11.23	39.27	286.7	1981	6.91

Tableau 16. Calcul de l'efficience de l'utilisation de l'eau pour le site de Saida

RH% semis= pourcentage d'humidité au semis, RH% maturité= pourcentage d'humidité à la maturité, H semis= humidité en (mm) au semis, H maturité= humidité en (mm) à la maturité, ETU= eau totale utilisée, RDT= rendement en grains, EUE= efficience de l'utilisation de l'eau

Les valeurs moyennes de l'efficience d'utilisation de l'eau mesurées sont peu liées à la phénologie. L'esquive du stress hydrique de fin de cycle ne semble donc pas avoir joué un rôle important dans le cas de nos deux sites expérimentaux de Sétif et de Saida pour cette année, suite à l'avènement tardif des pluies au mois de mai 88 mm et 78.2 mm sur les deux sites respectivement (Annexes 1-C et 1-D). En effet l'esquive intervient lors des années où la variété croit et se développe sur un sol dont l'humidité se reconstitue en l'hiver et décroît progressivement dans le temps pour devenir insignifiante en fin de cycle (Cooper et Gregory, 1987). La fréquence d'un tel scénario climatique est importante à connaître car elle décide de la sélection des géotypes ayant une phénologie déterminée.

Le déficit hydrique est de nature intermittente sur les hauts plateaux. A l'automne, il affecte la surface superficielle du sol et par là même l'installation de la culture. Au printemps, il affecte la croissance végétative et réduit le développement de la surface foliaire et par là même la quantité de la biomasse aérienne accumulée et le nombre de grains produit par m^2 . Au cours du remplissage du grain, le déficit hydrique est quasi permanent, associé à l'élévation de la température, ils affectent le remplissage du grain (Bahlouli *et al.*, 2005).

Sous un tel climat c'est la combinaison des pratiques culturales et de la variété qui devient importante pour mieux valoriser les eaux de pluie. La variété intervient, entre autres, par sa capacité à couvrir rapidement le sol dès la levée, et à réaliser un indice foliaire modéré au printemps pour économiser de l'eau pour le remplissage du grain. Toutes ces caractéristiques ne sont pas documentées pour les variétés évaluées dans la présente étude. L'interaction de ces caractéristiques avec les facteurs du milieu et avec les techniques culturales nécessite l'emploi des modèles de simulation pour déterminer le meilleur scénario comme le suggèrent (Sivakumar et Glinni, 2002).

CONCLUSION

L'expérience acquise en matière d'amélioration génétique pour la tolérance au stress hydrique, montre les difficultés de sélectionner pour ce caractère, ce qui a conduit les chercheurs à mettre en place différentes approches de sélection :

- -une approche « empirique » basée sur la sélection directe pour le rendement en conditions de stress.
- - une approche « analytique explicative » basée sur le principe de la sélection indirecte par incorporation de caractères physiologiques et/ou morphologiques. Cette dernière approche montre que l'utilisation de ces caractères comme critères de sélection indirecte dans un programme d'amélioration génétique peut être considérée comme une approche plus efficace.

Les résultats de la présente étude montrent que l'expression d'un haut rendement, résulte de la capacité de la variété à utiliser l'eau de manière efficace pour produire le maximum de grain. Sur les différents sites, un haut rendement est issu de la réalisation d'un nombre de grain élevé par m².

La contribution du nombre de grain par m² au rendement en grain, montre que ce dernier est lié au nombre de grain produit par unité de surface semée et aussi au nombre d'épis et de grains par épi. Le concours du nombre de grains par m² au rendement en grain, vient aussi bien du nombre d'épis par m² que des grains par épi. Il apparaît cependant une nette contribution de la fertilité au nombre de grains par m².

Le rendement est également influencé par la hauteur du chaume et la paille produite, qui est une composante de la biomasse aérienne accumulée à maturité.

Les génotypes sélectionnés par site différent peu pour les valeurs relatives du rendement en grain et des composantes du rendement; ils diffèrent surtout pour la hauteur du chaume et la paille produite.

L'étude de l'interaction génotypes-localités (G x L) du rendement grain et économique, par les modèles de régression conjointe et l'AMMI, a permis d'identifier les génotypes Acsad₁₇₆ à adaptation générale et Fouara à adaptation spécifique aux environnements favorables.

L'analyse de la stabilité du rendement donne la possibilité de distinguer un groupe de variétés à rendement élevé et d'une bonne stabilité dans différentes conditions. Les paramètres de stabilité (b, IPCA1 et S²), sont liés significativement avec le rendement en grain et économique. L'exploitation positive de l'interaction permet un gain génétique de rendement grain et économique.

Les variétés Rihane₀₃, Rahma et Acsad₁₇₆ à large adaptation, sont caractérisées par une bonne efficacité de l'eau et un nombre de grains élevé par unité de surface. La variété Rahma se distingue par un peuplement épi élevé, une hauteur de chaume moyenne, ainsi qu'une précocité intermédiaire, par contre la variété Acsad₁₇₆ est précoce et présente une

hauteur de chaume et une fertilité d'épi élevé. La variété Fouara à adaptation spécifique aux milieux favorables se caractérise par une précocité intermédiaire une fertilité d'épi très élevée. Les droites prédictives du rendement économique mettent en relief deux zones différentes. L'une favorable, comportant le site du Khroub, représente le domaine de recommandation de Fouara. La seconde zone, moins favorable aux performances génotypiques, représente le domaine de recommandation des Saida Sétif et SBA, où la variété Rahma montre une adaptation plus ou moins large à cette région.

Pour ce qui concerne l'étude de la relation entre la durée de la phase végétative et le rendement grain, les résultats révèlent que sur le site de Sétif, la relation est négative, signifiant que la durée de cette phase n'est pas favorable à l'expression d'un haut rendement en grain. Sur le site de Saida, la durée de la phase végétative, ne semble avoir aucune influence sur le rendement en grain.

Les résultats de l'étude de la relation entre l'utilisation de l'eau et le rendement grain, expliquent en partie, les différences de rendement entre les génotypes. Les valeurs trouvées de l'efficacité d'utilisation de l'eau, sont corrélées significativement avec le rendement grain, sur les deux sites, de Sétif et Saida

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABBASSENE F., BOUZERZOUR H. et HACHEMI L.** (1998). Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi aride d'altitude. *Annales Agronomiques de l'INA (Alger)* **18**: 24-36.
- ACEVEDO E.** (1987). Assessing crop and plant attributes for cereals improvement in water limited Mediterranean environments. In: *Drought tolerance in winter cereals*. Srivastava J.P., Porceddu E., Acevedo E., & Varma S. (Ed.), John Willey & Sons, 303-320.
- ACEVEDO E. and CECCARELLI S.** (1989). Role of physiologist - breeder in a breeding program for drought resistance conditions. In: *Drought resistance in cereals*. Baker F.W.G. (Eds.), Wallington, UK, 117-140.
- AL HAKIMI A.** (1995). Sélection sur base physiologique et utilisation des espèces tétraploïdes du genre *Triticum* pour l'amélioration génétique de la tolérance à la sécheresse du blé dur. Thèse de doctorat. Montpellier, 218 p.
- AL HAKIM I A., MONNEVEUX P. and GALIBA G.** (1995). Soluble sugars, Proline, and Relative Water Content (RWC) as trait for Improving Drought Tolerance and Divergent selection for RWC from *T. Polonicum* into *T. durum*. *Genetics and breeding*.
- ALLEN S. J.** (1990). Measurement and estimation of evaporation from soil under sparse barley crops in northern Syria. *Agric. For . Meteorol.* **49**: 291-309.
- AMRI A. and MEKNI M.S.** (1989). Barley breeding strategies under rainfed conditions of Morocco. In: *Physiology- Breeding of Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments (Montpellier, France, 3-6 July 1989)*. (Ed.), INRA, Paris 1991 Les colloques, **55**: 164-176.
- ANNICHIARICO P.** (2002). *Genotype x Environment Interactions: Challenges and Opportunities for Plant Breeding and Cultivar Recommendations*. FAO Plant Production and Protection Paper N° 174. FAO, Rome.
- ANNICHIARICO P. and 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.
- ANNICHIARICO P., BELLAH F. and CHIARI T.** (2006). Repeatable genotype x location interaction and its exploitation by conventional GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *Europ. J. Agronomy*, **24**: 70-81.
- ANNICHIARICO P., ABDELLAOUI Z., KELKOULI M. and ZERARGHI H.** (2005). Grain yield, straw yield and economic value of tall and semi-dwarf durum wheat cultivars in Algeria. *Journal of Agricultural Science*, **143**: 57-64.
- ANNICHIARICO P., CHIARI T., BAZZANI F., BELLAH F., DOUCENE S., YALLAOUI-YAICI N., ABDELLAOUI Z., BELLOULA B., BOUAZZA L., BOURMEL L., HAMOU M., HAZEMOUNE T., KELKOULI M., OULD SAID H. and ZERARGHI H.** (2002).

- Response of durum wheat cultivars to Algerian environments. I. Yield. *J. Agric. Environ. For Int. Develop.* 96, 157-187.
- ARAUS J.L., AMARO T., ZUHAIR Y. and Nachit M.M.** (1997). Effect of leaf structure and status on carbon isotope discrimination in field grown durum wheat. *Plant Cell Env.* **20**: 1484–1494.
- ARAUS J.L., SLAFER G.A., REYNOLDS M.P. and ROYO C.** (2002). Plant breeding and water relations in C3 cereals. What should we breed for? *Ann. Bot.*, **89**: 925-940.
- ARAUS J.L., FEBRERO A., BORT J., SANTIVERI P. and ROMAGOSA I.** (1993). Carbon isotope discrimination, water use efficiency and yield in cereals: Some case study. In: *Tolérance à la sécheresse des cereals en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale.* ENSA-INRA-Agropolis. Montpellier (France), Colloque INRA **64**: 47-59.
- AUSTIN R.B.** (2000). Integrated approach to breeding cereals for drought resistance. An IAMZ CRRA-Settat course, 27 March-7 April, 2000.
- AUSTIN R.B. and FORD M.A.** (1989). Effects of nitrogen fertilizer on the performance of old and new varieties of winter wheat. In: *Proceedings XII Eucarpia Congress*, February 1989. Goettingen, Germany, *Vortr. Pflanzenzuechtug*, **16**: 307-318.
- AUSTIN R.B., HENSON I.E. and QUARRIE S.A.** (1982). Abscisic acid and drought resistance in wheat, millet and rice. In: *Drought resistance in crops with emphasis on Rice*, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, 171.
- AUSTIN R.B., J. BINGHAM J., BLACKWELL R.D., EVAN S L.T., FORD M.A., MORGAN C.I. and TAYLOR M.** (1980). Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *J. Agric. Sci.*, **94**: 675-689.
- AUSTIN R.B., J. BINGHAM J., BLACKWELL R.D., EVAN S L.T., FORD M.A., MORGAN C.I. and TAYLOR M.** (1980). Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *J. Agric. Sci.*, **94**: 675-689.
- BAHLOULI F., BOUZERZOUR H. and BENMAHAMMED A.** (2005). Selection of stable and high yielding cultivar of durum wheat under semi-arid conditions. *Pakistan Journal of Agronomy* **4**: 360-365.
- BALDY C.** (1974). Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques et leurs influences sur la production des principales zones céréalières. Document du projet céréales, 170 pages.
- BALDY C.** (1986). Comportement des blés dans les climats méditerranéen. *Ecologia méditerranéenne*, Tome **XII**: 73-88.
- BECKER H. C. and LEON J.** (1988). Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, **101**: 1-23.
- BEGG J. E. and TURNER M.E.** (1976). Crop water deficits. *Adv. Agron.* **28**: 161-217.
- BELHASSEN E., THIS D. et MONNEVEUX P.** (1995). L'adaptation face aux contraintes de sécheresse. *Cahiers Agriculture*, **4**: 251-261
- BENLARIBI M., MONNEVEUX P. et GRIGNAC P.** (1990). Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum Desf.*). *Agronomie* **10**: 305-322.

- BENMAHAMMED A., HASSOUS K.L. et BOUZERZOUR H.** (2001). Synthèse des acquis du programme d'amélioration de l'orge de la Ferme Expérimentale Agricole de Sétif, au cours de la période 1982/1983 à 1996/1997. *Céréaliculture*, **36**: 13-20.
- BENMAHAMMED A., DJEKOUN A., BOUZERZOUR H. et HASSOUS K.L.** (2004). Efficacité de la sélection précoce de la biomasse chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride. *Revue Sciences & Technologie C22 (Université de Constantine)*: 80-85
- BENSEDDIK B.** (2001). Les impacts du risque climatique sur le rendement du blé dur en zone semi-aride. Actes du séminaire national sur la problématique de l'agriculture des zones arides et de la reconversion. Sidi Bel Abbés, Algérie 22-24 janvier 2001. 345-353.
- BENSEMANE F.** (2004). Contribution à l'étude de la cinétique d'accumulation et de répartition de la matière sèche chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. Mémoire de magister, Faculté des Sciences, Université de Sétif, 70 pages.
- BIDINGER F.R. , MAHALAKSHMI V., TALUKDAR B.S. and ALAGARSWAMY G.** (1987). Improvement of drought resistance in millet. In : International Rice Research Institute, Los Banos (Philippines), 357-365.
- BLUM A.** (1993). Genetic and physiological relationship in plant breeding for drought resistance. *Agric. Water Manage*, **7**: 195-205.
- BLUM A.** (1996). Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regul.* **20**:135–148.
- BLUM A. and PNUEL Y.** (1990). Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a mediterranean environment. *Aust. J. Agric..Res.* **41**: 799-810.
- BLUM A., MAYER J. and GOLAN G.** (1982). Infrared thermal sensing of plant canopies as a screening dehydration avoidance in wheat. *Field Crop Research*, **5** : 137.
- BLUM A., MAYER J. and GOLAN G.** (1983). Association between plant production and some physiological components of drought resistance in wheat. *Plant Cell and Environment*, **6**: 219-225.
- BLUM A., SHIPLER L., GOLAN G. and MAYER J.** (1989). Yield stability and canopy temperature of wheat genotypes under drought stress. *Field Crop Research*, **22**: 289-296.
- BLUM A., RAMAIAH S., KANEMASU E.T. and PAULSEN G.M.** (1990). Recovery of wheat from drought stress at the tillering developmental stage. *Field Crop Research*, **24**: 67-85.
- BOTHMER R.V. and JACOBSEN N.** (1985). Origin, Taxonomy, and Related Species. In *Barley*. (Eds.) Donald & Rasmusson. *Agronomy*, **26**: 19-53.
- BOUFENAR F. et ZAGHOUANE O.** (2004). La production de semences de pré-base de céréales durant la période 1994-2003: Amélioration des performances et consolidation du programme de multiplication. *Céréaliculture*, **41**: 5-12.

- BOUZERZOUR H.** (1990). Les caractéristiques des variétés d'orge destinées aux hauts-Plateaux Sétifiens. *Céréaliculture*, **23**: 9-15.
- BOUZERZOUR H.** (1998). Sélection pour le rendement, la précocité au stade épiaison, la biomasse aérienne de l'indice de récolte chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride. Thèse de doctorat d'état. Université de Constantine. 170 p.
- BOUZERZOUR H. and DEKHILI M.** (1995). Heritability, gain from selection and genetic correlation for grain yield of barley grown in two contrasting environments. *Field Crop Research*, **41**: 173-178.
- BOUZERZOUR H., BAHLOULI F. et BENMAHAMED A.** (2008). Effets de la vitesse et de la durée du remplissage du grain ainsi que l'accumulation des assimilats de la tige dans l'élaboration du rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions de culture des hautes plaines orientales d'Algérie. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **12**: 31-39.
- BOUZERZOUR H., DJEKOUN A., BENMAHAMMED A. et HASSOUS K.L.** (1998). Contribution de la biomasse aérienne de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement en grain (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude. *Cahiers de l'Agriculture*, **8**: 133-137.
- BOUZERZOUR H., BENMAHAMMED A., BENKHARBACHE N. et HASSOUS K.L.** (2002). Contribution des nouvelles obtentions à l'amélioration et à la stabilité du rendement d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude. *Revue Recherche Agronomique (INRAA)* **10**: 45-58.
- BRANCOURT-HULMEL B., DOUSSINAULT G., LECOMTE C., BERARD P., LE BUANEC B. and TROTTET M.** (2003). Genetic improvement in agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992. *Crop Science*, **43**: 37-45.
- CANTERO-MARTINEZ C., VILLAR J.M., ROMAGOSA I. and FERERES E.** (1995). Growth and yield responses of two contrasting barley cultivars in a mediterranean environment. *European Journal of Agronomy*, **4**: 317-326.
- CASADEBAIG P.** (2008). Analyse et modélisation des interactions génotype-environnement-conduite de culture: application au tournesol: Thèse de doctorat. INP Toulouse.
- CECCARELLI S.** (1989). Wide adaptation: How wide? *Euphytica*, **40**: 197-205.
- CECCARELLI S.** (1994). Specific adaptation and breeding for marginal conditions. *Euphytica*, **77**: 205-219.
- CECCARELLI S.** (1996). Positive interpretation of genotype by environment interaction in relation to sustainability and biodiversity. In: M. Cooper and G.L. Hammer (eds), *Plant Adaptation and Crop Improvement*, pp.467-486. CABI, Wallingford, UK.
- CECCARELLI S. and GRANDO S.** (1996). Drought as a challenge for plant breeder. *Plant Growth Regulation*, **20**: 149-155.
- CECCARELLI S., GRANDO S. and HAMBLIN J.** (1992). Relationships between barley grain yield measured in low and high yielding environments. *Euphytica*, **64**: 49-58.

- CECCARELLI S., GRANDO S. and IMPIGLIA A.** (1998). Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. *Euphytica*, **103**: 307-318
- CECCARELLI S., NACHIT M.M., FERRARA G.O., MEKNI M.S. TAHIR M., VAN LEUR J. and SRIVASTAVA J.P.** (1987). Breeding of improving cereals yield and stability under drought. In: *Drought in winter cereals*. Srivastava J.P., Porceddu E., Acevedo E., & Varma S. (Ed.), John Willey & Sons, 101-114.
- CHAVES M. M., PEREIRA J.S., MAROCO J., RODRIGUES M.L., RICARDO C.P., OSERIO M.L., CARVALHO I. and PINHEIRO C.** (2002). How do plants cope with water stress in field? Photosynthesis and growth. *Ann. Bot.*, **89**: 907-916.
- CHENAFFI H., AIDAOUI A., BOUZERZOUR H. and SACI A.** (2006). Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi arid growth conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*, **5**: 854- 860.
- CLARKE J.M. and MC CAIG T.N.** (1982). Excised leaf water retention capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Canadian Journal of Plant Sciences*, **62**: 571-578.
- CLARKE J.M., DE PAUW R.M. and TOWNLEY-SMITH T.F.** (1991). Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Sci.*, **32**: 723-728.
- CLARKE J.M., ROMAGOSA I., JANA S., SRIVASTAVA J.P. and MC CAID T.N.** (1989). Relation of excised leaf water loss rate and yield of durum wheat in diverse environments. *Canadian Journal of Plant Sciences*, **69**: 1057-1081.
- CLIMAT D'ALGERIE.** (2003). Logiciel de climatologie.
- COOPER P.J.M. and GREGORY P.J.** (1987). Soil water management in the rain-fed farming systems of the Mediterranean region. *Soil Use Manage.* **3**: 57–62.
- COOPER P.J.M., CLARKE J.M., KEATINGE J.H.D. and HUGUES G.** (1983). Crop evapotranspiration. A Technique for calculation of its component by field measurements. *Field Crops Research*, **7**: 229-312.
- COX M.C., QUALSET C.O. and RAINS D.W.** (1988). Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. III. Nitrogen translocation in relation to grain yield and protein. *Crop Sci.*, **26**:737–740.
- DAKHEEL, A.J., NADJI I., MAHALAZKSHMI V. and PEACOCK J.M.** (1993). Morphological traits associated with adaptation of durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Aspects of Applied Biology*, **34**: 297-307.
- DEBAEKE P. and ABOUDRARE A.** (2004). Adaptation of crop management to water-limited environments. *European Journal of Agronomy*, **21**: 433-446.
- DEBAEKE P. , WILLAUME M., CASADEBAIG P. and NOLOT J.M.**(2008).Raisonnement les systèmes de culture en fonction de la disponibilité en eau. *Innovations Agronomiques*, **2**: 19-36.
- DUCHAUFFOUR PH.** (1997). *Abrégé de pédologie, sol, végétale, environnement.* Masson eds., Paris, 291 p.
- EBERHART S. A. and RUSSEL W.A.** (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, **6**: 36-40.

- EHDAIE B., HALL A. E., FARQUHAR G.D., NGUYEN H.T. and WAINES J.G.** (1991). Water use efficiency and carbon isotope discrimination in wheat. *Crop Sci.*, **31**: 1282-1288.
- EL HAFID R.E., SMITH D.H., KARROU M. and SAMIR K.** (1998). Morphological attributes associated with early-season drought tolerance in spring durum wheat in a Mediterranean environment. *Euphytica*, **101**: 273–282.
- FAOSTAT** (2008). Statistical Database of the Food and Agriculture Organisation of the United Nations.
- FARQUHAR G.D. and RICHARDS R.A.** (1984). Isotopic composition of plant carbon correlates with water use efficiency of wheat genotypes. *Aust. Journal of Plant Physiology*, **11**: 539-552.
- FEIL B.** (1992). Breeding progress in small grain cereals – A comparison of old and modern cultivars. *Plant Breed.*, **108**: 1-11.
- FELLAH A., BOUZERZOUR H., BENMAHAMMED A. et DJEKOUN A.** (2002). Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Actes de l'IAV III, **64**: 35-42.
- FINLAY K. W. and WILKINSON G.N.** (1963). The analysis of adaptation in plant breeding programs. *Aust. Journal of Agricultural Research*, **14**: 742-754.
- FISHER R.A.** (1985). Number of kernel in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agr. Sci. Camb.*, **105**: 447-461.
- FISHER R.A. and MAURER R.** (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* **29**: 897-912.
- FISHER R.A. and TURNER N.C.** (1978). Plant productivity in arid and semi arid zones. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **29**: 277-317.
- FOWLLER D.B., LIMIN A.E. and GUSTA L.V.** (1999) . Low-temperature Tolerance in *Cereals* : Model and Genetic Interpretation. *Crop Sci.*, **39** : 626-633.
- FRENCH R.J. and SHULTZ J.E.** (1984). Water use efficiency of wheat in Mediterranean type environments. I. The relationship between yield, water use and climate. *Aust. Journal of Agricultural Research*, **35**: 743-764.
- FULLER M.P., FULLER A.M., KANIOURAS S., CHRISTOPHERS J. and FREDERICKS T.** (2007). The freezing characteristics of wheat at ear emergence. *European Journal of Agronomy*, **26**: 435-441.
- GAUCH H.G.** (1988). Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics*, **44**: 705-715.
- GAUCH H.G. and ZOBEL R.W.** (1997). Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Sci.* **37**, 311-326.
- GATE PH.** (1995). Ecophysiologie du blé, de la plante à la culture. ITCF, Techniques et documentation. (Eds.). Lavoisier
- GEBEYHOU G., KNOTT D.R. and BAKER R.J.** (1982). Relationships among duration of vegetative and grain filling phases, yield components and grain yield in durum wheat cultivars. *Crop Sci.*, **22**: 287-290.

- GREGORY P.J.** (1989). The role of roots characteristics in moderating the effects of drought. In: Drought resistance in cereals. (Eds.) Baker F.W.G. pp 141-150.
- GREGORY P.J., SIMMONDS L.P. and PILBEAM C.J.** (2000). Soil type, climatic regime, and response of water use efficiency to crop. *Agronomy Journal*, **92**: 814-820.
- GRIGNAC P.** (1987). Tolérance au déficit hydrique et hautes températures de blé. A.T.P. écophysiologie du blé. Rapport intermédiaire. Campagne 1985, INRA, 229-289.
- GUMMULURU S., HOBBS S.L.A. and JANA S.** (1989). Genotypes variability in physiological characters and its relationship to drought tolerance in durum wheat. *Canadian Journal of plant Sciences*, **69**: 703-711.
- HADJ YUCEF H.** (2002). Identification des caractères phénologiques et morphophysiques d'adaptation à la sécheresse chez les variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et d'orge (*Hordeum vulgare* L.). Essais multilocaux dans trois zones céréalières d'Algérie. Thèse de Magistère INA, El Harrach, 118 p.
- HADJICHRISTOUDOULOU A.** (1987). The effects of optimum heading date and its stability on yield and consistency of performance of barley and durum wheat in dry areas. *J. Agri. Sci., Cam.*, **108**: 599-608.
- HAKIMI M.** (1989). L'évolution de la culture d'orge: Le Calendrier Climatique Traditionnel et les Données Agrométéorologiques Modernes. In: The Agrometeorology of Rainfed Barley-based Farming Systems. Proc. Symp. WMO ICARDA. Tunis March 1989, 157-166.
- HAUCHINAL R.R., TANDON J.P. and SALIMATH P.M.** (1993). Variation and adaptation of wheat varieties to heat tolerance in peninsula India. In: wheat in heat stressed environments, Irrigated, dry areas rice-wheat farmings systems, Sanders D.A. and Hettel G.P. (Eds.), , Mexico, D.F., CIMMYT, 175-183.
- HAVAUX M., HERNEZ M. and LANNOYE R.** (1988). Correlation between heat tolerance tests. *J.Plant Physiology*, **133**: 550-560.
- IRRISTAT.** (2005). International Rice Research Institute. Logiciel statistiques version 5.0 .
- ITCF.** (1991). Institut Technique des Céréales et Fourrages. Logiciel statistiques version 1.0
- ITGC.** (2001). Institut Technique des Grandes Cultures. Principales variétés de céréales cultivées en Algérie.
- ITGC.** (2005). Cartographie et analyses des sols des fermes expérimentales. Cellule SIG. (document interne).
- ITGC.** (2006). Bilan du département d'Agrotechnie. Campagne agricole 2005-2006 (document interne).
- KAMELI A. and LOSEL D.M.** (1995). Contribution of carbohydrates and others solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. *J.Plant Physiology*, **145**: 363-366.
- KAMELI A. and LOSEL D.M.** (1996). Growth and sugar accumulation on durum wheat plant under water stress. *New Phytol*, **132**: 57-62.

- KANG M. S.** (1988). A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Res. Comm.* **16**: 113-115.
- KARIMI M.M. and SIDDIQUE K.H.M.** (1991). Rainfall distribution and grain yield of spring wheat in Western Australia.
- KARROU M., HAFID R., SMITH D.N. and SAMIR K.** (1998). Roots and shoot growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early-season drought. *Agronomie*, **18**: 181-186.
- KAYY AL H., ABU HAMZA H., JARRAH M. and NACHIT M.M.** (1995). Durum wheat production and quality in Syria. In: Durum wheat quality in Mediterranean region. Proceedings of the seminar, Zaragoza, Spain, 17-19 November 1993. Options méditerranéennes, Série A. Séminaires Méditerranéens, **22**: 127-130.
- KEMPTON R. A.** (1984). The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *Biometrics*, **88**: 705-715.
- KIRBY E.J.M.** (1985). Significant stages of ear development in winter wheat. In : Day W & Atkin R.K. (Eds.). *Wheat Growth and Modeling*. Plenum press, New York, pp 7-24.
- KIRBY E.J.M. and M. APPELYARD.**(1982). *Cereal development guide*. 2nd ed. Arable Unit, National Agricultural Centre, Kenilworth, Warwickshire, England, 94 pages.
- KIRDA C. and KANDER R.** (1999). Water, no longer a plentiful resource, should be used sparingly in irrigated agriculture. In: Kirda C., Moutonnet P., Hera C., & Nielsen, D.R. (Eds.), *Crop Yield Response to Deficit Irrigation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1–20.
- LEVITT J.** (1982). *Responses of plants to environmental stress*. Acad. Press, New York, USA, 607 pages.
- LIN C . S. BINNS M.R. and LEFKOVITCH L.P.** (1986). Stability analysis: Where do we stand? *Crop Science*, **26**: 894-900.
- MAC KEY J.** (1978). Wheat domestication as shoot:root interrelation process. In: Proceeding of Fifth International Wheat Genetics Symposium, New Delhi, (India), 23-28 February 1978, S. Ramanujam (eds.), 875-890.
- M.A.D.R.** (2006). Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. *Annuaire statistiques, Série B*.
- MATIN M.A., BROWN J.H. and FERGUSON H.** (1989). Leaf water potential, relative water content, and diffusive resistance as screening techniques for drought resistance in barley. *Agronomy Journal*. **81**: 100-105.
- MC WILLIAM J. R.** (1989). The dimension of drought. In: *Drought resistance in cereals*. F.W.G. Baker ed., 1-11.
- MEKHOLOUF M. , BENMAHAMED A., HASOUS K.L. et BOUZERZOUR H.** (2003). Variabilité génotypique de la réponse à la double exploitation chez l'orge (*Hordeum Vulgare L.*) en zone semi aride. *Céréaliculture*, **38**: 32-39.
- MEKHOLOUF A., DEHBI F., BOUZERZOUR H ., HANNACHI A., BENMAHAMMED A. and ADJABI A.** (2006). Relationships between cold tolerance, grain yield performances and stability of durum wheat (*Triticum durum Desf.*) genotypes grown at high elevation area of Eastern Algeria. *Asian Journal of Plant Sciences*, **5**: 700-708.

- MOHAMMADI R., ARMION M., SHABAN A. and DARYAEI A.** (2007). Identification of stability and adaptability in advanced durum genotypes using AMMI analysis. *Asian Journal of Plant Sciences*, **6**: 1261-1268.
- MONNEVEUX P.** (1991). Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? In: *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides* », Chalbi N & Demarly Y. (Eds.), Tunis (Tunisie), AUPELF-UREF, 165-186.
- MONNEVEUX P. and BELHASSEN E.** (1996). The diversity of drought in the wide. *Plant Growth Regulation*, **20**: 85-92.
- MORGAN J.M.** (1984). Osmoregulation and water stress in higher plants. In: *Ann.Rev.Plant Physiol*, **35**: 299-319.
- MORGAN J.M., HARE R.A. and FLETCHER R.J.** (1986). Genetic variation in osmoregulation in bread and durum wheats and its relationship to grain yield in a range of field environments. *Australian Journal of Agricultural Research*.
- NACHIT M.M. and JARRAH M.** (1986). Association of some morphological characters to grain yield in durum wheat under Mediterranean dryland conditions. *Rachis*, **5**: 33-35.
- NACHIT M.M. and KETATA H.** (1991). Selection of some morpho-physiological traits for multiple abiotic stresses resistance in durum wheat (*Triticum turgidum* L. Var.Durum). In: *Physiology–Breeding of Winter Cereals for stressed Mediterranean Environments*. Acevedo E., Conesa A.P., Monneveux P. & Srivastava J.P. (Eds.), *Les colloques*, **55**:391-400.
- NACHIT M.M., KETATA H. and YAU S.K.** (1988). Breeding durum wheat for stress environments of the Mediterranean region. In : G. WITTMER ed., *Proch. Of the 3th Int. Symmp. On durum wheat : The Future of Cereals for human Feeding and Development of Biotechnological Research*. Chamber of Commerce, Foggia, pp.297-304.
- NACHIT M.M., KETATA H., GAUCH H.G and ZOBEL R.W.** (1992). Use of AMMI and linear regression models to analyse genotype-environment interaction in durum wheat. *Theor. Appl. Genet.*, **83**: 597-601.
- NEWMAN L.H.** (1972). *Plant breeding in Scandinavia*. Ottawa: Canadian Seed Growers Assoc.
- PASSIOURA J.B.** (1977). Grain yield, harvest index and water use of wheat. *Journal of Australian Institute of Agriculture Science*, **43**: 117-120.
- PASSIOURA J.B.** (1996). Drought and drought tolerance. *Plant Growth Regulation*, **20**: 79-83.
- PEDERSEN A.R. EVERSON E.H. and GRAFIUS J.E.** (1978). The gene pool concept as a basis of cultivar selection and recommendation. *Crop Science*, **18**: 883-886.
- PERKINS J. and JINKS J.L.** (1968). Environmental components of variability: III multiple lines and cross. *Heredity*, **23**: 339-356.
- PERRY M.W. and D'ANTUONO M.F.** (1989). Yield improvement and associated characteristics of some Australian spring wheats introduced between 1960 and 1982. *Aust. J. Agric. Res.* **40**: 457-472.

- POEHLMAN J.M.** (1985). Adaptation and distribution of barley. In: Barley (Eds.), Donald C Rasmusson. *Agronomy*, **26**: 2-16.
- QUARRIE S. A. and JONES H.G.** (1979). Genotypic variation in leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid concentration in spring wheat subjected to artificial drought stress. *Ann. Bot.*, (London), **44**, 323.
- ORTIZ-MONASTERI O R.J., SAYRE K.D., RAJARAM S. and MC MAHON M.** (1997). Genetic progress in wheat yield and nitrogen efficiency under four nitrogen rates. *Crop Sci.*, **37**: 898-904.
- O'TOOLE J.C. and CRUZ R.T.** (1980). Response of leaf water potential, stomatal resistance, and leaf rolling to water stress. *Plant Physiol.*, **51**: 993-997.
- UDINA M. et BOUZERZOUR H.** (1989). Variabilité du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) Sous l'influence du climat des hauts plateaux Sétifiens. In: The Agrometeorology of Rainfed Barley-based Farming Systems. Proceedings of an international Symposium, 6-10 March, Tunis, Jones M, Mathys G. & Rijks D. (Eds.), 110-119.
- OULD SAID H. et MENAD A.** (2005). Etude de l'effet des différentes doses et périodes d'apport de l'engrais azoté (Urée 46%) sur le rendement de l'orge en zone semi-aride. *Céréaliculture*, **45**: 4-7.
- RAWSON H.M.** (1993). Prediction of heading in wheat grown under high temperatures: effects of temperature, vernalization and photoperiod. *Indian J Plant Physiol.*, **36**: 239-245.
- REITZ L. P.** (1974). Breeding for more water use – is it real or mirage? *Agric. Meteorol.*, **14**: 3-7.
- REKIKA D. , NACHIT M.M., ARAUS J.L. and MONNEVEUX P.** (1998). Effects of water deficit on photosynthetic rate and osmotic adjustment in tetraploids wheats. *Photosynthetica*, **35**: 129-138.
- REYNOLDS M.P., BALOTA M., DELGADO M.I.B., AMANI I. and FISHER R.A.** (1995). Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. *Australian Journal of Plant Physiology*, **21**: 717–730.
- RICHARDS R.A.** (2006). Physiological traits used in the breeding of new cultivar for water-scarce environments. *Agricultural Water Management*, **80**: 197-211.
- RICHARDS R.A., REBTZKE G.J., CONDON A.G. and VAN HERWAARDLEN A.F.** (2002). Breeding for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Science*, **41**: 111-121.
- RICHARDS R.A., REBTZKE G.J., VAN HERWAARDLEN A.F., DUGGAN B.L. and CONDON A.G.** (1997). Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture*, **36**: 254-266.
- RODRIGUEZ M. , RAU D., PAPA R. and ATTENE G.** (2008). Genotype by environment interactions in Barley (*Hordeum vulgare* L.): different responses of landraces, recombinant inbred lines and varieties to Mediterranean environment. *Euphytica*, **163**: 213-247.
- ROMAGOSA I., FOX P.N., GARCIA DEL MORAL L.F., RAMOS J.M., GARCIA DEL MORAL M.B., ROCA DE TOGORES F. and MOLINA CANO J.L.** (1993).

- Integration of statistical and physiological analysis of adaptation of near-isogenic barley lines. *Theoretical and Applied Genetics*, **86**: 822-826.
- ROYO C., RODRIGUEZ A. and ROMAGOSA I.** (1993). Differential Adaptation of Complete and Substituted Triticale. *Plant Breeding*, **111**: 113-119.
- SHUKLA G. K.** (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype-environment components of variability. *Heredity*, **28**: 237-245.
- SIDDIQUE K.H.M., KIRBY E.J.M. and PERRY M.W.** (1989). Ear:stem ratio in old and modern wheat varieties: relationship with improvement in number of grains per ear and yield. *Field Crops Res.*, **21**: 59-78.
- SIDDIQUE K.H.M., BELFORD R.K. and TENNANT D.** (1990). Root:shoot ratios of old and modern, all and semi dwarf wheats in a mediterranean environments. *Plant Soil*, **121**: 89-98.
- SIMANE B., PEACOCK J.M. and STRUIK P.C.** (1993). Differences in development and growth rate among drought-resistant and susceptible cultivars of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Plant Soil*, **157**: 155-166.
- SIMMONDS N.W.** (1991). Selection for local adaptation in a plant breeding programme. *Theor. Appl.Genet.*, **82**: 363-367.
- SINCLAIR T.R., TANNER C.B. and BENETT J.M.** (1984). Water-use efficiency in crop production. *Bioscience*, **34**: 36-40.
- SIVAKUMAR M.V.K. and GLINNI A.F.** (2002). Applications of crop growth models in the semi arid regions. In: *Agricultural System Models in Field Research and Technology Transfer*. Ahuha, L.R., Howell, T.A. (Eds.), Lewis Publishers, 178–205.
- SLAFER G.A. and ANDRADE F.H.** (1989). Genetic improvement in bread wheat (*Triticum aestivum*) yield in Argentina. *Field Crop Res.*, **21**: 289-296.
- SLAFER G.A. and ANDRADE F.H.** (1991). Physiological attributes related to the generation of grain yield in bread wheat cultivars released at different areas. *Field Crops Res.*, **31**: 351–367.
- SOLTANI A. and 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.
- SOLTNER D.** (1999). *Les grandes productions végétales*. 19^e ed.
- SRIVASTAVA J.P.** (1987). Barley and wheat improvement for moisture-limiting areas in West Asia and North Africa. In: *Drought in winter cereals*. Srivastava J.P., Porceddu E., Acevedo E., & Varma S. (Eds.), John Willey & Sons, 65-78.
- STEEL R.G.D. and TORRIE J.H.** (1980). *Principles and procedures of statistics, a biometrical approach*. Mc Graw Hill Inc., 633 pp.
- STEWART C.R. and LAHRER F.** (1980). Accumulation of amino acids and related compounds in relation to environmental stress. *Biochemistry of Plants*. Vol. 5, Mifflin B.J. (Eds.), Academic press, New York, 609-635.
- TARDIEU F.** (1996). Drought perception by plants do cells of droughted plants experience water stress? *Plant Growth Regulation*, **20**: 93-104.

-
- TAYLOR H.M. and YAMAUCHI A.** (1991). Opportunities and problems in manipulating cereals root systems. In: "Physiology-Breeding of Winter Cereals for Stressed Environments, Montpellier (France), 3-6 July 1989, Acevedo E., Conesa A.P., Monneveux P. & Srivastava J.P. (Eds.) INRA Paris, Les colloques: **55**: 369-390.
- TENNANT D., SIDDIQUE K.H.M. and PERRY M.W.** (1991). Crop Growth and Water Use. In: The wheat book. A technical manual for wheat producers. 38-50.
- TRETHOWAN R. M., REYNOLDS M., SAYRE K. and ORTIZ-MONASTERIO I.** (2005). Adapting wheat cultivars to resource conserving farming practices and human nutritional needs. *Annals of Applied Biology*, **146**: 405-413.
- TURK K. J. and HALL A.E.** (1980). Drought adaptation of cowpeas. III: Influence of drought on plant growth and relations with seed yield. *Agron. J.* **72**: 428-433.
- VAN OOSTEROM E., CECCARELLI S. and PEACOCK J.M.** (1993). Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments. *J. Agri. Sci.*, **121**: 307-313.
- VARLE T., GRANCHET G. and PLUCHARD R.** (1986). Blé tendre: Jusqu'ou améliorer la productivité. *Cultivar*, **195**: 31-35.
- WESTCOTT B.** (1986). Some methods of analysing genotype-environment interactions. *Heredity*, **56**: 243-253.
- WHAN B.R., DELANE R. and GILMOUR R.F.** (1988). The potential of reduced tillering of wheat in dry environments. In: Proceedings 7 th International Wheat Genetic Symposium, Cambridge. 907-911.
- WORLAND A.J., APENDINO M.L. and SEYERS E.J.** (1994). The distribution, in European winter wheat, of genes that influence eco climatic adaptability whilst determining photoperiodic insensitivity and plant height. *Euphytica*, **80**: 219-228.
- WRICKE G.** (1962). Über Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Z. Pflanzenzuchtg*, **47**: 92-93.
- YAN W. and HUNT L.A.** (2001). Interpretation of genotype x environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Sci.*, **41**: 19-25.
- ZHANG B., HUANG G., CHENG Z.Y. and ZHANG Y.** (2006). Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid area. *Agricultural Water Management*, **79**: 28-42.
- ZOBEL R.W., WRIGHT M.J. and GAUCH H.G.** (1988). Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.*, **80**: 388-393.

ANNEXES

Annexe 1-A . Données climatiques du site du Khroub

Précipitations en (mm) P1 campagne 05/06 et P2 moyenne de la période 90/00, températures moyennes en (°C) T1 05/06 et T2 90/00, nombre de jours de gelées (NJG) et le nombre de jours de sirocco (NJS)

MOIS	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	Total
P1 (mm)	14.4	2.1	18.6	63.1	78.9	50.3	33.4	14.7	83.8	3.6	363.0
P2 (mm)	35.5	36.4	65.8	76.1	63.6	52.7	48.5	55.4	45.0	23.2	502.0
T1 (°C)	21.1	17.8	11.8	7.0	5.5	6.9	11.0	15.6	20.1	24.9	-
T2 (°C)	21.9	16.7	11.4	7.8	6.6	7.7	9.9	12.3	17.7	22.4	-
NJG	-	-	-	1	7	7	7	-	-	-	22
NJS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

Source : Office national de météorologie

Annexe 1-B . Données climatiques du site de Sidi Bel Abbés

Précipitations en (mm) P1 campagne 05/06 et P2 moyenne de la période 90/00, températures moyennes en (°C) T1 05/06 et T2 90/00, nombre de jours de gelées (NJG) et le nombre de jours de sirocco (NJS)

MOIS	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	Total
P1 (mm)	0.0	40.5	83.2	30.1	64.9	85.4	14.7	21.0	11.5	0.0	351.3
P2 (mm)	24.8	23.1	37.8	29.8	42.5	39.3	44.2	33.1	22.5	8.9	306.0
T1 (°C)	22.2	20.1	13.1	9.6	8.2	9.2	13.3	17.4	21.6	23.7	-
T2 (°C)	22.0	17.1	12.7	9.8	8.5	9.8	12.0	13.6	17.9	22.0	-
NJG	-	-	1	8	9	7	2	1	-	-	33
NJS	-	-	-	-	-	-	-	1	4	3	8

Source : Station expérimentale de Sidi Bel Abbés

Annexe 1-C . Données climatiques du site de Sétif

Précipitations en (mm) P1 campagne 05/06 et P2 moyenne de la période 90/00, températures moyennes en (°C) T1 05/06 et T2 90/00, nombre de jours de gelées (NJG) et le nombre de jours de sirocco (NJS)

MOIS	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	Total
P1 (mm)	26.9	22.7	68.7	52.3	61.8	37.4	9.8	42.4	88.0	7.4	417.4
P2 (mm)	57.5	33.9	36.1	43.4	36.1	30.8	30.3	36.5	49.5	21.2	375.4
T1 (°C)	21.1	17.8	11.8	7.0	5.5	6.9	11.0	15.6	20.1	24.9	-
T2 (°C)	20.8	15.2	9.9	6.3	5.3	6.6	8.9	11.0	17.1	22.1	-
NJG	-	-	-	6	22	22	22	20	1	2	95
NJS	-	-	-	-	-	-	-	3	2	3	8

Source : Station expérimentale de Sétif

Annexe 1-D . Données climatiques du site de Saida

Précipitations en (mm) P1 campagne 05/06 et P2 moyenne de la période 90/00, températures moyennes en (°C) T1 05/06 et T2 90/00, nombre de jours de gelées (NJG) et le nombre de jours de sirocco (NJS)

MOIS	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	Total
P1 (mm)	48.1	45.2	87.6	24.8	68.0	77.1	10.9	40.7	78.2	15.1	495.7
P2 (mm)	24.0	36.5	29.0	32.7	30.4	33.4	51.2	33.5	24.6	11.2	306.5
T1 (°C)	21.6	19.2	11.6	7.9	6.7	7.6	12.2	17.0	21.3	24.1	-
T2 (°C)	22.1	16.9	12.2	9.2	7.9	9.2	11.7	13.1	18.0	22.9	-
NJG	-	-	-	15	11	3	2	2	-	-	33
NJS	-	-	-	-	-	-	5	8	3	-	16

Source : Station expérimentale de Saida