

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة الحراش – الجزائر-

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE EL-HARRACH –ALGER

## Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de doctorat L.M.D en sciences  
agronomiques

Département : Productions végétales

## Thème

**Etude de la variabilité génétique de l'orge en  
réponse au milieu : mécanismes d'adaptation et  
interaction génotype x milieu.**

Présentée par : HEBBACHE Hamza

Soutenue le 23/10/2021

### Jury :

Présidente : Mekliche Leila

Professeur (E.N.S.A. El harrach)

Directrice de thèse : Benkherbache Nadjat

MCA (E.N.S.A. El harrach)

Examineur : Benniou Ramdane

Professeur (Université Mohamed Boudiaf M'sila)

Examinatrice : Lassouane Nassima

MCA (E.N.S.A. El harrach)

Examinatrice : Lallouche Bahia

MCA (Université Mohamed Boudiaf M'sila)

2017-2021

## *Remerciements*

*Avant toute chose, Louanges et Gloire à ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné la volonté, le courage et surtout la patience pour surmonter les nombreuses difficultés rencontrées durant toutes ces années d'études.*

*Je tiens à remercier infiniment, Madame Benkherbache Nadjat, pour m'avoir guidé dans l'élaboration de ce modeste travail par sa gentillesse, ses orientations, ses indications précieuses, et pour le temps qu'elle m'a consacré.*

*Je tiens à exprimer ma vive gratitude et mon profond remerciement à Madame MEKLICHE Leila d'avoir accepté de présider ce jury.*

*Mes remerciements vont aussi au professeur Benniou Ramdane, Mme Lassouane Nassima et Mme Lallouche Bahia d'avoir pris sur le temps pour examiner et juger ce travail.*

*Mes remerciements les plus sincères s'adressent à Bouchakour Meriem pour son aide et sa contribution dans l'élaboration de ce modeste travail.*

*Je suis très reconnaissant envers mes très chers parents, ma sœur, mes frères, ainsi qu'à toute la famille pour leur encouragement et leur soutien durant mon parcours.*

*Au terme de ce travail, je voudrais exprimer toute ma reconnaissance aux personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

*Hamza*

## *Dédicaces*

*A ceux qui m'ont soutenu jour et nuit et qui ont œuvré pour ma réussite, de par leur amour, leur soutien, tous les sacrifices consentis et leurs précieux conseils, reçoivent à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

*A vous mes chers parents*

*A mes chers frères*

*A ma chère et unique sœur*

*A toute la famille : HEBBACHE*

*A mes chers et aimables amis*

*A ceux que j'aime et qui m'aiment*

*Hamza*

## Résumé

Un des principaux enjeux chez les nouvelles obtentions d'orge consiste à assurer un rendement élevé et plus stable surtout en zone semi-arides avec la présence de l'interaction génotype environnement. C'est dans ce contexte que nous avons opté pour étudier cette interaction avec la réponse des génotypes d'orge au stress hydrique pour identifier ceux les plus productifs et les plus stables et définir les mécanismes de tolérance adoptés par les génotypes. Deux essais ont été installés durant les campagnes agricoles 2017/2018 et 2018/2019 au niveau de l'école nationale supérieure agronomique à Alger et au niveau de l'institut technique des grandes cultures à Sétif ; Un deuxième essai a été conduit sous serre consiste à étudier la réponse des génotypes sous stress hydrique appliqué au stade épiaison. A l'issue de ce travail, Express et Rahma sont les plus productifs à Alger et à Sétif respectivement ; ils se caractérisent par la précocité à l'épiaison, le faible nombre d'épillets stériles, la biomasse aérienne et au stade épiaison, avec un indice de récolte et un tallage importants. Jaidor et Acsad176 sont plus précoces pour l'épiaison à Alger et à Sétif respectivement. Tissa et Soufara'S donnent plus d'épis par mètre carré ; Express et Begonia donnent plus de grains par épi. Tandis que, Saïda donne un poids de mille grains important. Le modèle AMMI indique que Plaisant / Charan01 présente une large adaptation et une forte stabilité de rendement. Les résultats montrent qu'Acsad176 est plus productif en condition de stress hydrique grâce au maintien des pigments chlorophylliens  $a+b$  et la synthèse de la proline et des sucres solubles ; chose qui a été noté chez Barberousse/Chorokhod. De plus, la teneur relative en eau, la stabilité membranaire et la hauteur de la tige sont aussi des critères de sélection. En fait, l'accumulation des caractères souhaités dans un génotype n'est pas assez facile ; cependant, l'étude moléculaire donne plus d'information.

**Mots clé :** Orge, interaction génotype x environnement, adaptation, stress hydrique, tolérance, stabilité de rendement.

## **Abstract**

One of the main challenges with new varieties of barley is to ensure a high and more stable yield, especially in semi-arid areas with the presence of the genotype environment interaction. It is in this context that we opted to study this interaction with the response of barley genotypes to drought stress, to identify the most productive and stable ones and to define the tolerance mechanisms adopted by the genotypes. Two trials were carried out during the 2017/2018 and 2018/2019 agricultural seasons at the high national school of agronomy in Algiers and at the field crops institute in Setif; A second trial was carried out in a greenhouse consists on studying the response of genotypes under water deficit stress applied at the heading stage. As a result of this work, Express and Rahma are the most productive in Algiers and Setif respectively; they are characterized by earliness at heading, low number of sterile spikelets, aerial biomass and at the heading stage, with a high harvest index and tillering. Jaidor and Acsad176 are earlier for heading in Algiers and Setif respectively. Tissa and Soufara'S give more ears per square meter; Express and Begonia produce more kernels per ear. While, Saïda gives an important thousand grain weight. The AMMI model indicates that Plaisant / Charan01 presents a wide adaptation and a high stability of yield. The results show that Acsad176 is more productive under water deficit stress conditions because it maintain the chlorophyll pigments  $a + b$  and it synthesizes proline and soluble sugars; something that was noted at Barberousse / Chorokhod. In addition, the relative water content, membrane stability and stem height are also selection criteria. In fact, accumulating the desired traits in a genotype is not easy enough; however, the molecular study provides more information.

**Keywords:** Barley, genotype environment interaction, adaptation, drought stress, tolerance, yield stability.

## ملخص

تتمثل أحد التحديات الرئيسية عند أصناف الشعير الجديدة في ضمان محصول مرتفع وأكثر استقرارًا، خاصة في المناطق شبه الجافة مع وجود تفاعل النمط الجيني والبيئة. في هذا السياق اخترنا دراسة هذا التفاعل مع استجابة الانماط الجينية للشعير للإجهاد المائي لتحديد أكثرها إنتاجية واستقرارًا وتحديد آليات التحمل التي تعتمد عليها الانماط الجينية. أجريت تجربتان خلال موسمي 2018/2017 و 2019/2018 على مستوى المدرسة الوطنية العليا للفلاحة بالعاصمة والمعهد التقني للمحاصيل الحقلية بسطيف؛ تم إجراء الاختبار الثاني في صوبة ويتكون من دراسة استجابة الانماط الجينية تحت تأثير الاجهاد المائي المطبق في مرحلة التسبيل. ونتيجة لهذا العمل، فإن Express و Rahma هما الأكثر إنتاجية في الجزائر العاصمة وسطيف على التوالي؛ تتميزان بقدرتهما على التبكير، وانخفاض عدد السنبيلات العقيمة، والكتلة الحيوية الهوائية في مرحلة التسبيل، مع ارتفاع مؤشر الحصاد والتفريع. Jaidor و Acsad176 بيكران في الجزائر العاصمة وسطيف على التوالي. تنتج Tissa و Soufara'S سنابل أكثر لكل متر مربع؛ تنتج Express و Begonia المزيد من الحبات لكل سنبلة. بينما تعطي Saida وزنًا مهمًا لألف حبة. يشير نموذج AMMI إلى أن Plaisant / Charan01 يقدم تكييفًا واسعًا وثباتًا عاليًا في المحصول. أظهرت النتائج أن Acsad176 أكثر إنتاجية في ظل ظروف الإجهاد المائي بفضل الحفاظ على أصباغ الكلوروفيل  $a + b$  كما تنتج البرولين والسكريات القابلة للذوبان؛ شيء لوحظ في Barberousse / Chorokhod. بالإضافة إلى ذلك، فإن المحتوى المائي النسبي للورقة واستقرار الغشاء وارتفاع الساق تمثل أيضًا معايير انتقاء. في الواقع، إن تجميع الصفات المرغوبة في نمط جيني ليس بالأمر السهل؛ ومع ذلك، توفر الدراسة الجزيئية مزيدًا من المعلومات.

**كلمات مفتاحية:** شعير، تفاعل النمط الجيني والبيئة، تأقلم، إجهاد مائي، التحمل، استقرار المحصول.

# Sommaire

Liste des tableaux.....	1
Liste des figures .....	2
Liste des abréviations.....	6
Introduction .....	8
Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.....	11
1.1. Importance et utilisation de l'orge .....	11
1.2. Origine de l'orge.....	11
1.2.1 Origine génétique.....	11
1.2.2 Origine géographique .....	11
1.3. Classification de l'orge .....	12
1.4. Morphologie .....	13
1.5. Le cycle de développement.....	14
1.5.1. La période végétative.....	15
1.5.2. La période reproductrice.....	15
1.6. Aires de production .....	16
1.7. Exigence de l'orge.....	17
1.8. Stratégies de sélection chez les céréales .....	17
1.8.1. Sélection pour la tolérance aux stress abiotiques.....	17
1.8.2. Sélection pour le rendement .....	18
1.8.3. Sélection pour l'adaptation .....	19
1.9. Les interactions entre génotypes et environnements en sélection .....	19
1.9.1. Notion d'interaction génotype x environnement.....	19
1.9.2. Importance de l'interaction génotype x environnement.....	20
1.9.3. Notion de stabilité .....	20
1.10. Le modèle AMMI .....	21
1.11. Etude de l'effet du stress hydrique .....	23
1.11.1. La sélection pour la tolérance au stress hydrique .....	23
1.11.2 Stress hydrique .....	24
1.11.3. Mécanismes d'adaptation des céréales à la sécheresse.....	25
Chapitre 2 : Matériel et méthodes.....	33
2.1 Objectif de l'essai .....	33
2.2. Etude de l'interaction génotype x environnement.....	33
2.2.1. Présentation des sites expérimentaux.....	33
2.2.2. Conditions édaphiques .....	34

2.2.3. Conditions climatiques .....	35
2.2.4. Matériel végétal .....	37
2.2.5. Dispositif expérimental .....	38
2.2.6. Conduite de l'essai .....	38
2.2.7. Paramètres mesurés.....	38
2.2.8. Analyses statistiques .....	41
2.3. Etude de la réponse au stress hydrique .....	42
2.3.1. Matériel végétal et conditions expérimentales .....	42
2.3.2. Paramètres mesurés.....	43
2.3.3. Analyses statistiques .....	50
<b>Chapitre 3 : Résultats et discussion.....</b>	<b>51</b>
3.1 Etude de l'interaction génotype x environnement .....	51
3.1.1. Analyse de la variance .....	51
3.1.2 Analyse du rendement en grain par le model AMMI.....	72
3.1.3. Etude des corrélations .....	78
3.1.4. Discussion.....	82
3.1.5. Conclusion sur l'étude de l'interaction genotype x environnement .....	84
3.2. Etude de réponse au stress hydrique .....	85
3.2.1. Analyse de la variance .....	85
3.2.2. Estimation des pertes liées au stress hydrique .....	101
3.2.3. Discussion.....	104
3.2.4. Analyse en composantes principales .....	106
3.2.5. Discussion.....	112
3.2.6. Conclusion sur l'étude de l'effet de stress hydrique .....	114
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>115</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>118</b>
<b>Annexe 1.....</b>	<b>139</b>
<b>Annexe 2.....</b>	<b>140</b>
<b>Annexe 3.....</b>	<b>142</b>
<b>Annexe 4.....</b>	<b>172</b>
<b>Annexe 5.....</b>	<b>178</b>
<b>Annexe 6.....</b>	<b>180</b>



## Liste des tableaux

Tableau 1	Résultats d'analyse du sol des deux sites expérimentaux	27
Tableau 2	Description des géotypes étudiés	30
Tableau 3	Fertilisation foliaire des géotypes testés durant l'expérimentation	36
Tableau 4	Analyse de la variance combinée du model AMMI pour le rendement en grain des géotypes	65
Tableau 5	Valeur de stabilité AMMI de rendement en grain et le classement des 17 géotypes d'orge	70
Tableau 6	Position et contribution de différents variables sur les deux axes de l'ACP	104
Tableau 7	Position et contribution de différents géotypes sur les deux axes de l'ACP	105

## Liste des figures

Figure 1	Carte de l'est de la Méditerranée illustrant le Croissant fertile et la zone centrale présumée de la domestication de l'orge au Proche-Orient (Lev-Yadun sensu <i>et al.</i> 2000) dans le sud-est actuel de la Turquie / nord de la Syrie	5
Figure 2	Essais d'interaction genotype x environnement à Alger (à gauche stade plein remplissage) et à Sétif (à droite stade début de remplissage)	26
Figure 3	Précipitations moyennes mensuelles à Alger (ITGC, 2020)	28
Figure 4	Précipitations moyennes mensuelles à Sétif (ITGC, 2020)	28
Figure 5	Températures moyennes mensuelles à Alger (ITGC, 2020)	29
Figure 6	Températures moyennes mensuelles à Sétif (ITGC, 2020)	29
Figure 7	Mesure de la surface foliaire	32
Figure 8	Conduite de l'essai de stress hydrique sous serre	35
Figure 9	Détermination de la teneur relative en eau	38
Figure 10	Mesure de la stabilité membranaire	39
Figure 11	Mesure de la teneur en chlorophylle	39
Figure 12	Dosage de la teneur en proline	40
Figure 13	Dosage des sucres solubles	41
Figure 14	Précocité à l'épiaison des génotypes dans les deux sites	44
Figure 15	Date de maturation des génotypes dans les deux sites	45
Figure 16	Nombre de plants par mètre carré des génotypes dans les deux sites	45
Figure 17	Nombre de talles par mètre carré des génotypes dans les deux sites	46
Figure 18	Nombre talles par plants des génotypes dans les deux sites	46
Figure 19	Nombre d'épis par plant des génotypes dans les deux sites	47
Figure 20	Nombre d'épis par mètre carré des génotypes dans les deux sites	47
Figure 21	Nombre de grains par épi des génotypes dans les deux sites	48
Figure 22	Poids de mille grains des génotypes dans les deux sites	48
Figure 23	Nombre d'épillets stériles par épis des génotypes dans les deux sites	49
Figure 24	Rendement estimé des génotypes dans les deux sites	49
Figure 25	Rendement réel des génotypes dans les deux sites	50
Figure 26	Biomasse aérienne des génotypes dans les deux sites	50

Figure 27	Indice de récolte des génotypes dans les deux sites	51
Figure 28	Biomasse des tiges à l'épiaison des génotypes dans les deux sites	52
Figure 29	Biomasse des feuilles à l'épiaison des génotypes dans les deux sites	53
Figure 30	Biomasse des épis à l'épiaison des génotypes dans les deux sites	53
Figure 31	Biomasse totale à l'épiaison des génotypes dans les deux sites	53
Figure 32	Hauteur de la tige des génotypes dans les deux sites	54
Figure 33	Longueur du col de l'épi des génotypes dans les deux sites	55
Figure 34	Longueur de l'épi des génotypes dans les deux sites	55
Figure 35	Longueur des barbes des génotypes dans les deux sites	56
Figure 36	Poids de l'épi des génotypes dans les deux sites	56
Figure 37	Poids des grains de l'épi des génotypes dans les deux sites	57
Figure 38	Nombre de feuilles par tige principale des génotypes dans les deux sites	57
Figure 39	Surface foliaire des génotypes dans les deux sites	58
Figure 40	Teneur en chlorophylle <i>a</i> des génotypes dans les deux sites	59
Figure 41	Teneur en chlorophylle <i>b</i> des génotypes dans les deux sites	59
Figure 42	Teneur en chlorophylle <i>a+b</i> des génotypes dans les deux sites	59
Figure 43	Biplot AMMI 1 pour le rendement en grain des génotypes (Alg17 / 18 = Alger 2017/2018, Set 2017/2018 = Sétif 2017/2018, Alg 2018/2019 = Alger 2018/2019, Set 2018/2019 = Setif 2018/2019, tch = Tichedrett, tina = Tina, souf = Soufara's, acsad = Acsad176, bar = Barberousse, rihane = Rihane, rahma = Rahma, beg = Begonia, plai = Plaisant, jaid = Jaidor, exp = Express, tiss = Tissa, sai = Saida, elfo = Elfoura, elb = Elbahia, bar/ch = Barberousse / Chorokhod, pl / cha = Plaisant / Charan0	67
Figure 44	Biplot AMMI 2 pour le rendement en grain montrant les génotypes sur l'axe IPCA1 et IPCA2 (Alg17 / 18 = Alger 2017/2018, Set 2017/2018 = Sétif 2017/2018, Alg 2018/2019 = Alger 2018/2019 Set 2018 / 2019 = Sétif 2018/2019, tch = Tichedrett, tina = Tina, souf = Soufara's, acsad = Acsad176, bar = Barberousse, rihane = Rihane, rahma = Rahma, beg = Begonia, plai = Plaisant, jaid = Jaidor, exp = Express , tiss = Tissa, sai = Saida, elfo = Elfoura, elb = Elbahia, bar / ch = Barberousse / Chorokhod, pl / cha = Plaisant / Charan01)	68
Figure 45	Date de maturation des génotypes sous les deux traitements	78
Figure 46	Nombre d'épis par pot des génotypes sous les deux traitements	79

Figure 47	Nombre de grains par pot des génotypes sous les deux traitements	80
Figure 48	Nombre de grains par épi des génotypes sous les deux traitements	80
Figure 49	Nombre d'épillets stérile par épi des génotypes sous les deux traitements	81
Figure 50	Poids de mille grains des génotypes sous les deux traitements	82
Figure 51	Rendement réel par pot des génotypes sous les deux traitements	82
Figure 52	Rendement estimé par hectare des génotypes sous les deux traitements	83
Figure 53	Biomasse aérienne par pot des génotypes sous les deux traitements	83
Figure 54	Indice de récolte des génotypes sous les deux traitements	84
Figure 55	Hauteur de la tige des génotypes sous les deux traitements	85
Figure 56	Longueur de l'épi des génotypes sous les deux traitements	85
Figure 57	Longueur des barbes des génotypes sous les deux traitements	85
Figure 58	Longueur de col de l'épi des génotypes sous les deux traitements	86
Figure 59	Poids de l'épi des génotypes sous les deux traitements	86
Figure 60	Poids des grains de l'épi des génotypes sous les deux traitements	87
Figure 61	Poids total des épis des génotypes sous les deux traitements	87
Figure 62	Nombre de feuilles par tige principale des génotypes sous les deux traitements	87
Figure 63	Surface foliaire des génotypes sous les deux traitements	89
Figure 64	Longueur de la feuille la plus longue des génotypes sous les deux traitements	90
Figure 65	Largeur de la feuille la plus large des génotypes sous les deux traitements	90
Figure 66	Volume racinaire des génotypes sous les deux traitements	91
Figure 67	Biomasse racinaire des génotypes sous les deux traitements	91
Figure 68	Rapport racinaire des génotypes sous les deux traitements	91
Figure 69	Teneur relative en eau des génotypes sous les deux traitements	92
Figure 70	Stabilité membranaire des génotypes sous les deux traitements	93
Figure 71	Teneur en chlorophylle <i>a</i> des génotypes sous les deux traitements	93
Figure 72	Teneur en chlorophylle <i>b</i> des génotypes sous les deux traitements	93
Figure 73	Teneur en chlorophylle <i>a+b</i> des génotypes sous les deux traitements	94
Figure 74	Teneur en proline des génotypes sous les deux traitements	95
Figure 75	Volume racinaire des génotypes sous les deux traitements	95

Figure 76	Analyse en composantes principales des variables mesurées	101
Figure 77	Analyse en composantes principales des géotypes étudiés (1= Tichedrett ; 2= Tina ; 3= Soufara'S ; 4= Acsad 176 ; 5= Barberousse ; 6= Rihane ; 7= Rahma, 8= Begonia ; 9= Plaisant ; 10= Jaidor ; 11= Express ; 12= Tissa ; 13= Saïda ; 14= El Fouara ; 15= El Bahia ; 16= Barberousse/Chorokhod ; 17= Plaisant /Charan01)	102
Figure 78	Analyse en composante principales de l'ensemble des variables mesurés et les géotypes testés (1= Tichedrett ; 2= Tina ; 3= Soufara'S ; 4= Acsad 176 ; 5= Barberousse ; 6= Rihane ; 7= Rahma, 8= Begonia ; 9= Plaisant ; 10= Jaidor ; 11= Express ; 12= Tissa ; 13= Saïda ; 14= El Fouara ; 15= El Bahia ; 16= Barberousse/Chorokhod ; 17= Plaisant /Charan01)	103

## Liste des abréviations

PEP : Précocité à l'épiaison

DM : Date de maturité

NPM : Nombre de plantes par mètre carré

NTM : Nombre de talles par mètre carré

NTP : Nombre de talles par plante

PTF : Pourcentage de talles fertiles par plante

NEM : Nombre d'épis par mètre carré

NEP : Nombre d'épis par plante

NGE : Nombre de grains par épis

NGP : Nombre de grains par pot

NESE : Nombre d'épillets stériles par épi

PMG : Poids de mille grains

RR : Rendement en grain réel

RE : Rendement en grain estimé

BA : Biomasse aérienne

IR : Indice de récolte

BTE : Biomasse des tiges à l'épiaison

BFE : Biomasse des feuilles à l'épiaison

BEE : Biomasse des épis à l'épiaison

BE : Biomasse totale à l'épiaison

HT : Hauteur de la tige

LE : Longueur de l'épi

LB : Longueur des barbes

LC : Longueur du dernier entre-noeud

NF : Nombre de feuilles de la tige principale

PE : Poids de l'épi

PGE : Poids de grains de l'épi

SF : La surface foliaire

Ca : Teneur en chlorophylle *a*

Cb : Teneur en chlorophylle *b*

Cab : Teneur en chlorophylle *a+b*

LOFLO : Longueur de la feuille la plus longue

LAFLA : Largeur de la feuille la plus large

VR : Volume racinaire

BR : Biomasse racinaire

RAR : Rapport racinaire

TRE : Teneur relative en eau

SM : Stabilité membranaire

TPR : Teneur de la proline

TSS : Teneur en sucres solubles

ASV: Additive Main effect and Multiplicative Interaction Stability Value

## Introduction

L'orge est l'une des cultures les plus anciennes et les plus importantes dans le monde, elle occupe le quatrième rang parmi les céréales, après le maïs, le riz et le blé en termes de superficies cultivées (Zeybek *et al.*, 2017) et elle est parmi les espèces les plus cultivées dans beaucoup de pays du monde (Thameur *et al.*, 2011). L'orge est utilisée sous diverses formes pour alimenter le cheptel : en vert, le grain et la paille (Bouzerzour *et al.*, 1996 ; Moussab, 2007), et rentre dans l'alimentation humaine (ITGC, 2013).

En Algérie, l'orge occupe la troisième place après le blé dur et le blé tendre. Toutefois, sa culture est confrontée à des contraintes d'ordre climatiques et techniques (Menad *et al.*, 2011). Elle est cultivée dans tous les étages bioclimatiques mais principalement dans les régions semi-arides, une aire de culture caractérisée par une irrégularité des précipitations tout au long de la saison de culture, souvent accompagnées par des températures élevées en fin de cycle (Hanifi-Mekliche et Touadi, 1998).

Face aux potentialités de l'espèce, la production de l'orge est faible et surtout, variable dans l'espace et dans le temps (Menad *et al.*, 2011). Le rendement moyen de l'orge est de 12,8 q/ha (ONFAA, 2015). Le rendement dépend de plusieurs caractères et facteurs et il est essentiel d'identifier dans un milieu donné, les plus importants, d'identifier les relations existantes entre eux et les améliorer (Fossati, 1995).

Le recours à la sélection de variétés plus performantes est confrontée à la présence d'interaction génotype  $\times$  environnement significative, qui réduit son efficacité (Menad *et al.*, 2011). En présence d'interaction génotype  $\times$  environnement, la sélection vise à identifier les génotypes à fort potentiel de production associé à la tolérance au stress, ce qui permet d'avoir une bonne stabilité des performances (Adjabi *et al.*, 2016).

En opposition avec la recherche d'une large adaptation, la stratégie d'exploitation des interactions génotype  $\times$  environnement vise une adaptation spécifique, dans le but d'identifier des variétés performantes dans des environnements particuliers (Delphine, 2016). La sélection variétale s'intéresse, également, à la compréhension des réponses variétales aux stress environnementaux pour exploiter les interactions génotype  $\times$  environnement et développer des variétés adaptées localement, et face au changement climatique, (Delphine, 2016).

A cause de l'importance de l'orge, divers efforts d'amélioration génétique ont été entrepris afin de développer des cultivars qui répondent bien aux attentes des producteurs et



des utilisateurs. En effet, la recherche du potentiel génétique de rendement vient au détriment de la stabilité des performances et de la tolérance aux stress (Annichiarico *et al.*, 2006; Reynolds *et al.*, 2005; Menad *et al.*, 2011; Meziani *et al.*, 2011).

Les stress environnementaux, tels que le déficit hydrique et les hautes températures, affectent la croissance et le rendement des plantes. Ils ont un impact majeur sur la croissance et le développement des cultures et sur le rendement (Whitmore et Whalley 2009 ; Nezhadahmadi *et al.* 2013). Cependant, les plantes ont développé des stratégies d'adaptation pour répondre à ces changements en ajustant leurs systèmes métaboliques (Oukarroum, 2007). Les mécanismes de tolérance aux stress hydrique sont très complexes et la compréhension du fonctionnement de ces mécanismes contribue dans l'amélioration de la tolérance de l'orge vis-à-vis du stress hydrique (Roy *et al.*, 2011).

Dans les milieux à forte interaction génotype x environnement, l'apport de nouvelles obtentions est peu perceptible, irrégulier avec parfois des effets négatifs, en raison de leur sensibilité aux effets du stress abiotique (Witcombe *et al.*, 2009). Un grand nombre de facteurs sont liées à la recherche sur les mécanismes qui contrôlent l'adaptation et la tolérance chez les plantes. Ces facteurs agissent au niveau de la cellule et sur la plante entière (Wang *et al.*, 2003).

La réduction de l'activité photosynthétique à cause du stress hydrique induit le plus souvent une réduction de la production économique (Condon *et al.*, 2002).

De nombreuses études ont été conduites pour mieux comprendre les mécanismes impliqués et identifier les caractères qui peuvent être utilisés comme critères de sélection à la tolérance au stress hydrique (Fleury *et al.*, 2010 ; Richards *et al.*, 2010). De ce fait, l'amélioration de la résistance aux stress abiotiques a été depuis longtemps un des principaux objectifs de l'amélioration des plantes et pour qu'elle soit efficace, la sélection doit s'appuyer sur des caractéristiques qui sont étroitement liées au rendement, et pouvant être utilisées comme critères de sélection indirecte pour le rendement en grain.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude, qui a pour but :

- ✓ D'analyser l'adaptation agro-morphologique, phénologique et physiologique des génotypes d'orge et d'évaluer la signification de l'interaction génotype x environnement sur le comportement des génotypes testés. Un éclaircissement est apporté par la présente étude sur les mécanismes d'adaptation adoptés par les différents génotypes pour les utiliser comme critères de sélection. Cette étude permet d'identifier les génotypes les

plus productifs et ceux les plus stables pour les recommander à chaque environnement testé.

- ✓ D'analyser aussi la réponse des géotypes soumis à un stress hydrique pour définir et mieux comprendre les mécanismes de tolérance mis en œuvre chez les géotypes d'orge pour réduire les risques de voir les organes reproducteurs affecté par la sécheresse. Identifier les caractères précieux et gérables qui permettent la sélection des nouvelles obtentions dans de telle condition ; sélectionner les géotypes qui tolèrent le stress hydrique présentant une bonne stabilité de rendement et ceux avec une forte production en condition de déficit hydrique ; afin de les commercialiser dans le marché national et même de les introduire dans les futurs programmes d'amélioration afin d'augmenter la production nationale.

## **Chapitre 1 : Synthèse bibliographique**

### **1.1. Importance et utilisation de l'orge**

En Algérie, le blé et l'orge tiennent une place de premier ordre, parmi les plantes cultivées (Chouaki, 2006). Ils constituent l'une des principales filières de la production agricole locale (Djermoun, 2009). Et ce n'est qu'au début du dix-neuvième siècle que l'orge est venue à la tête des cultures (Rahal-Bouziane *et al.*, 2015).

L'orge est cultivée pour son grain, destiné à l'alimentation animale et humaine, mais également pour sa production de fourrage vert (pâturage ou ensilage) et sec (Boufenar-Zeghouane et Zeghouane, 2006). Elle est souvent cultivée en association avec d'autres espèces (légumineuses) et conservée en foin ou en ensilage.

Actuellement, l'orge représente le principal aliment du mouton, cultivée sur une superficie variant de 35 à 40 % de la superficie réservée aux grandes cultures. Elle est utilisée dans l'alimentation des ovins et couvre un taux de 90% du besoin national en orge, les 10% restant sont utilisés dans l'alimentation humaine (Benmahammed, 2004). Dans l'alimentation humaine, l'orge est utilisée pour la fabrication de galettes de pain sans levain ou pour la fabrication de pain en mélange avec la farine de blé (ITGC, 2013).

### **1.2. Origine de l'orge**

#### **1.2.1 Origine génétique**

L'ancêtre de l'orge cultivée *Hordeum vulgare* ssp. *vulgare* est *Hordeum vulgare* L. ssp. *spontaneum* (Ch. Koch) Thell. (Shakhathreh *et al.*, 2010). Cet ancêtre est une herbe sauvage, bien adaptées au climat aride, et moins tolérant au froid. Il arrive à maturité plus tôt que les autres céréales sauvages (Benes *et al.*, 2011). C'est une orge à deux rangs, elle est considérée comme étant la première étape de l'évolution de l'orge cultivée. L'orge sauvage, *H. agriocrithon* est considérée comme étant la deuxième étape de l'évolution de l'espèce, alors que la forme cultivée constitue la troisième et dernière étape (Ceccarelli *et al.*, 2007).

Au cours de sa domestication, l'orge a accumulé progressivement des caractères qui ont facilité sa production agricole, dont le plus important est le rachis non fragile qui facilitait sa récolte sans perte de grains (Pourkheirandish et Komatsuda, 2007 ; Gimenez *et al.*, 2015).

#### **1.2.2 Origine géographique**

Wang *et al.* (2008) ont défini le centre d'origine d'une plante comme la région où sa première domestication a été mise en place et là où ses ancêtres sauvages et les espèces

cultivées dérivées coexistent. La région ayant le plus haut niveau de diversité génétique est également le centre d'origine de l'orge cultivée.

Le Croissant Fertile du Proche-Orient (figure 1) est bien reconnu comme un centre primaire d'origine, de diversité et de la domestication de l'orge (Dai *et al.*, 2012). Il comprend : la Palestine, une partie de la Jordanie, le Liban, la Syrie, le Sud-Est de la Turquie, le Nord de l'Irak et les montagnes de Zagros dans l'Ouest de l'Iran (Backes *et al.*, 2006 ; Zohary *et al.*, 2012).

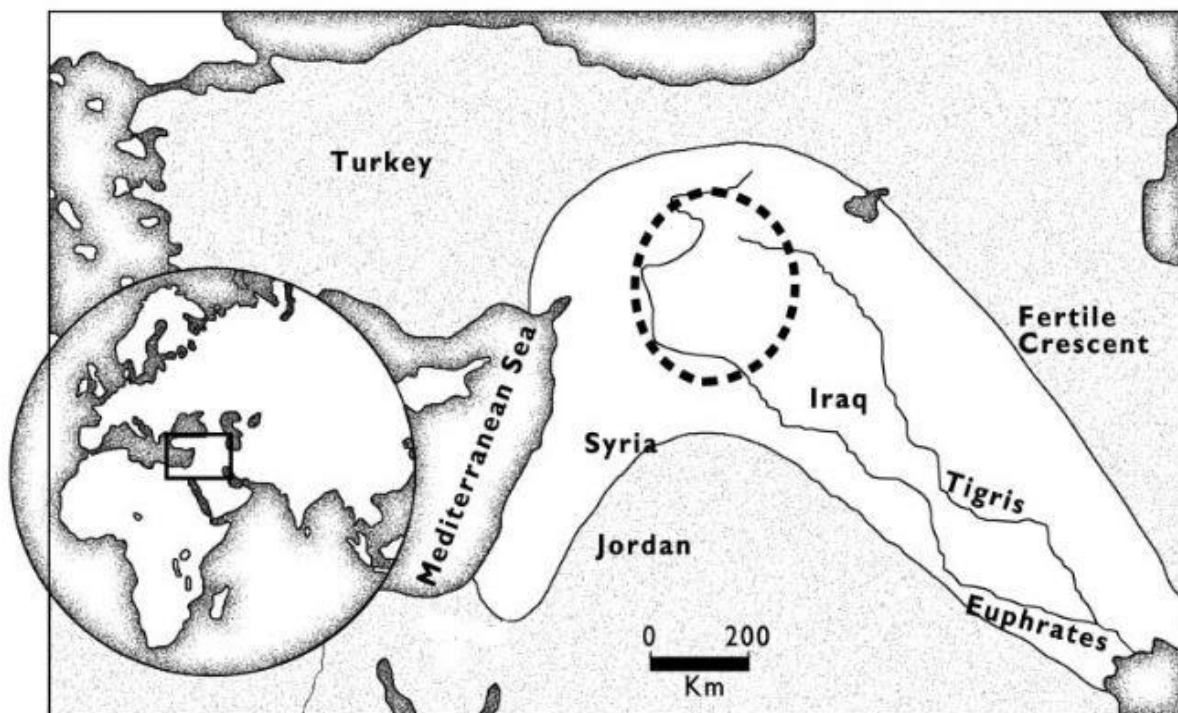


Figure 1. Carte de l'est de la Méditerranée illustrant le Croissant fertile et la zone centrale présumée de la domestication de l'orge au Proche-Orient (Lev-Yadun *sensu et al.* 2000) dans le sud-est actuel de la Turquie / nord de la Syrie.

### 1.3. Classification de l'orge

L'orge est une céréale annuelle autogame et diploïde ( $2n = 2x = 14$ ), appartenant au genre *Hordeum* de la famille des *Poacées* et la tribu *Triticeae* avec le blé et le seigle (Kishore *et al.*, 2016).

Sur la base des critères morphologiques, le genre *Hordeum* est divisé en quatre sections : *Hordeum*, *Anisolepis*, *Critesion* et *Stenostachys* (Amer *et al.*, 2013), dont six espèces sont répertoriées dans la section *Hordeum* (Newman et Newman, 2008).

Le genre *Hordeum* comporte 34 espèces, dont une seule est cultivée pour son grain et est diploïde ( $2n = 14$ ). Il existe, aussi, des espèces sauvages tétraploïdes ou hexaploïdes (Doré et Varoquaux, 2006). D'après Benes *et al.* (2011), les espèces du genre *Hordeum* se divisent en 3 groupes :

- ❖ le groupe diploïde à  $2n = 14$ . Les espèces appartenant à ce groupe sont :
  - les formes sauvages : *Hordeum agriocrithon*, *H. spontaneum*, *H. murinum*, *H. californicum*...
  - les formes cultivées : *Hordeum vulgare* L.
- ❖ le groupe tétraploïde à  $2n = 28$ , représenté par *Hordeum bulbosum*, *H. jubatum*...
- ❖ le groupe hexaploïde à  $2n = 42$ , représenté par *Hordeum nodosum*, *H. arizonicum*...

L'orge est classée aussi comme une orge de printemps ou d'hiver, à deux rangs ou à six rangs, nu ou vêtu par la présence ou l'absence des glumelles adhérentes au grain, et selon le type d'utilisation finale soit orge de maltage ou destinée à l'alimentation animale (Baik et Ullrich, 2008).

#### 1.4. Morphologie

L'orge dispose au cours de son développement, de deux systèmes racinaires successifs : Un système racinaire primaire ou séminale, constitué d'une racine principale et de deux paires de racines latérales (Moule, 1971). Il est fonctionnel dès la germination (Monneveux, 1992) ; et un système racinaire secondaire ou adventif développé à partir de la couronne de la plante et il est étroitement lié au développement des talles (Fettell *et al.*, 2010). Ce système se substitue progressivement au précédent. Il est de type fasciculé (INA-PG, 2003).

La tige est creuse formée d'entre-nœuds, séparés par des nœuds et chaque nœud constitue le point d'attache d'une feuille (Moule, 1971). En général, il y a cinq à sept entre-nœuds qui s'allongent, dont l'entre-nœud basal est le plus court et le plus grand en diamètre (Fettell *et al.*, 2010). La tige de l'orge est plus souple que celle du blé, ce qui entraîne une sensibilité à la verse (Simon *et al.*, 1989).

La feuille de l'orge est assez étroite et d'un vert clair, avec deux stipules largement développées et embrassantes à l'endroit où le limbe se détache de la tige, et une courte ligule dentée appliquée contre la tige (Clément-Grandcourt et Prats, 1971). Les feuilles sont

linéaires, de 5 à 15 mm de largeur, disposées d'une façon alterné sur la tige et comprennent une portion inférieure enveloppant l'entre-nœud correspondant à la gaine (INA-PG, 2003).

L'inflorescence de l'orge est un épi, elle est indéterminée parce que l'axe (rachis) ne se termine pas par un épillet (Newman et Newman, 2008). L'axe central de l'épi, le rachis, est composé de nœuds et d'entre-nœuds sur lesquels s'attachent les épillets qui sont susceptibles de se développer ensuite en grains. Un épillet d'orge est composé d'une seule fleur qui est entouré par une glumelle inférieure (lemme) et une glumelle supérieure (paléole) et deux glumes étroites (Horsley *et al.*, 2009). L'orge est une plante autogame donc la fécondation est interne (Simon *et al.*, 1989).

D'après Soltner (2005), on en distingue 2 types d'orge selon la forme de leur épi :

- L'orge à 2 rangs ou l'orge distique, à épi aplati composé de 2 rangées d'épillets fertiles, un sur chaque axe du rachis, entouré de 4 épillets stériles.
- L'orge à 6 rangs ou orge hexastique, encore appelé escourgeon, a une section rectangulaire : sur l'axe du rachis les 3 épillets sont fertiles. De ce fait les grains sont un peu plus petits.

Le grain est un caryopse vêtu (les enveloppes restent attachées ou soudées au grain après battage). Cependant, des variétés à grains nus existent (Simon *et al.*, 1989). Il est généralement plus gros et plus pointu que celui de blé, bien qu'il ne soit pas moins large avec un sillon sur la face ventrale (Kent et Evers, 1994). En général, le grain d'orge a une couleur jaune clair ou blanc cassé (Baik et Ullrich, 2008).

Selon Boulal *et al.* (2007), le caryopse nu, sans glumelles est constitué de trois parties :

- le tégument : il constitue la membrane du caryopse et il est composé du péricarpe et d'une couche à aleurone.
- le germe : il est situé à l'extérieur du grain et il est composé de l'embryon et d'un cotylédon.
- l'albumen : il représente la plus grande partie du caryopse (80 à 90 %). C'est le tissu de réserve de la graine et il est constitué de cellules remplies de grains d'amidon.

### **1.5. Le cycle de développement**

L'orge a un cycle de croissance plus rapide que celui du blé, il s'étend sur 130 à 150 jours au lieu de 250 à 280 pour le blé (Clément-Grandcourt et Prats, 1971).

### **1.5.1. La période végétative**

La période végétative s'étend du stade GS 0 au stade GS 37 selon Zadoks *et al.* (1974). Elle comporte :

#### **1.5.1.1. La phase semis-levée**

La germination se traduit par la sortie des racines séminales de la coléorhize et à l'opposé, par la croissance d'une pré-feuille, le coléoptile (INA-PG, 2003). L'apparition de la première feuille à la surface du sol symbolise le stade levée (Simon *et al.*, 1989).

#### **1.5.1.2. La phase levée-début tallage**

Dès que la première feuille a percé le coléoptile, ce dernier s'arrête de croître et se dessèche. La première feuille fonctionnelle s'allonge, puis la deuxième, la troisième et la quatrième toute en position alterne (Boulal *et al.*, 2007). Généralement la première talle apparaît lorsque la troisième ou la quatrième feuille émerge sur la tige principale (Alzueta *et al.*, 2012).

#### **1.5.1.3. La phase plein tallage-début montaison**

Le tallage peut être divisé en quatre étapes : l'étape initiale caractérisée par l'apparition des talles, la deuxième lorsque le nombre maximal de talles par plants est atteint, la troisième est caractérisée par la régression d'une proportion des talles et la dernière étape lorsque le nombre final de talles est déterminé (Alzueta *et al.*, 2012).

L'élongation des entre-nœuds commence lorsque le méristème végétatif passe à l'état reproductif (Murray et Robertson, 2003).

### **1.5.2. La période reproductrice**

La période reproductrice correspond au stade GS 39 et s'étend jusqu'au stade GS 69, selon Zadoks *et al.* (1974), elle comprend :

#### **1.5.2.1. La phase ébauches d'épillets (phase A-B)**

Ce stade marque la transformation de bourgeon végétatif qui jusque-là ne formait que des ébauches de feuilles, en bourgeon floral. L'ébauche de l'épi continue à se différencier et les rides se transforment en ébauches d'épillets (Soltner, 2005). Le stade B est repéré par l'apparition de deux renflements latéraux qui apparaissent sur l'épillet, ce sont les ébauches des glumes (Boulal *et al.*, 2007).

### 1.5.2.2. La phase montaison-floraison

La gaine de la dernière feuille s'écarte progressivement suite à l'allongement des derniers entre-nœuds de la tige. Dans le jour ou les jours qui suivent, le sommet de l'épi sort de la dernière gaine qui a alors atteint sa longueur définitive, c'est le début d'épiaison (Gate, 1995).

### 1.5.3. La période de maturation du grain

La période de maturation du grain s'étale de stade GS 70 jusqu'au stade GS 99 (Zadoks *et al.*, 1974). La maturation correspond à l'accumulation de l'amidon dans les grains puis à leur perte d'humidité (Soltner, 2005). D'après Gate (1995), cette période comprend trois stades essentiels :

- Le stade grain laiteux : il se caractérise par des divisions cellulaires intenses au niveau de l'endosperme et la teneur en eau et en matière sèche augmente.
- Le stade grain pâteux : le grain atteint son poids frais maximum et sa couleur verte commence à disparaître.
- La maturité physiologique : le poids sec du grain atteint sa valeur maximale et définitive. Le grain devient de plus en plus dur et peut être récolté.

## 1.6. Aires de production

En raison de sa large adaptation, l'orge est cultivée dans toutes les zones agro-écologiques du pays, mais surtout dans les environnements difficiles où les précipitations sont faibles et fluctuantes (Reguieg *et al.*, 2013). D'après Boulal *et al.* (2007), les principales zones de production en Algérie sont :

- **la zone semi-aride des plaines telliennes** dont la pluviométrie est comprise entre 350 et 500 mm, mais avec une distribution irrégulière (Constantine, Bouira, Médéa, Tlemcen, Mila, Souk ahras, Aïn Defla, Chlef, Aïn témouchent, Rélizane, Sidi Bel-Abbès).
- **la zone sub-aride des hauts plateaux** caractérisée par une faible pluviométrie (200- 350 mm) et un système de culture à prédominance agro-pastorale avec des altitudes supérieures à 1000 m (Tissemsilt, Tiaret, Sétif, Saïda, Oum El-Bouaghi, Bordj Bou Arréridj).
- **la zone humide et sub-humide des régions littorales et sub-littorales**, il s'agit du centre-Est du pays (Tipaza, Skikda, Guelma, El-Taref, Béjaïa, Tizi Ouzou, Annaba) dont la pluviométrie est supérieure à 600 mm et relativement bien distribuée.
- **la région du sud** avec les périmètres irrigués et les cultures oasiennes.



## **1.7. Exigence de l'orge**

Le zéro de germination de l'orge est voisin de 0°C. Cependant, l'orge est plus sensible au froid que le blé et le seuil thermique de mortalité varie entre -12 et -16°C selon la sensibilité variétale. (Simon *et al.*, 1989), la température la plus favorable à sa germination se situe entre 16 et 20 °C (ITGC, 2013). Chez les céréales d'hiver, la vernalisation est l'exposition des plantes aux basses températures pour induire la transition de l'état végétatif à l'état reproductif (Ullrich, 2011) ; selon le génotype, les orges ont des besoins nuls (orge de printemps) ou variable (orges dites d'hiver) de froid (Jestin, 1992). La somme de températures exigée pour l'ensemble du cycle végétatif est de 1900 à 2000°C (Moule, 1980).

L'orge est plus tolérante à la sécheresse, à la salinité et à la faible fertilité du sol que les autres cultures céréalières (Yang *et al.*, 2010), elle nécessite moins d'eau et peut être cultivée dans des zones où l'eau d'irrigation n'est pas facilement disponible (Ram *et al.*, 2010). Cette espèce a besoin d'eau au début de son développement, mais supporte très bien la sécheresse par la suite (ITGC, 2013). Les besoins globaux en eau sont donc estimés à environ 450- 500 mm pour produire 40 quintaux à l'hectare (Simon *et al.*, 1989).

Les besoins nutritifs de l'orge sont inférieurs à ceux des blés (ITGC, 2013), il faut 2,4 kg d'azote, 1 à 1,5 kg de phosphore et 2 à 3 kg de potassium pour produire un quintal de grain d'orge (Gate, 1995, Moule, 1980). L'excès d'azote provoque trop de croissance végétative avec de faibles tiges, provoquant parfois la verse, et augmente également la susceptibilité des plantes aux maladies, aux gelées et à la sécheresse (Winch, 2006). Le phosphore est absorbé surtout au début de la végétation de l'orge, tandis que les besoins en potassium sont plus importants à la fin des stades végétatifs et de floraison (Fettell *et al.*, 2010).

## **1.8. Stratégies de sélection chez les céréales**

### **1.8.1. Sélection pour la tolérance aux stress abiotiques**

L'objectif de la sélection est l'identification de nouvelles lignées qui portent un ensemble de caractéristiques leurs permettant d'être adoptées comme variétés agricoles. Elles doivent produire plus pour réduire les coûts de production, et surtout doivent se distinguer par une meilleure régularité des rendements et une nette amélioration de la qualité du produit récolté (Lecomte, 2005).

La diminution des coûts de production, en zones à faibles précipitations, passe par l'adoption de variétés relativement plus souples et plus adaptées qui valorisent des itinéraires techniques moins intensifs, et tolèrent un climat variable (Benmahammed *et al.*, 2010). En

fait, l'adoption des génotypes adaptés peut changer considérablement la production d'une région donnée.

### **1.8.2. Sélection pour le rendement**

Au cours de cette dernière quarantaine d'années, la production mondiale de céréales et le rendement à l'hectare ont progressivement augmenté. Une grande partie de cette augmentation a été attribuée à l'amélioration génétique des variétés (Morris et Bryce, 2000).

La productivité est la capacité de produire plus, et désigne souvent le rendement en grain. L'augmentation du rendement a toujours été un des principaux buts de l'amélioration des plantes. Il serait le produit de plusieurs caractères, dits composantes du rendement (Mekhlouf et Bouzerzour, 2000). Il est gouverné par un grand nombre de gènes et il est fortement influencé par l'environnement (Dyulgerova, 2012). Cependant, la sélection vise à identifier les génotypes qui présentent un rendement élevé et une forte stabilité (Adjabi *et al.*, 2016).

La sélection pour le rendement en grain peut être abordée de manière directe ou indirecte. La sélection directe se fait sur la base du rendement ; par contre la sélection indirecte utilise les composantes du rendement et les caractères morphologiques et physiologiques (Adjabi *et al.*, 2007).

La sélection sur la base du rendement n'est efficace que si les conditions de milieu qui ont permis la réalisation d'un rendement donné, se répètent de façon régulière. En fait, en milieux variables les interactions génotype x environnement réduisent le gain génétique réalisé (Cattavelli *et al.*, 2002). L'inefficacité de la sélection directe est expliquée, par la présence d'interactions génotype x milieu qui réduisent la variance génotypique et le coefficient de l'héritabilité (Kamoshita *et al.*, 2008 ).

Araus *et al.* (2008) ont rapporté que les progrès de la sélection pour la tolérance à la sécheresse, sont basés sur la compréhension des mécanismes physiologiques et biomoléculaires de la plante. Ainsi, les caractères secondaires peuvent contribuer à l'amélioration du rendement des cultures. Selon Tuberosa (2012), les caractères secondaires retenus comme des critères de sélection dans les programmes de sélection, devraient répondre aux conditions suivantes : présenter une variation génétique ; être en corrélation avec le rendement en grain sous stress hydrique ; avoir une plus grande héritabilité que le rendement lui-même et doivent être faciles, rapides et peu coûteux à évaluer.

### **1.8.3. Sélection pour l'adaptation**

L'adaptation est définie comme la capacité d'une plante à croître et à donner des rendements satisfaisants dans des environnements sujets à des stress de périodicités connues en adoptant des modifications qui influencent sa structure (Rebetzke *et al.*, 2007). Cette notion d'adaptation se confond parfois avec celles de résistance et de tolérance au stress, mais en fait l'adaptation est le résultat de la tolérance des contraintes. Une plante adaptée est donc celle qui tolère ou résiste à un stress donné et réussit à produire à un niveau satisfaisant par rapport à une autre plante qui sera dite non adaptée (Tardieu, 2003).

L'adaptation d'un génotype à un milieu peut avoir deux origines : la présence de gènes d'adaptation, autrement dit, les gènes qui contrôlent les caractères jouant un rôle dans l'adaptation, et le pouvoir tampon lié à la structure génétique de certains génotypes (Romagosa et Fox, 1993).

En présence de l'interaction génotype x environnement l'analyse de l'adaptation comme une performance est très importante, cette adaptation est en relation avec la tolérance aux stress (Adjabi *et al.*, 2016). Ceccarelli *et al.* (1998) ont montré que le meilleur moyen pour améliorer la productivité de l'orge dans les conditions de sécheresse est de sélectionner des cultivars adaptés à des environnements bien définis.

## **1.9. Les interactions entre génotypes et environnements en sélection**

### **1.9.1. Notion d'interaction génotype x environnement**

L'interaction génotype x environnement peut être définie comme étant la différence entre la valeur phénotypique et la valeur génotypique et environnementale attendue (Backer, 1990). Lorsque les réponses de deux génotypes aux différents niveaux de stress environnementaux sont comparées, l'interaction est décrite statistiquement comme étant l'échec d'avoir deux courbes de réponse parallèles (Backer, 1990). Cette interaction représente la variation causée par l'effet additif des génotypes et des environnements (Dickerson, 1962). Selon (Bavandpori *et al.*, 2015), L'interaction génotype x environnement se réfère à la différence des réponses génotypique à travers les environnements.

L'interaction est dite quantitative lorsque la performance des génotypes change, mais leur classement à travers les environnements reste le même (Kang, 2002). Dans le cas contraire, les génotypes répondent différemment aux différents milieux, ce qui change leurs classements d'un milieu à un autre, c'est le type qualitatif ou cross-over (Kang, 1998) ; ce dernier est plus important dans l'amélioration pour l'adaptation spécifique (Backer, 1990).

### **1.9.2. Importance de l'interaction génotype x environnement**

L'importance de l'interaction génotype x environnement peut être observée à travers la contribution des nouveaux cultivars et des pratiques culturales pour l'augmentation de rendement, ceci par comparaison du rendement des nouveaux cultivars par rapport aux anciens cultivars (Silvey, 1981). Durant les dernières 50-60 années, l'amélioration génétique a contribué à l'amélioration du rendement par le gain total de 50 % chez les cultures importantes. Le reste du gain de rendement est attribué à l'amélioration des techniques et des pratiques culturales (Simmonds, 1981).

La présence des interactions qualitatives a des implications importantes dans les stratégies d'amélioration des plantes, qui visent à améliorer une adaptation large ou spécifique ou une combinaison des deux composantes d'adaptation (Cooper *et al.*, 1999).

Eisemann *et al.* (1990) ont décrit trois méthodes pour gérer les interactions génotype x environnement dans un programme de sélection : soit ignorer l'interaction par l'utilisation des moyennes de génotype à travers les environnements même lorsque les interactions génotypes x environnement existent ; soit en les évitant ; soit en les exploitant. Les interactions ne doivent pas être ignorées lorsqu'elles sont significatives et du type qualitatifs. La deuxième approche, consiste à minimiser l'impact des interactions significatives. La troisième approche englobe la stabilité des performances dans divers environnements en analysant et en interprétant les différences génotypiques et environnementales. Cette approche permet aux chercheurs de sélectionner des génotypes avec des performances cohérentes, d'identifier les causes des interactions génotypes x environnement et de fournir la possibilité de corriger le problème.

Lorsque la cause de l'instabilité de performance d'un génotype est connue, le génotype peut être amélioré soit par un moyen génétique, soit par un environnement approprié (intrants et gestion pour améliorer sa productivité (Kang, 2002).

### **1.9.3. Notion de stabilité**

La stabilité, en analyse statistique de l'interaction génotype x environnement, désigne la dispersion autour de la valeur centrale (Denis *et al.*, 1996). En fait, il existe deux types de stabilité : le type statique qui signifie la stabilité des performances d'un génotype à travers les environnements avec absence de la variance entre-environnements. Ce type, connu comme étant la stabilité biologique, ne présente pas une importance en agriculture (Backer, 1990). Par contre la stabilité dynamique ou agronomique signifie qu'un génotype a une performance

stable mais pour chaque environnement sa performance correspond au niveau estimé (Becker et Leon, 1988).

Les fluctuations observées dépendent des effets du milieu et de l'existence d'effets liés à l'interaction génotype x environnement : les génotypes ne réagissent pas tous de la même façon d'un milieu à un autre (Hulmel *et al.*, 1997). La stabilité, selon Gallais (1992), aurait deux origines : le pouvoir tampon lié à la structure génétique de certains génotypes, à leur hétérogénéité et à leur hétérozygotie d'une part, et d'autre part, à l'existence de gènes d'adaptation. D'après Kang (2002), la stabilité des génotypes peut être atteinte si plusieurs facteurs de résistance ou de tolérance sont présents chez les cultivars utilisés pour l'amélioration.

### **1.10. Le modèle AMMI**

Afin d'étudier l'interaction des génotypes avec leurs environnements, nous devons extraire le maximum d'informations des données et rechercher la meilleure estimation du rendement moyen de chaque génotype dans un environnement donné. L'estimation la plus courante est la moyenne arithmétique d'un génotype à travers les répétitions dans un environnement. Cette méthode est simple, mais n'exploite pas pleinement toutes les informations contenues dans l'ensemble de données (Halimatus et Alfian, 2016).

Les moyennes génotypiques à travers les environnements dans les essais multi-locaux ne suffisent pas pour exploiter toutes les informations contenues dans le jeu de donnée, ce qui cache plusieurs informations (Halimatus et Alfian, 2016). Ces dernières années, la stabilité du rendement et les analyses statistiques de l'interaction génotype x environnement ont été intensivement étudiés (Shafii et Price, 1998).

De nombreuses méthodes d'analyse ont été développées pour modéliser les interactions génotype x environnement par un ou un nombre relativement faible de termes(s) multiplicatif(s) composé(s) de variables caractéristiques des génotypes et des environnements (Finlay et Wilkinson, 1963). Cette famille de modèle comprend la régression conjointe (Finlay et Wilkinson, 1963), la régression factorielle (Denis, 1980) et le modèle AMMI (Gauch et Zobel, 1988)

Le modèle AMMI (Additive Main effect and Multiplicative Interaction) est un modèle très répandu dans l'étude de l'interaction génotype x environnement. Développé par Fisher et Mackenzie (1923), il a été repris par de nombreux généticiens (Kempton, 1984) et

popularisé en sélection végétale par Gauch et Zobel (1988). Il est considéré comme le modèle le plus puissant dans l'analyse de l'interaction génotype x environnement (Alfian et Halimatus, 2016).

Ce modèle hybride incluant les composantes additives et multiplicatives de deux méthodes de structure des données, sépare la variance additive de la variance multiplicative (Sabaghnia *et al.*, 2008). Le modèle AMMI permet de capturer une large portion de la somme de carré des écarts de l'interaction génotype x environnement en séparant clairement l'effet additif de l'effet multiplicatif. Ce qui présente un avantage pour la recherche agronomique en matière d'interprétation des données (Sabaghnia *et al.*, 2008).

L'approche AMMI considère, en fait, une famille de modèles AMMI-k, où un modèle AMMI comprend les k termes d'interactions liés aux k premières composantes principales de l'interaction génotype x environnement (Annicchiarico, 2002).

Le modèle AMMI combine l'analyse de la variance (modèle additive) pour étudier les effets principaux des génotypes et des environnements avec l'analyse en composante principale ACP pour étudier l'interaction génotype x environnement (Gauch, 1992).

Selon Gauch (1992), le modèle AMMI utilise l'analyse de la variance (un modèle additif) pour caractériser les effets principaux du génotype et de l'environnement, et l'analyse en composantes principales (un modèle multiplicatif) pour caractériser leurs interactions. Ce modèle (AMMI) s'est avéré efficace ; car il capture une grande partie de la somme des carrés de l'interaction, séparant clairement les effets principaux et les effets d'interaction ; et fournit souvent une interprétation agronomiquement significative des données.

La combinaison de l'analyse de la variance et de l'analyse des composantes principales dans le modèle AMMI ; est une approche précieuse pour comprendre l'interaction génotype x environnement et obtenir de meilleure interprétation du rendement. L'interaction est expliquée sous la forme d'un affichage à deux axes où les scores d'ACP sont tracés les uns par rapport aux autres ; cet affichage fournit une description visuelle et une interprétation des composantes de l'interaction génotype x environnement (Temesgen, 2015).

En fait, la représentation bidimensionnelle (bi-plot) constitue un avantage majeur pour le modèle AMMI, elle facilite l'interprétation des interactions génotype x environnement (Gabriel, 1978). Les génotypes et les environnements sont projetés sur les 2 axes principaux de l'ACP et la visualisation de génotypes à hautes performances

à proximité d'un environnement particulier permet de déterminer quels génotypes seraient meilleurs et dans quel environnement (Malosetti *et al.*, 2013). Donc les génotypes et les environnements qui se positionnent dans le même sens sont corrélés positivement, tandis que ceux qui se trouvent dans le sens inverse d'un environnement présentent une sensibilité vis-à-vis de cet environnement. Cependant, les génotypes qui présentent un score d'analyse en composante principale proche de zéro (proche de l'origine) sont les plus stables (Osiru *et al.*, 2009).

Selon Milan *et al.* (2014), le grand pourcentage de l'interaction génotype x environnement est expliqué par les deux premiers scores de l'ACP (ACP 1 et ACP 2). Cependant, certains génotypes peuvent présenter une stabilité dans un axe de l'ACP mais ils ne la présentent pas pour l'autre axe de l'ACP et donc l'utilisation d'une valeur balancée (AMMI stability value ASV) devient important (Letta, 2009). La valeur de stabilité AMMI (ASV) est la distance entre le point de coordonnées et l'origine dans un graphe de deux dimensions présenté par les scores de l'ACP1 et de l'ACP2 (Verma *et al.*, 2016a). Cette valeur est établie à partir des deux premiers axes pour quantifier et classer les génotypes selon leurs stabilités de rendements (Purchase, 1997).

L'indice de stabilité de rendement est un autre paramètre qui considère le classement de l'ASV pour classer les génotypes selon leurs rendements à travers les environnements (Farshadfar *et al.*, 2011).

## **1.11. Etude de l'effet du stress hydrique**

### **1.11.1. La sélection pour la tolérance au stress hydrique**

L'un des principaux problèmes traités par la science ces dernières années est celui lié aux mécanismes de tolérance des plantes aux stress environnementaux. Le changement climatique à long terme et les régimes météorologiques variables à court terme façonnent la nécessité de mieux comprendre le contexte physiologique et moléculaire d'une telle tolérance. Cette compréhension fournit des connaissances sur les mécanismes à cibler dans les programmes de sélection des cultures assurant le développement de nouveaux cultivars capables de produire un rendement élevé dans des conditions environnementales changeantes (Janiak *et al.*, 2018).

Le stress abiotique est responsable des pertes significatives de rendement de l'orge à l'échelle mondiale (Stanca *et al.*, 2003). Une liste non exhaustive des stress abiotiques comprend la sécheresse et l'inondation, la chaleur et le froid, les carences en minéraux,

cependant, l'amélioration des génotypes qui répondent mieux à ces stress a une importance élevée pour de nombreux améliorateurs (Horsley *et al.*, 2009).

Le stress hydrique est un stress abiotique qui affecte les plantes, suite à une insuffisance de précipitation ou d'irrigation. Du point de vue agronomique, c'est une période de forte chute de l'humidité du sol qui a lieu dans une région qui reçoit une pluviométrie en dessous de la moyenne annuelle, particulièrement en zone semi-aride (Fakhriya, 2017).

Mishra et Singh (2010) ont noté que le stress hydrique est généralement attribué à une réduction de la disponibilité de l'eau dans le sol causé par l'évaporation et/ou la transpiration. Selon Ding *et al.* (2011), la croissance rapide des plantes et leurs transpirations engendrent une compétition entre les plantes et cause, aussi, une réduction de la disponibilité de l'eau dans le sol (Fakhriya, 2017). Les stades les plus sensibles au stress hydrique sont le stade de germination, le stade juvénile et le stade de remplissage des grains. La capacité des plantes à survivre au stress hydrique pendant ces périodes critiques, sera une réponse de leur capacité à survivre à une exposition supplémentaire à la sécheresse (Li *et al.*, 2016).

### **1.11.2 Stress hydrique**

#### **1.11.2.1. Stress hydrique et le sol**

La capacité au champ a été définie comme la quantité maximale d'eau que le sol peut retenir après drainage de l'excès d'eau (Fazackerley et Lawrence, 2012). Cependant, le point de flétrissement peut être défini comme le niveau minimal d'eau contenu dans le sol à partir duquel la plante ne peut plus absorber d'eau. Ces deux paramètres entrent dans le calcul de la réserve utile d'eau nécessaire pour l'irrigation de la culture (Dahiya *et al.*, 1988).

Le stress hydrique représente un niveau d'humidité du sol qui ne satisfait pas les besoins de la plante et peut réduire le rendement au stade critique (Ludlow et Muchow, 1990).

#### **1.11.2.2. Stress hydrique et la plante**

En agriculture, l'eau est le facteur le plus important qui limite la croissance des plantes. Si les plantes ne reçoivent pas suffisamment d'eau, le stress hydrique peut réduire leurs croissance considérablement par rapport aux autres stress abiotiques (Bovina *et al.*, 2011).

Le stress hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa production par rapport au potentiel du génotype. Un déficit hydrique précoce affecte en



parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (Debaeke *et al.*, 1996).

Le manque d'eau après la floraison, combiné à des températures élevées, entraîne une diminution du poids de 1000 grains, par altération de la vitesse de remplissage des grains et/ou de la durée de remplissage (Triboï, 1990).

Les physiologistes définissent la tolérance à la sécheresse comme étant le maintien de la croissance et sa vitesse de reprise durant et après le déficit hydrique (Keneni *et al.*, 2017).

### **1.11.3. Mécanismes d'adaptation des céréales à la sécheresse**

Le stress hydrique se traduit chez la plante par une série de modifications qui touchent les caractères morphologiques, physiologiques et biochimiques, à partir du moment où les besoins en eau de la plante sont supérieurs aux quantités disponibles (Nezhadahmadi *et al.*, 2013).

Du point de vue agronomique, l'adaptation à la sécheresse est la capacité d'une plante à maintenir un rendement à travers des environnements ou des périodes de sécheresse, lorsque leurs durées et leurs intensités sont fluctuantes (Teulat-Merah *et al.*, 2001). L'esquive comme une stratégie d'adaptation, consiste à raccourcir le cycle d'une plante afin de lui permettre de parvenir jusqu'à la maturité durant une période humide (Mekliche *et al.*, 2003). Une deuxième stratégie est l'évitement qui permet le maintien d'un potentiel hydrique élevé dans la plante par une réduction de la transpiration en fermant partiellement les stomates (Belhassen *et al.*, 1995), ainsi que par la glaucescence, la couleur claire des feuilles et la présence de cire qui s'expriment en condition de stress hydrique (Gate, 1995).

Cependant, la tolérance consiste à un abaissement du potentiel hydrique qui se manifeste par un maintien de la turgescence rendu possible grâce à l'ajustement osmotique (Monneveux et This, 1997).

#### **1.11.3.1. Critères phénologiques**

L'aptitude d'une plante à compléter son cycle avant le déficit hydrique est considéré comme une stratégie d'esquive à la sécheresse. D'autres stratégies englobent un développement phénologique rapide, une floraison et une maturation précoces, une plasticité de développement et de mobilisation des assimilats au stade pré-anthèse (Mitra, 2001).

La précocité au stade épiaison est une composante importante d'esquive aux stress de fin de cycle chez les céréales. L'adoption de variétés à cycle relativement court est nécessaire

dans les régions arides à semi-arides, compte tenu de la distribution temporelle des précipitations (Mekhlouf, *et al.*, 2006).

Cependant, une floraison précoce assure une pollinisation, un développement des grains et une maturation dans une période convenable (Gurel *et al.*, 2016).

### **1.11.3.2. Critères morphologiques**

#### **1.11.3.2.1. Développement du système racinaire**

La racine est le premier organe qui sent et réagit au stress hydrique (Naz *et al.*, 2012). Il est généralement admis qu'un système racinaire bien développé constitue un caractère important pour l'amélioration de l'absorption des ressources hydriques du sol (El Fakhri *et al.*, 2010).

Le transfert de l'eau du sol vers les parties aériennes via les racines joue un grand rôle dans la réponse des plantes à la sécheresse. Pour réduire les effets de la sécheresse, la plante a deux possibilités : réduire ses pertes d'eau interne par transpiration et/ou maintenir une meilleure alimentation hydrique malgré une réduction des disponibilités en eau du milieu (Khaldoun *et al.*, 1990).

La profondeur et la densité racinaires jouent un rôle important dans le maintien de l'approvisionnement en eau d'une plante soumise à la sécheresse (Ahmadi, 1983). Les caractéristiques du système racinaire varient fortement avec les conditions édaphiques et climatiques (Souty, 1987).

Un système racinaire vigoureux (orientation, profondeur et ramification) assure un bon contact entre les racines et le sol, ainsi, il améliore l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs (Gahoonia et Nielsen, 2004). Mais ces caractéristiques d'enracinement sont liées également au génotype (Passioura, 1981). L'orge développe un système racinaire fibreux qui comprend des racines séminales et nodales provenant respectivement de l'embryon et de la base de la tige principale (Naz *et al.*, 2012).

La morphologie des racines et le rendement sous stress hydrique ainsi que la capacité de développer des racines capables d'exploiter l'humidité profondément dans le profil du sol sont considérés comme des caractères importants d'adaptation à la sécheresse. La résistance à la sécheresse a été associée à une pénétration profonde des racines (Huang *et al.*, 1997). Le riz, par exemple, présente une forte croissance racinaire qui est considérée comme le principal facteur de tolérance à la sécheresse (Ray *et al.*, 1996). Un système racinaire à plus large

envergure augmente l'absorption d'eau et d'éléments nutritifs du sol (Ehdaie *et al.*, 2003). Les lignées présentant un grand et profond système racinaire ont tendance à avoir un fort potentiel hydrique foliaire et à retarder la senescence des feuilles pendant la sécheresse (Cruz et O ' Toole 1984). Les racines avec leur épaisseur, leur biomasse, leur volume et leur densité ont des héritabilités élevées montrant une association positive avec la tolérance à la sécheresse (Qu *et al.*, 2008).

Une variation dans le développement des racines parmi les génotypes de blé en réponse à la sécheresse a été observée (Ehdaie *et al.*, 2001) ; et cette plasticité phénotypique dépend du génotype, de la variation d'une année à l'autre des conditions de croissance et du moment et de l'intensité de la sécheresse (Kano *et al.*, 2011). Un rendement en grain satisfaisant peut être obtenu en cas de sécheresse terminale, lorsque l'humidité du sol est disponible en profondeur, elle est captée par un système racinaire vigoureux et profond (Blum, 2009). Par conséquent, les génotypes avec un système racinaire efficace sont très recherchés pour améliorer la productivité dans les environnements pluviaux (Li *et al.*, 2003).

#### **1.11.3.2.2. Comportement des feuilles**

La surface foliaire est un caractère déterminant majeur de la performance de l'activité photosynthétique, elle contribue à l'élaboration du rendement (Zhang *et al.*, 2015).

Les caractéristiques et l'architecture des feuilles sont importantes pour l'adaptation des cultures aux conditions environnementales. La surface foliaire est considérée comme un indicateur de la croissance, du développement et de la santé des plantes et elle a une forte relation avec le poids sec des feuilles chez le blé et l'orge (Alqudah et Schnurbusch, 2015).

La réduction de la surface foliaire, la mort des tissus foliaires et la chute des feuilles sont souvent considérés comme des stratégies d'évitement au stress hydrique surtout aux stades post floraison et remplissage des grains (Prasad et Staggenborg, 2008).

L'inhibition de la croissance des feuilles est souvent une réponse primaire de la plante entière à un stress hydrique modéré. La croissance des feuilles résulte d'une expansion massive et irréversible de petites cellules filles produites par des divisions méristématiques et l'inhibition de la croissance est donc liée à l'inhibition de l'expansion cellulaire. La réduction des taux de production de nouvelles cellules peut contribuer à l'inhibition de la croissance (Lecoeur *et al.*, 1995)

Le déficit hydrique induit l'enroulement des feuilles dans les cultures céréalières. Cet enroulement a été noté comme un mécanisme d'évitement au stress, il atténue les stress abiotiques tels que l'interception de la lumière, l'irradiation, la sécheresse et les températures élevées. Dans les génotypes présentant ce caractère, l'enroulement évite l'endommagement des feuilles (Kadioglu et Terzi 2007). La corrélation entre l'enroulement des feuilles et la photosynthèse n'est pas claire car l'enroulement des feuilles pendant le stress réduit l'exposition de la surface des feuilles à l'énergie solaire et la transpiration, ce qui conduit à la fermeture des stomates, donc, une diminution de l'entrée du CO<sub>2</sub> dans les cellules, réduisant, ainsi, l'activité photosynthétique (Allah, 2009). Subashri *et al.* (2009) ont observé une relation négative entre l'enroulement des feuilles et la teneur en chlorophylle, parce que l'enroulement des feuilles réduit la surface foliaire exposée à la lumière, réduisant ainsi l'activité de la chlorophylle et le processus de photosynthèse. D'autre part, l'enroulement des feuilles protège l'appareil photosynthétique contre les dommages (Nar *et al.*, 2009), et maximise de la photosynthèse avec un rendement accru en grain en diminuant la perte d'eau des plantes soumises à un stress (Zhang *et al.*, 2009).

#### **1.11.3.2.3. Présence de barbes**

La longueur des barbes est un paramètre morphologique qui est étroitement lié à la tolérance au stress hydrique (Hadjichistodoulou, 1985). En effet, les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse, par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Slama *et al.*, 2005).

#### **1.11.3.3. Critères physiologiques**

Le stress provoque directement une réduction des activités physiologiques et métaboliques, ses effets conduisent, finalement, à la réduction du taux de croissance et de la productivité de la plante. Les effets de ces restrictions sont différents selon la force et/ou la durée du stress, selon que le stress soit appliqué seul ou en combinaison avec d'autres stress, ainsi que selon le stade de développement et l'état métabolique de la plante (Chaves *et al.*, 2002),.

##### **1.11.3.3.1. L'ajustement osmotique**

L'ajustement osmotique (OA) est défini comme étant une diminution du potentiel osmotique au sein des cellules, en raison de l'accumulation active d'osmolytes compatibles pendant une période de déficit hydrique (Ludlow et Muchow, 1990). Les osmolytes comprennent plusieurs acides aminés (proline), des sucres (saccharose et fructose), des

polyols (mannitol et pinitol), des amines quaternaires (glycine-bétaïne) et des acides organiques (malate et citrate) (Rhodes et Hanson, 1993). Les solutés compatibles accumulés peuvent s'associer aux lipides ou aux protéines et empêcher la désintégration de la membrane, la dissociation des complexes protéiques ou l'inactivation des enzymes (Bohnert et Jensen, 1996).

L'ajustement osmotique empêche la plante, subissant le stress hydrique, de perdre sa turgescence, et de ce fait, lui permet de continuer ses activités métaboliques et survivre à la contrainte (De Leonardis *et al.*, 2010). Ceci induit la diminution du potentiel osmotique, avec une baisse de la valeur du potentiel de l'eau de la racine par rapport à celui du sol, permettant à l'eau de circuler du sol vers la plante (Abebe *et al.*, 2003).

#### **1.11.3.3.2. Régulation stomatique**

La fermeture des stomates réduit la conductance stomatique pour éviter une perte excessive d'eau, c'est l'un des mécanismes permettant aux plantes d'éviter la sécheresse (Mc William, 1989). Elle provoque une augmentation de la température foliaire et une réduction de l'assimilation du CO<sub>2</sub>, d'où une réduction de l'activité photosynthétique conduisant à de faibles performances (Chaves *et al.*, 2009).

La régulation de l'ouverture des stomates dépend des changements de turgescence des deux cellules de garde ; une augmentation de la turgescence, causée par une accumulation accrue de solutés, favorise l'ouverture des pores, tandis qu'une diminution de la turgescence, causée par un efflux de soluté, entraîne une fermeture stomatique (MacRobbie, 1981).

#### **1.11.3.3.3. Tolérance à la dessiccation**

La teneur relative en eau exprime la quantité d'eau dans le tissu par rapport à la quantité totale d'eau présente dans un tissu entièrement turgescent. C'est une mesure utile de l'état de l'eau des plantes et du degré de sécheresse (Cornic et Massacci, 1996)

La teneur en eau de la feuille indique l'état des plantes par rapport à l'état de turgescence (Moayedi *et al.*, 2011). Les génotypes qui maintiennent des niveaux élevés d'eau foliaire dans des conditions de déficit hydrique sont moins affectés par le stress et sont capables de maintenir une bonne croissance et un bon rendement (Beltrano *et al.*, 2006). Chez le blé, l'équilibre hydrique chez les génotypes est perturbé lorsque la teneur relative en eau dans les feuilles diminue, en conditions de déficit hydrique (Dulai *et al.*, 2006). Une

corrélation positive entre le rendement en grain et la teneur en eau est observée (Schonfeld *et al.*, 1988).

Les membranes cellulaires sont l'une des premières cibles du stress. Il est admis que le maintien de leur intégrité et de leur stabilité dans des conditions de stress hydrique est une stratégie majeure de tolérance à la sécheresse (Bajji *et al.*, 2001). La perte de l'intégrité membranaire et de la stabilité des protéines pourraient, toutes deux, être due à un accroissement de la concentration en électrolytes dans la cellule, qui accompagne la déshydratation du protoplasme. La conséquence de tous ces événements est une perturbation du métabolisme cellulaire lors de la déshydratation (Hopkins, 2003).

#### **1.11.3.3.4. Capacité photosynthétique**

La sécheresse entraîne une réduction de la photosynthèse simplement en fermant les stomates et en limitant la disponibilité du CO<sub>2</sub>. Chez le blé, cette réduction a affecté le nombre de grains à maturité, le rendement en grains et la production de la biomasse (Monneveux *et al.*, 2006).

Tambussi *et al.* (2007) indiquent que la diminution des teneurs en Chlorophylles perturbe le mécanisme photosynthétique des parties supérieures de la plante, feuilles et épis, altérant sévèrement le remplissage des grains et affectant ainsi le rendement final. Selon Guo *et al.*, (2012), la sénescence des feuilles est un processus qui est influencé par de nombreuses conditions de stress externes, telle que la sécheresse. Cette dernière conduit à une induction prématurée de la senescence de la feuille, qui entraîne un recyclage inefficace des ressources et une perte massive du rendement (Emebiri, 2013). En fait, elle représente une dégradation naturelle conduisant au stade final de développement des organes de la plante. Ce processus est divisé en trois étapes : la reprogrammation de l'expression génétique, le transport des nutriments et des métabolites et la phase de réorganisation (Munne-Bosch *et al.*, 2004).

La première étape commence avec la reprogrammation de l'expression génétique pour l'activation des gènes de senescence. Avant la programmation de la mort de la cellule, il y a mise en place de la phase de réorganisation (Munne-Bosch *et al.*, 2004).

La deuxième étape, les nutriments et les métabolites sont transportés vers les fruits et les grains pour contribuer au rendement et sa qualité (Munne-Bosch *et al.*, 2004).

Durant la phase de réorganisation, une dégradation de la chlorophylle et une diminution de la photosynthèse est observé (Hörtensteiner, 2006), car la dégradation de la

chlorophylle entraîne le jaunissement de la feuille qui est un symptôme de la senescence de la feuille (Breeze, 2011).

#### **1.11.3.4. Mécanisme d'adaptation biochimique**

##### **1.11.3.4.1. Accumulation de la proline**

La proline est un acide aminé largement présent dans les plantes supérieures, il s'accumule en grandes quantités en réponse à divers stress environnementaux (Kishor *et al.*, 2005). Les rôles multifonctionnels de la proline ont été étudiés par Szabados et Savoure (2010). La proline intervient dans l'ajustement osmotique, la stabilisation des structures sous-cellulaires telles que les membranes et les protéines, l'élimination des radicaux libres et la mise en tampon du potentiel redox cellulaire dans des conditions de stress (Mohanty et Matysik, 2001).

La proline protège les plantes contre les dommages de stress en maintenant l'osmorégulation. Elle est considérée comme chaperon moléculaire qui stabilise les structures subcellulaires, y compris les membranes et les protéines. C'est un piègeur de radicaux libres, un agent pour tamponner le potentiel redox cellulaire dans des conditions de stress. Elle peut servir, également, de source d'azote ou de carbone pour la cellule (Verbruggen *et al.*, 1996).

La proline agit comme un hydrotrope compatible avec les protéines, elle maintient le pH cytoplasmique et elle sert comme un récepteur de protons et participe au recyclage du NADPH via sa synthèse à partir de glutamate (Hare et Cress, 1997)

##### **1.11.3.4.2. Synthèse des sucres solubles**

Sous stress hydrique, ce sont les sucres solubles et plus particulièrement le glucose, qui contribuent le plus à l'ajustement osmotique (Kameli et Losel, 1996). Les sucres pourraient agir en tant qu'osmoticum, protéger des macromolécules spécifiques (enzymes) et contribuer à la stabilité des structures membranaires (Bartels et Sunkar, 2005),

La plupart des cultures céréalières ont la capacité de stocker des glucides hydrosolubles dans leurs tiges et de les remobiliser plus tard pour augmenter le rendement en céréales. Chez le blé, les variétés capables de synthétiser et de stocker des quantités significatives de glucides hydrosolubles dans leurs tiges avant l'épiaison sont susceptibles de produire des rendements plus élevés dans des conditions de stress hydrique (Conocono, 2002). Ce caractère a été admis comme un caractère adaptatif pour la tolérance à la sécheresse (Reynolds *et al.*, 2009) et sa contribution au rendement varie avec le génotype,

l'environnement et les conditions de croissance allant de 10 à 20% dans des conditions non stressées (Shearman *et al.*, 2005).

#### **1.11.3.4.3. Synthèse des protéines liées à la tolérance au stress hydrique**

Une partie des protéines induites a une fonction directe dans l'augmentation de la tolérance au stress (protéines fonctionnelles), d'autres ont une fonction dans la chaîne de transduction (régulatrices) aboutissant à la production de protéines fonctionnelles. La plupart des protéines à fonction directe sont des aquaporines et des enzymes catalysant la biosynthèse d'osmolytes (carbohydrates et acides aminés) (Schulze *et al.*, 2005).

Les cires épicuticulaires recouvrant les parties aériennes des plantes jouent un rôle important dans le contrôle de l'écoulement de l'eau à travers la cuticule (Eigenbrode et Espelie 1995). Elles aident les feuilles à retenir l'eau (Jordan *et al.*, 1984) en minimisant la transpiration cuticulaire (Jefferson, 1994). Elles protègent également les plantes contre les radiations élevées et les dommages causés par les rayons ultraviolets en fournissant aux feuilles une plus grande réflectance (Grant *et al.*, 1995). Son rôle dans la réduction de la transpiration cuticulaire et l'amélioration de la résistance à la sécheresse est évident chez le sorgho et le blé (Blum *et al.*, 1996). Les génotypes à faible taux de transpiration cuticulaire ont généralement un avantage fonctionnel en cas de déficit hydrique en raison d'une utilisation plus efficace de l'eau (Paje *et al.*, 1988).



## Chapitre 2 : Matériel et méthodes

### 2.1 Objectif de l'essai

Dans le but d'identifier les géotypes les plus productifs et ceux les plus stables pour les recommander à chaque environnement testé ; ainsi dans le but de sélectionner les géotypes les plus résistants au stress hydrique et d'identifier les caractères les plus déterminants vis-à-vis du stress hydrique, nous avons réalisés deux essais.

Un premier essai conduit en plein champ, repose sur une étude de l'interaction de 17 géotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) avec l'environnement, à travers des essais identiques installés dans deux sites différents pendant deux campagnes agricoles. Plusieurs caractères agro-morphologiques, phénologiques et physiologiques ont permis l'évaluation du niveau de production des géotypes, sa régularité et sa stabilité.

Un deuxième essai conduit sous serre a été réalisé pour permettre l'évaluation de la production et sa stabilité en conditions de stress hydrique, et l'identification des mécanismes d'adaptation mis en œuvre par les géotypes pour faire face aux stress hydrique.

### 2.2. Etude de l'interaction géotype x environnement

#### 2.2.1. Présentation des sites expérimentaux

Pour étudier l'interaction géotype x environnement nous avons installé deux essais dans deux sites différents durant deux campagnes agricoles consécutives 2017/2018 et 2018/2019 (figure 2).



Figure 2. Essais d'interaction genotype x environnement à Alger (à gauche stade plein remplissage) et à Sétif (à droite stade début de remplissage).

Le premier essai a été installé au niveau de la station expérimentale de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique (Alger). Le site est situé à une altitude de 50 m, à 3°08' de longitude Est et 36°43' de latitude Nord.

Le deuxième essai a été installé au niveau de la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures de Sétif. Le site est situé à une altitude de 1023 m à 5°24' de longitude Est et 36°12' de latitude Nord.

### 2.2.2. Conditions édaphiques

Le sol des deux sites a été soumis à une analyse physico-chimique, les résultats sont indiqués dans le tableau 1.

Tableau 1. Résultats d'analyse du sol des deux sites expérimentaux.

Type d'analyse	Paramètres		Résultats d'analyse		Méthode d'analyse / Outil
			Site 1 Alger	Site 2 Sétif	
Analyse granulométrique	Argile (%)		28,52	12,12	Pipette de ROBINSON
	Limon (%)	fin	10,35	13,88	
		grossier	29,41	58,5	
	Sable (%)	fin	27,82	13,08	
grossier		3,9	2,42		
Analyse chimique	Calcaire total (%)		2,14	18,53	Calcimètre de BERNARD
	Calcaire actif (%)		/	5,75	DROUINEAU
	pH eau		9,71	7,98	pH mètre
	pH KCL		7,46	6,24	pH mètre
	CE (ms/cm)		0,096	0,2495	Conductimètre
Analyse biochimique	Carbone (%)		2,76	1,08	Méthode Anne
	Matière organique (%)		4,74	1,86	MO= C %*1,72

Le sol du site 1 (Alger), a présenté une texture limono argileuse. Il est non salé (<0,6 ms/cm) avec un pH très basique et un faible taux de calcaire (USSSL, 1954).

Le sol du site 2 (Sétif), a présenté une texture limoneuse fine. Il est non salé avec un pH basique et modérément calcaire (USSSL, 1954).

Cependant, les deux sites présentent un sol fortement désaturé et une faible teneur en matière organique.

### 2.2.3. Conditions climatiques

Les principales données des conditions climatiques qui ont caractérisé les quatre environnements (campagnes agricoles) étudiés sont rapportées dans les figures 3, 4, 5 et 6.

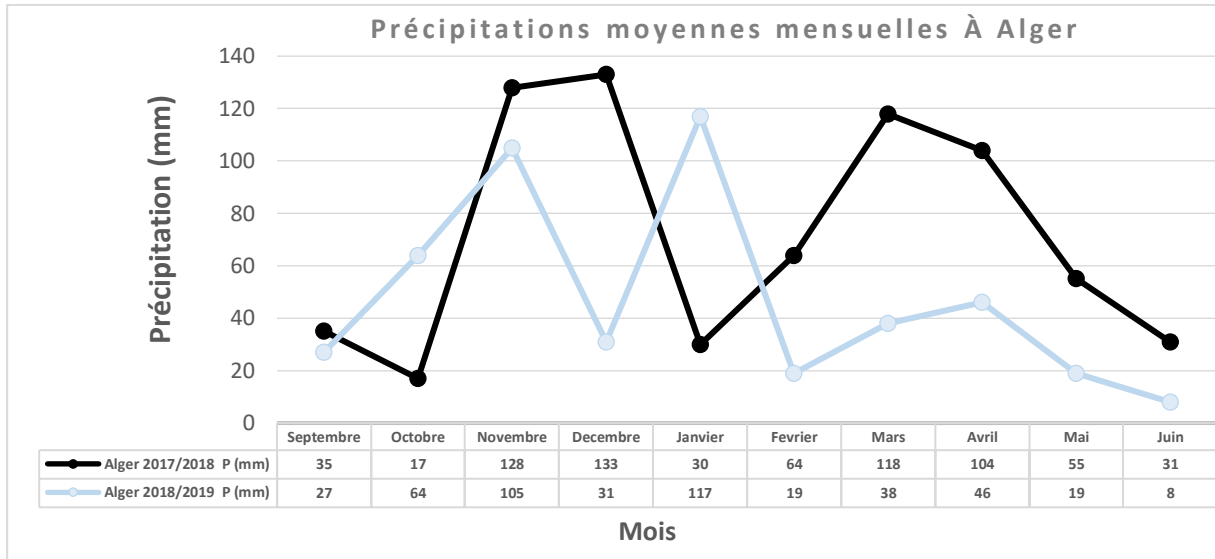


Figure 3. Précipitations moyennes mensuelles à Alger (ITGC, 2020).

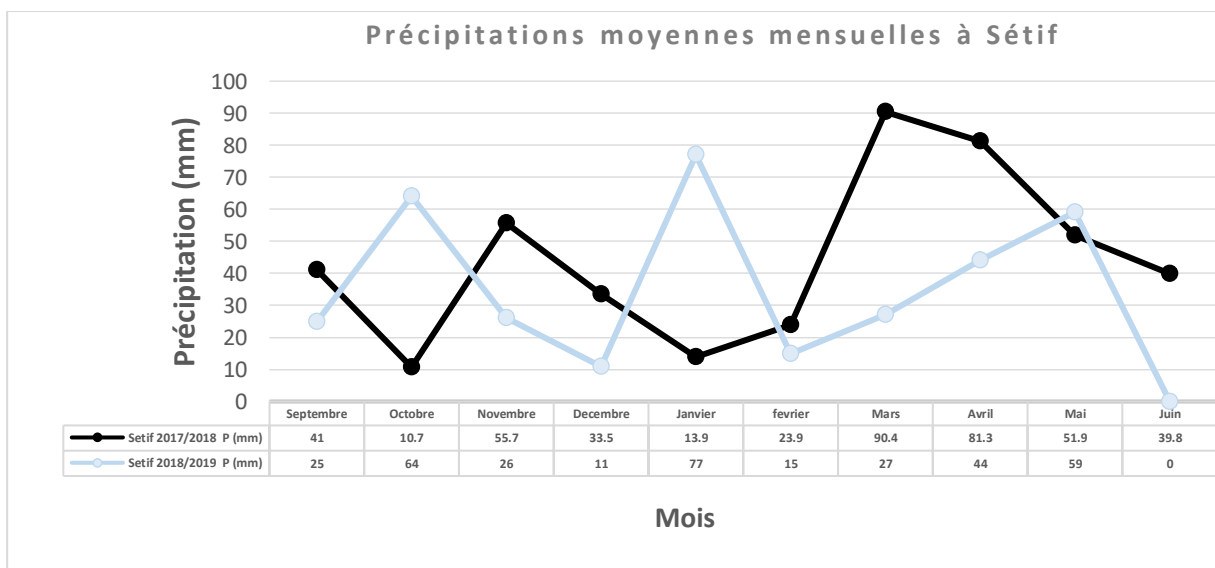


Figure 4. Précipitations moyennes mensuelles à Sétif (ITGC, 2020).

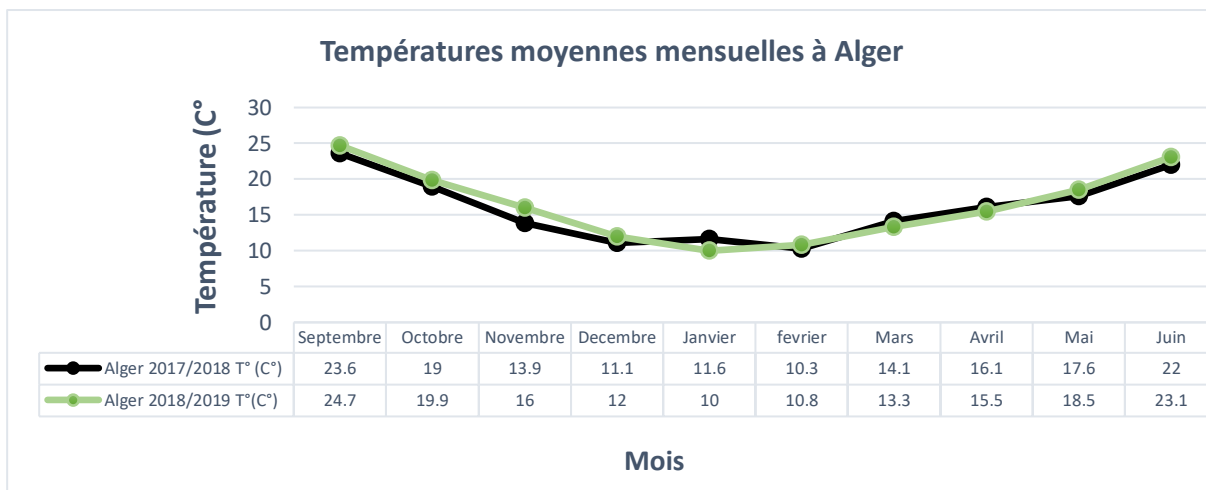


Figure 5. Températures moyennes mensuelles à Alger (ITGC, 2020).

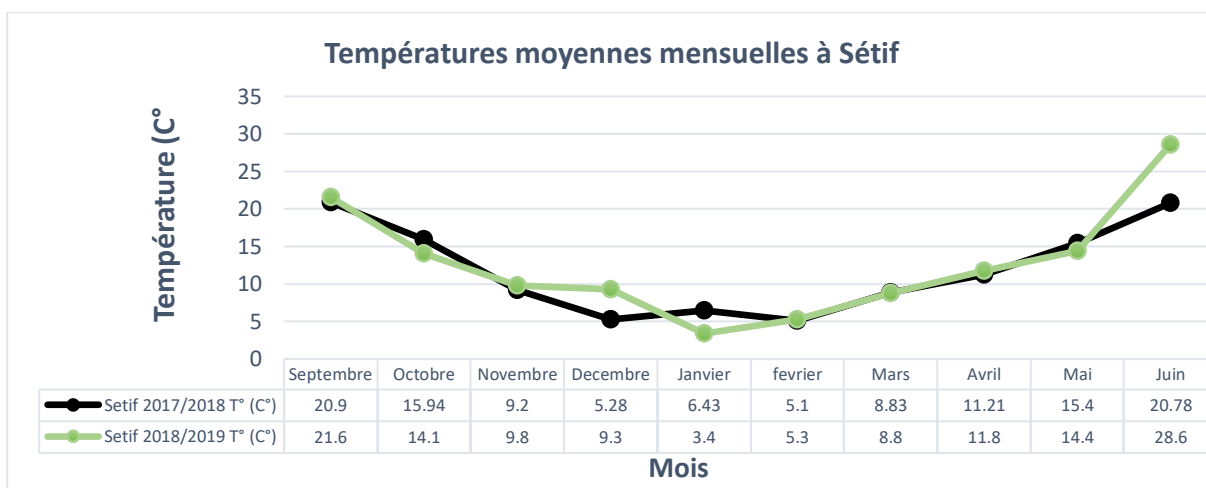


Figure 6. Températures moyennes mensuelles à Sétif (ITGC, 2020).

Le site 1 (Alger) a présenté un cumul pluviométrique pour la campagne agricole 2017/2018 (de Septembre à Juin) de 715 mm, avec 241 mm en plus par rapport au cumul pluviométrique de la campagne 2018/2019 qui est de 474 mm. La pluviométrie la plus élevée a été enregistrée pendant le mois de décembre avec 133 mm ; tandis que la plus élevée a été notée durant le mois de Janvier avec 117 mm pour la campagne agricole 2018/2019 (figure 3).

Le site 2 (Sétif) a enregistré un cumul pluviométrique de 442,1 mm pour la campagne agricole 2017/2018 (de Septembre à Juin), soit 94,1 mm en plus par rapport à la campagne agricole 2018/2019 dont le cumul a été de 348 mm. Le mois de janvier de la campagne agricole 2017/2018 s'est démarqué par de faibles précipitations, soit 13,9 mm, alors que durant la campagne agricole 2018/2019, le mois de décembre a reçu seulement 11 mm (figure 4).

Au cours de la campagne agricole 2017/2018, le mois de février a été le plus froid, pour les deux sites. Une température moyenne de 10,3 °C est enregistrée dans le site 1 (Alger) et 5,1 °C pour le site 2 (Sétif). Tandis que le mois de Janvier a été le mois le plus froid durant la campagne agricole 2018/2019 pour les deux sites (figures 5 et 6).

La campagne agricole 2017/2018 a été plus froide et humide que celle de 2018/2019, ceci pour les deux sites expérimentaux. A Sétif, les amplitudes thermiques sont plus importantes que celles d'Alger. En fait, le climat à Alger en hiver est plus humide avec des températures plus modérées. En revanche, à Sétif, il fait froid en hiver avec moins de précipitations par rapport à Alger ; cette région est caractérisée par les gelées printanières et les amplitudes thermiques entre le jour et la nuit.

#### 2.2.4. Matériel végétal

Le matériel végétal est composé de 17 génotypes et cultivars (tableau 2).

Tableau 2. Description des génotypes étudiés.

Génotypes	Description
Tichedrett Saïda	Variétés algériennes à 6 rangs.
Rihane 03 Barberousse/Chorokhod Plaisant/Charan01	Cultivars à 6 rangs.
Soufara'S Rahma Tissa	Variétés à 2 rangs sélectionnées du programme d'amélioration de l'Icarda.
Acsad176	Génotype à 6 rangs d'origine Syrienne.
El Fouara El Bahia	Cultivars à 6 rangs sélectionnés par l'ITGC de Sétif.
Barberousse Jaidor Express Plaisant	Variétés à 6 rangs d'origine Française.
Tina Begonia	Cultivars à 6 rangs d'origine Espagnole.

### **2.2.5. Dispositif expérimental**

Deux essais ont été installés selon un même dispositif expérimental, en bloc aléatoire complet avec 4 répétitions. La parcelle élémentaire est de 6 m<sup>2</sup>, avec une largeur de 1,2 m et une longueur de 5 m. Les blocs sont séparés de 2 m (6 lignes de 5 m avec un espacement de 20 cm entre les lignes et les parcelles).

### **2.2.6. Conduite de l'essai**

Un semis en ligne a été réalisé, au début du mois de décembre pour les deux campagnes et pour les deux sites. La densité de semis est de 250 grains par m<sup>2</sup>. Les essais ont été fertilisés avec 52 kg ha<sup>-1</sup> de phosphore avant le semis, 40 kg ha<sup>-1</sup> et 18 kg ha<sup>-1</sup> d'azote apportée respectivement au stade tallage et au stade montaison (GS 21 et 31, Zadoks *et al.*, 1974). Les adventices ont été contrôlées chimiquement. Les parcelles ont été récoltées à la fin de mois de juin.

### **2.2.7. Paramètres mesurés**

#### **2.2.7.1. Caractères phénologiques**

Pour l'étude des caractères phénologiques, nous avons suivi les stades épiaison et maturité.

L'épiaison a été déterminée au niveau de chaque génotype, lorsque 50 % des tiges de chaque génotype ont leurs épis dégagés. La précocité à l'épiaison a été estimée par le calcul du nombre de jours du stade levée au stade épiaison.

Le stade maturité a été estimé au moment où l'épi de l'orge se courbe vers le bas. La durée du cycle est estimée de la levée à la maturité.

#### **2.2.7.2. Caractères physiologiques**

##### **Teneur en chlorophylle**

La teneur en chlorophylle a été mesurée au stade début de remplissage (GS 70, Zadoks *et al.*, 1974) à partir d'un échantillon de 100 mg de feuilles fraîche, broyée à sec, et mise dans 10 ml d'acétone à 80 %. Le broyat obtenu est centrifugé à 4000 tr/mn pendant 10 mn. Le surnageant contenant les pigments est récupéré. Les densités optiques sont lues aux longueurs d'ondes à 663 et 645 nm respectivement pour la chlorophylle *a* et *b*. La teneur en chlorophylle est déterminée selon les équations d'Arnon (1949) en mg/g de tissu :

$$\text{Chl } a = 12,7 \text{ DO } 663 - 2,69 \text{ DO } 645$$

Chl  $b= 22,9 \text{ DO } 645 -4,68 \text{ DO } 663$

Avec : DO 663 : Densité optique lue à la longueur d'onde de 663nm.

DO 645 : Densité optique lue à la longueur d'onde de 645nm.

### 2.2.7.3. Caractères morphologiques

Les mesures des caractères morphologiques ont été réalisées sur un échantillon de 15 plantes prélevées au hasard de chaque parcelle élémentaire.

La hauteur de la tige a été déterminée par la mesure de la distance séparant la base de la tige du sommet de l'épi. La longueur de l'épi a été mesurée à partir de la base de l'épi jusqu'à son extrémité hormis les barbes. La longueur des barbes a été estimée par la mesure de l'extrémité de l'épi jusqu'à celle des barbes. La longueur du dernier entre-noeud correspond à la longueur entre le dernier noeud et la base du rachis. Le poids de l'épi et celui des grains de l'épi ont été déterminés à l'aide d'une balance de précision en gramme.

Le nombre de feuilles a été déterminé au stade début de remplissage (GS 70, Zadoks *et al.*, 1974) par le comptage du nombre de feuilles sur la tige principale. La surface foliaire est estimée selon la méthode décrite par Shakeel *et al.* (2015) ; ou un échantillon de 10 feuilles a été pris en photo par une caméra digitale, les images ont été, par la suite, analysées par le logiciel ImageJ, la surface est exprimée en centimètre carré (figure 7).



Figure 7. Mesure de la surface foliaire.

Biomasse aérienne à l'épiaison : la biomasse totale et sa répartition sur les tiges, les feuilles et les épis ont été mesurées à partir d'un échantillon de 40 cm linéaire prélevé et séché à l'étuve pendant 72 h à une température de 80 C°. Les différentes parties sont séparées et pesées, la valeur obtenue est rapportée en quintal à l'hectare.

Biomasse aérienne à maturité : après maturité, les parcelles élémentaires ont été fauchées et pesées pour mesurer la biomasse aérienne totale (paille + épis), puis la valeur a été rapportée à l'hectare (On considère que la biomasse aérienne à ce stade est totalement sèche à cause des hautes températures après la récolte)

#### 2.2.7.4. Caractères agronomiques

Le nombre de plantes par mètre carré a été déterminé au stade trois feuilles, par le comptage du nombre de plantes levées dans chaque parcelle élémentaire et pour chaque génotype. Le nombre de talles par mètre carré a été déterminé au stade tallage pour chaque parcelle élémentaire, en comptant le nombre de talles par mètre linéaire et rapportée au mètre carré. Le nombre de talles par plante a été obtenu par le rapport du nombre de talles par mètre carré sur la densité de peuplement. Le pourcentage de talles fertiles par plante a été obtenu par le rapport du nombre d'épis sur le nombre de talles par plante.

A maturité, la densité des épis par mètre carré a été déterminée par le comptage du nombre d'épis par parcelle élémentaire puis convertis au mètre carré. Le nombre d'épis par plante a été obtenu par le rapport de la densité épis sur le nombre de plantes par mètre carré.

Un échantillon de 15 épis prélevés dans chaque parcelle élémentaire a permis les mesures suivantes : le nombre de grains par épi ; le nombre d'épillets stériles par épi. Le poids de mille grains a été mesuré sur la base d'un échantillon de 1000 grains comptés et pesés. Le rendement en grain estimé a été calculé selon la formule suivante :

$$\mathbf{RE (q/ha) = NEM \times NGE \times PMG \times 10^{-4}}$$

Avec :

**RE** : Rendement en grain estimé.

**NEM** : Nombre d'épis par m<sup>2</sup>.

**NGE** : Nombre de grains par épi.

**PMG** : Poids de mille grains.

Le battage de la biomasse totale à maturité nous a permis d'obtenir le rendement en grain réel, et le calcul de l'indice de récolte, selon la formule suivante :

$$\mathbf{IR = \frac{\text{Rendement en grain}}{\text{Biomasse aérienne}}}$$



## 2.2.8. Analyses statistiques

Les variables mesurées sont soumises à une analyse de la variance avec le package agricolae version 1.2-8 (De Mendiburu, 2017) du logiciel R version 3.5.3. Chaque combinaison site x année est utilisée comme un environnement (un facteur). Le seuil de signification est de 0,05.

### 2.2.8.1. Analyse de l'interaction génotype x environnement

Le rendement en grain et ses composantes ont été soumis à une analyse globale par le model AMMI, en prenant chaque combinaison site x année comme un environnement (un facteur). Le modèle s'appuie sur la formule décrite par Gauch (1988), avec :

$$Y_{ge} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_{n=1}^N \lambda_n Y_{gn} \eta_{en} + \theta_{ge}$$

Où  $Y_{ge}$  est le rendement du génotype  $g$  dans l'environnement  $e$ ,  $\mu$  est la moyenne générale,  $\alpha_g$  c'est la déviation moyenne du génotype,  $\beta_e$  est la déviation moyenne de l'environnement,  $\lambda_n$  est la valeur propre du  $n$ ème axe de la composante principale.  $Y_{gn}$  et  $\eta_{en}$  sont les scores du  $n$ ème axe d'ACP du génotype et de l'environnement et  $\theta_{ge}$  c'est le résiduelle.

La valeur de stabilité AMMI (AMMI Stability Value) a été calculée selon Purchase *et al.* (2000) :

$$ASV = \sqrt{\left(\frac{SSIPCA\ 1}{SSIPCA\ 2}\right) (IPCA\ 1)^2 + (IPCA\ 2)^2}$$

Où SSIPCA1/SSIPCA2 est le poids donné à la valeur de l'ACP1 par la division de la somme des carrés des écarts de l'ACP1 par celle de l'ACP2.

L'indice de stabilité du rendement a été calculé comme suit :

$$YSI = RASV + RY$$

RASV est le classement de l'ASV et RY est le classement du rendement moyen des génotypes à travers les environnements. Cet indice utilise le classement de l'ASV pour classer les génotypes selon leurs rendements à travers les environnements (Farshadfar *et al.*, 2011).

## 2.3. Etude de la réponse au stress hydrique

### 2.3.1. Matériel végétal et conditions expérimentales

Un essai en pots composé de 17 génotypes, décrits préalablement au chapitre 1, a été installé sous serre, à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA), au cours de la campagne agricole 2017/2018 (figure 8).



Figure 8. Conduite de l'essai de stress hydrique sous serre.

Les grains ont été stérilisés avec la solution d'hypochlorite de sodium à 2 % pendant 4 min suivi de trois rinçages avec de l'eau distillée. Et ont été mis à germer dans des boîtes de Pétri à l'obscurité. Une fois germé, les grains ont été repiqués dans des pots de 14 l, remplis avec un mélange de sable, de tourbe et de sol (1 : 1 : 1 ; V/V). Un apport de 60 unités de phosphore et 75 unités de potassium a été réalisé juste après le semis.

Le dispositif expérimental adopté est un split plot avec deux traitements : le régime stressé et le régime contrôlé (figure 8). Chaque régime hydrique comprend quatre répétitions et chaque répétition comprend les dix-sept génotypes étudiés, réparties aléatoirement sur dix-sept parcelles (pots).

Dans chaque pot quinze (15) plantes ont été repiqués le 10 décembre 2017, et maintenus à un régime hydrique à la capacité au champ jusqu'au stade épiaison, où nous avons appliqué notre protocole.

**Traitement sans déficit hydrique (régime irrigué) :** dans ce traitement, les plantes n'ont pas manqué d'eau au cours de leurs cycles. Elles sont conduites en régime d'évapotranspiration maximale (ETM). Les apports d'eau ont été faits tous les 3 à 4 jours selon les besoins de la plante.

Un stress hydrique sévère a été appliqué le 11 mars 2018, au stade épiaison (GS 51 sur l'échelle de Zadoks *et al.*, (1974), par arrêt de l'irrigation des pots.

**Traitement avec déficit hydrique sévère (régime stressé) :** Le stress appliqué correspond à un taux de tarissement de 80 % de la réserve utile (RU). Les pots ont été pesés et réhydratés chaque jour pour maintenir le régime stressé à 20 % de la capacité au champ pendant 15 jours.

Un apport d'engrais azoté a été réalisé au stade épi à 1 cm et au stade montaison à raison de 46 unités et 15 unités respectivement. Une fertilisation foliaire à base d'engrais Agriphos et phosamco a été appliquée pour assurer une nutrition adéquate au stade montaison (tableau 3).

Tableau 3. Fertilisation foliaire des génotypes testés durant l'expérimentation.

Elément	Quantité	Elément	Quantité
N	1 kg. h <sup>-1</sup>	Cu	0,06 kg. h <sup>-1</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,865 kg. h <sup>-1</sup>	Fe	0,016 kg. h <sup>-1</sup>
K <sub>2</sub> O	1,03 kg. h <sup>-1</sup>	Mn	0,083 kg. h <sup>-1</sup>
MgO <sub>2</sub>	0,1 kg. h <sup>-1</sup>	Mo	0,0003 kg. h <sup>-1</sup>
SO <sub>3</sub>	0,625 kg. h <sup>-1</sup>	Zn	0,057 kg. h <sup>-1</sup>
B	0,002 kg. h <sup>-1</sup>	/	/

### 2.3.2. Paramètres mesurés

Des échantillons de feuilles ont été prélevés à partir des deux régimes pour des analyses physiologiques. L'essai a été récolté à la fin de mois de Mai.

#### 2.3.2.1. Paramètres phénologiques

La précocité à l'épiaison a été déterminée au niveau de chaque pot par le calcul du nombre de jours entre la date de repiquage et la date d'émergence de 50 % des épis des tiges, dans chaque pot. La maturité est estimée à partir du repiquage à la date de maturité complète des génotypes.

#### 2.3.2.2. Caractères morphologiques

La hauteur de la tige est déterminée par la mesure de la distance séparant la base de la tige du sommet de l'épi sans les barbes. La longueur de l'épi a été mesurée à partir de la base

de l'épi jusqu'à son extrémité hormis les barbes. La longueur des barbes a été estimée par la mesure de l'extrémité de l'épi jusqu'à celle des barbes. La longueur du dernier entre-noeud correspond à la longueur entre le dernier noeud et la base du rachis. Une balance de précision a permis de peser le poids de l'épi, le poids de grains de l'épi et le poids total des épis. Le nombre de feuilles sur la tige principale est compté au début du stade remplissage.

La surface foliaire a été déterminée par analyse avec le logiciel ImageJ des images prises par une caméra digitale, la surface est exprimée en cm<sup>2</sup>. La longueur de la feuille la plus longue est déterminée en mesurant la longueur de la feuille la plus longue en cm. La largeur de la feuille la plus large est déterminée en mesurant la largeur de la feuille la plus large en cm.

Les racines de chaque pot sont rincées avec l'eau pour éliminer le sol, puis immergées dans une éprouvette remplie d'eau distillée. La différence entre le volume initial avant l'immersion et celui après l'immersion correspond au volume des racines. Les racines de chaque pot ont été introduites dans une étuve pendant 72 h à 80 C° ; et pesées, ce poids correspond à la biomasse racinaire (g). Le rapport entre ces deux derniers paramètres correspond au rapport racinaire.

### **2.3.2.3. Paramètre physiologique**

#### **2.3.2.3.1. Teneur relative en eau**

La teneur relative en eau a été réalisée sur des feuilles fraîchement collectées et pesées (figure 9) pour déterminer le poids frais (PF), puis hydratées à pleine turgescence par immersion dans des tubes à essai contenant de l'eau, pendant 24 h à l'obscurité et déterminer le poids turgescent (PT). Les feuilles sont ensuite séchées à l'étuve pendant 72 h à 80 C°, et pesées pour obtenir le poids sec (PS). La teneur relative en eau a été calculée selon l'équation de Barrs et Weatherley (1968) :

$$\text{TRE (\%)} = (\text{PF-PS}) / (\text{PT-PS}) \times 100$$



Figure 9. Détermination de la teneur relative en eau.

#### 2.3.2.3.2. Stabilité membranaire

La stabilité membranaire a été réalisée sur un nombre de trois feuilles échantillonnées, ces dernières ont été lavées trois fois avec l'eau distillée selon la méthode décrite par Blum et Ebercon (1981), afin d'éliminer les électrolytes qui adhèrent à leurs surfaces, puis coupées en segments de 1 cm de long. Les segments foliaires sont incubés à l'obscurité pendant 24 heures à température ambiante dans des tubes à essai contenant 10 ml d'eau distillée (figure 10). Une première lecture de la conductivité électrique a été réalisée à l'aide d'un conductimètre. Les tubes à essai contenant les segments ont été passés au bain marie à 110 °C pendant 15 minutes pour détruire le tissu végétal et libérer tous les électrolytes. Après refroidissement, la deuxième mesure de la conductivité électrique a été effectuée. La stabilité de la membrane cellulaire est calculée comme suit :

$$SM (\%) = [(1 - (T1 / T2)) / (1 - (C1 / C2))] \times 100$$

Où T1 et T2 se réfèrent respectivement à la première et à la deuxième lecture de conductivité pour le traitement régime stressé, et C1 et C2 correspondent respectivement à la première et à la deuxième lecture de conductivité pour le régime irrigué.



Figure 10. Mesure de la stabilité membranaire.

#### 2.3.2.3.3. Teneur en chlorophylle

La teneur en chlorophylle a été déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre tel que décrit par Arnon (1949). Un échantillon de 100 mg de feuilles fraîches a été broyées dans 10 ml d'acétone à 80 %; l'extrait est centrifugé à 4000 tours / min pendant 10 min (figure 11), puis le surnageant contenant les pigments a été prélevé. Les densités optiques sont lues aux longueurs d'onde 663 et 645 nm pour calculer la teneur en chlorophylle (mg/g de poids frais) comme suit :



Figure 11. Mesure de la teneur en chlorophylle.

Chl a= 12,7 DO 663 –2,69 DO 645

Chl b= 22,9 DO 645 –4,68 DO 663

Avec : DO 663 : Densité optique lue à la longueur d'onde de 663nm.

DO 645 : Densité optique lue à la longueur d'onde de 645nm.

#### 2.3.2.3.4. Teneur de la proline

La teneur en proline a été déterminée selon la méthode décrite par Trolls et Lindsley (1955) et simplifiée par Dreier et Goring (1974). Un échantillon de feuilles de 100 mg de poids frais (PF) a été broyé dans 2 ml de méthanol à 40 %. Le mélange est chauffé au bain-marie à 85 ° C pendant une heure. Après refroidissement, on prélève 1 ml d'extrait, auquel sont ajoutés 1 ml d'acide acétique puis 1 ml de réactif ninhydrine. Les tubes sont ensuite homogénéisés et placés au bain-marie à 95 ° C pendant 30 minutes. Lorsque la solution vire au rouge (figure 12), le tube contenant le milieu réactionnel est refroidi avant d'ajouter 5 ml de toluène ; puis on passe à une légère agitation à l'aide d'un vortex.



Figure 12. Dosage de la teneur en proline.

La phase supérieure contenant de la proline est prélevé à laquelle du sulfate de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) est ajouté pour éliminer l'eau. La densité optique est lue à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 520 nm et la concentration est déterminée à partir d'une courbe standard en  $\mu\text{g} / 100 \text{ mg}$  (annexe 1, figure 1) ; la courbe standard est déterminée comme suit :

Solution mère 1 : on prendre 20 mg de proline, l'ajuster à 1000 ml d'eau distillée.

Solution mère 2 : on prend 2 ml de la solution mère 1 et l'ajuster à 1000 ml par l'eau distillée.

A partir de la solution mère 2, on prend 6 tubes à essai dans lesquelles on met 1 ml de proline et à partir du 2ème tube, on augmente le volume en proline à chaque fois de 1 ml. On ajoute 1 ml d'acide acétique et de réactif Ninhydrine dans chacun de ces tubes puis on ajuste le volume à 10 ml avec de l'eau distillée. La densité optique est lue à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 520 nm pour chaque concentration en proline.

#### 2.3.2.3.5. Teneur en sucres solubles

La teneur totale en sucres solubles a été déterminée selon la méthode mise au point par Dubois *et al.* (1956). Un échantillon de 100 mg de feuilles fraîches a été coupé en segments et macérées pendant 48 heures dans un tube à essai rempli aux 2/3 d'éthanol à 80 %, puis fermé hermétiquement. L'extrait obtenu après évaporation de l'éthanol est dilué avec 20 ml d'eau distillée dont 2 ml sont prélevés et placés dans une éprouvette.

Un volume de 4 ml de réactif anthrone est ensuite ajouté. Après agitation, le tube est placé au bain Marie à 90 ° C pendant 8 minutes ; les tubes sont mis à l'obscurité pour éviter l'oxydation des sucres puis refroidis dans la glace pendant 30 minutes (figure 13). La densité optique est lue à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 585 nm et la concentration est déterminée à partir d'une courbe standard en mg / 100 mg (annexe1, figure 2) ; cette courbe est déterminée comme suit :

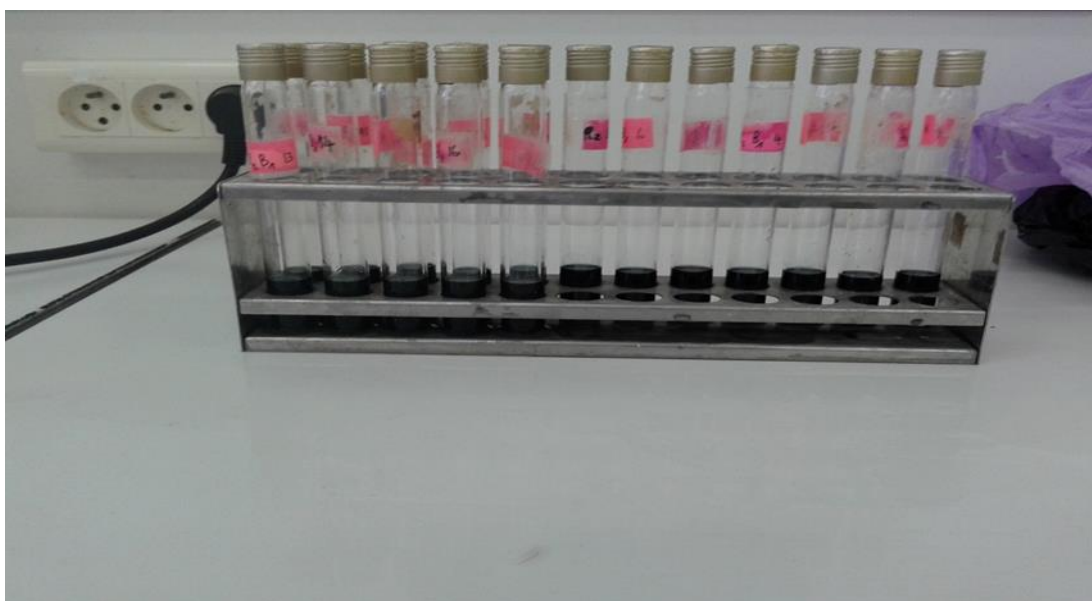


Figure 13. Dosage des sucres solubles.



Solution mère 1 : on prend 50 mg de glucose, l'ajuster à 100 ml avec l'éthanol à 80 %

Solution mère 2 : prendre 10 ml de la solution mère 1, ajuster à 100 ml avec l'éthanol à 80 %.

Prendre 10 tubes de 10 ml, numérotés de T1 à T10, y mettre respectivement de 1 à 10 ml de solution mère 2 et ajuster avec l'éthanol jusqu'à 10 ml.

Préparer 11 tubes à essai E0 à E10 et mettre 2 ml d'éthanol à 80 % dans le tube E0 ; ajouter 2 ml du tube T1 à 5 µg de glucose/ml, 2 ml du tube T2 à 10 µg de glucose/ml jusqu'à 2 ml du tube T9 à 80 µg de glucose/ml et 2 ml du tube T10 à 100 µg de glucose/ml.

Ajouter dans chaque tube 4 ml du réactif à l'antrone ; mettre au bain marie à 92° C pendant 8 mn. Refroidir les tubes dans de la glace pendant 30 mn et à l'obscurité. La densité optique est lue à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 585 nm pour chaque concentration en glucose.

#### 2.3.2.3.6. Paramètres agronomiques

A maturité, la densité des épis a été mesurée par le comptage du nombre d'épis par pot puis rapporté au m<sup>2</sup>. Un échantillon de 15 épis prélevés dans chaque pot a permis les mesures suivantes : le nombre de grains par épi ; le nombre d'épillets stériles par épi ; le poids de mille grains, sur la base d'un échantillon de 1000 grains comptés et pesés.

Le rendement en grain estimé a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{RE (q/ha)} = \boxed{\text{NEM} \times \text{NGE} \times \text{PMG} \times 10^{-4}}$$

Avec :

**RE** : Rendement en grain estimé.

**NEM** : Nombre d'épis par m<sup>2</sup>.

**NGE** : Nombre de grains par épi.

**PMG** : Poids de mille grains.

La biomasse aérienne de chaque pot a été déterminée après la récolte, le poids total (paille + épis) est exprimé en gramme puis la valeur obtenue a été rapportée en quintal par hectare. (On considère que la biomasse aérienne à ce stade est totalement sèche à cause des hautes températures après la récolte).

Le battage de la biomasse nous a permis d'obtenir le rendement en grain réel, et le calcul de l'indice de récolte, selon la formule suivante :

$$\mathbf{IR = \frac{\mathbf{Rendement\ en\ grain}}{\mathbf{Biomasse\ a\erienne}}}$$

### **2.3.3. Analyses statistiques**

Les résultats sont soumis à une analyse de la variance (ANOVA) avec un seuil de signification de 0,05 à l'aide de package agricolae de logiciel statistique R version 3.5.3 pour examiner les différences entre les génotypes d'orge testés sous régime irrigué et le régime stressé pour tous les paramètres étudiés. Des graphes ont été réalisés sur la base de la moyenne de chaque génotype pour les deux régimes à l'aide de package ggplot2. Une analyse en composante (ACP) principale a été réalisée sur l'ensemble des caractères étudiés ainsi que sur les génotypes testés pour clarifier les différentes relations existantes.

## Chapitre 3 : Résultats et discussion

### 3.1 Etude de l'interaction génotype x environnement

#### 3.1.1. Analyse de la variance

##### 3.1.1.1. Caractères phénologiques

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ( $P < 0,001$ ) entre les génotypes, entre les environnements et l'interaction génotype x environnement pour la précocité à l'épiaison et la date de maturité (annexe 2, tableau 1).

#### Site 1 (Alger)

Durant les deux campagnes agricoles 2017/2018 et 2018/2019, le génotype Jaidor a été le plus précoce pour l'épiaison à Alger (figure 14). Le génotype Plaisant/Charan01 est arrivé à maturité avant tous les autres génotypes suivis par Tissa ; cependant, Begonia reste le génotype le plus tardif à l'épiaison et a atteint la maturité en dernier (figure 15).

#### Site 2 (Sétif)

Acsad 176 a été le génotype le plus précoce à épier, cependant, Begonia a été le plus tardif et est arrivée à maturité en dernier avec Plaisant. Par contre Plaisant/Charan01 s'est caractérisé par un cycle très court et a atteint, en premier la maturité (annexe 3).

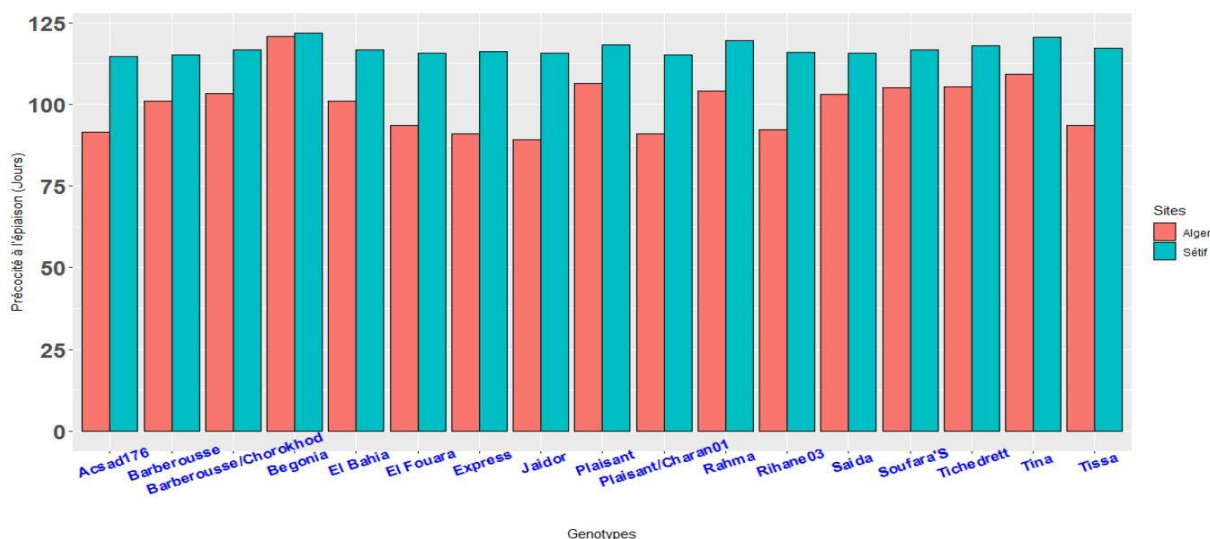


Figure 14. Précocité à l'épiaison des génotypes dans les deux sites.

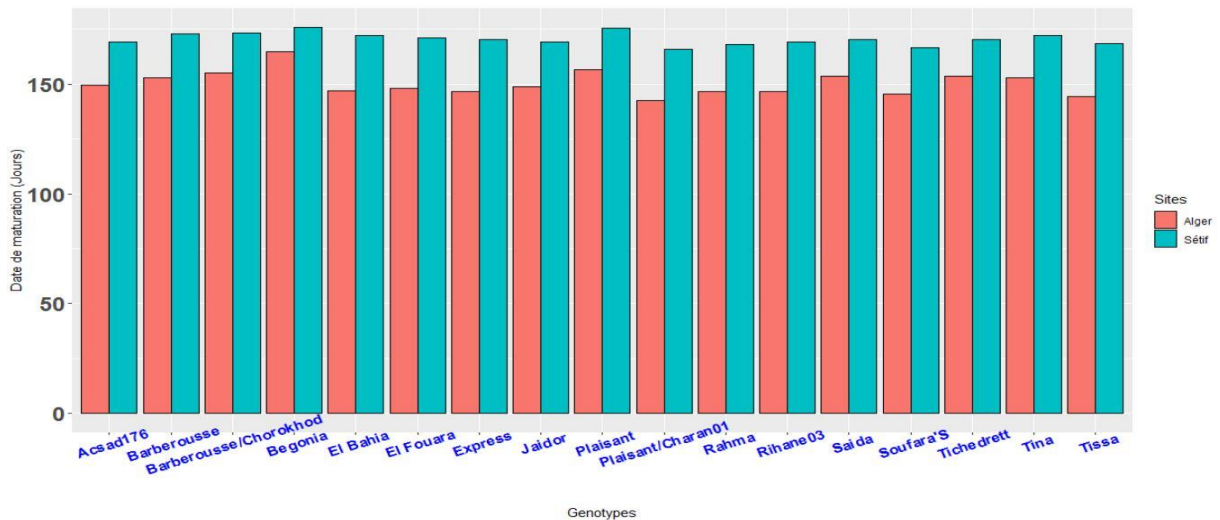


Figure 15. Date de maturité des génotypes dans les deux sites.

### 3.1.1.2. Caractères agronomiques

L'analyse de la variance a révélé des différences très hautement significatives ( $P < 0,001$ ) entre les génotypes, entre les environnements et l'interaction génotype x environnement pour tous les caractères agronomiques étudiés (annexe 2, tableau 1).

#### Site 1 (Alger)

Tissa a enregistré le nombre de plantes par mètre carré le plus élevé (figure 16). Tandis que Saïda a donné une faible densité et un faible tallage par mètre carré. Rahma s'est caractérisé par un fort tallage, qui est un caractère souhaitable en zone semi-aride (figure 17).

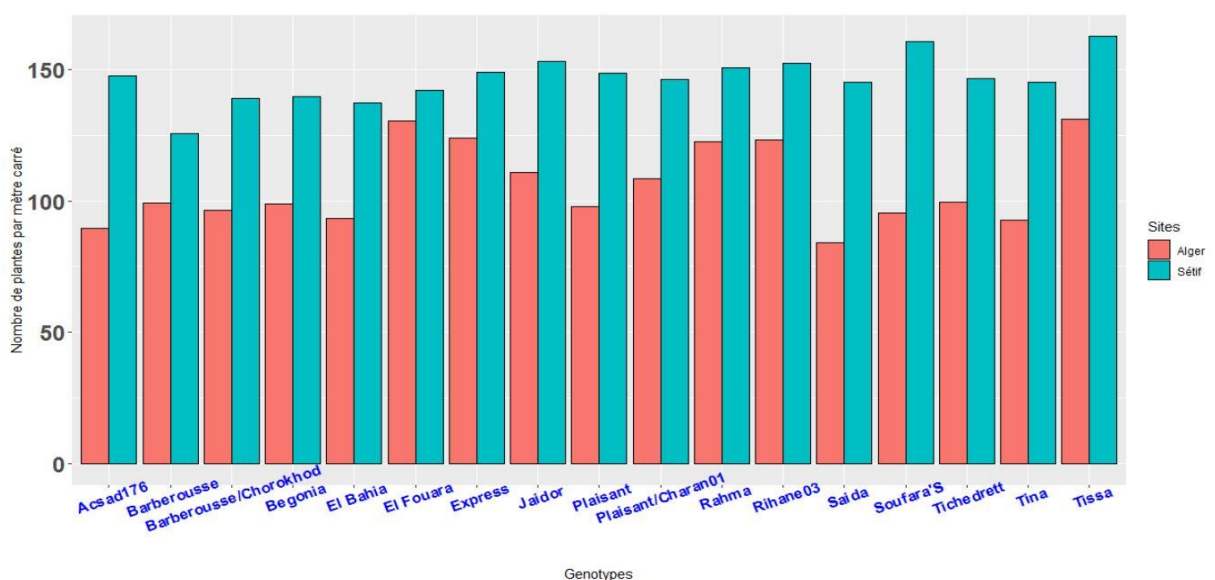


Figure 16. Nombre de plantes par mètre carré des génotypes dans les deux sites.

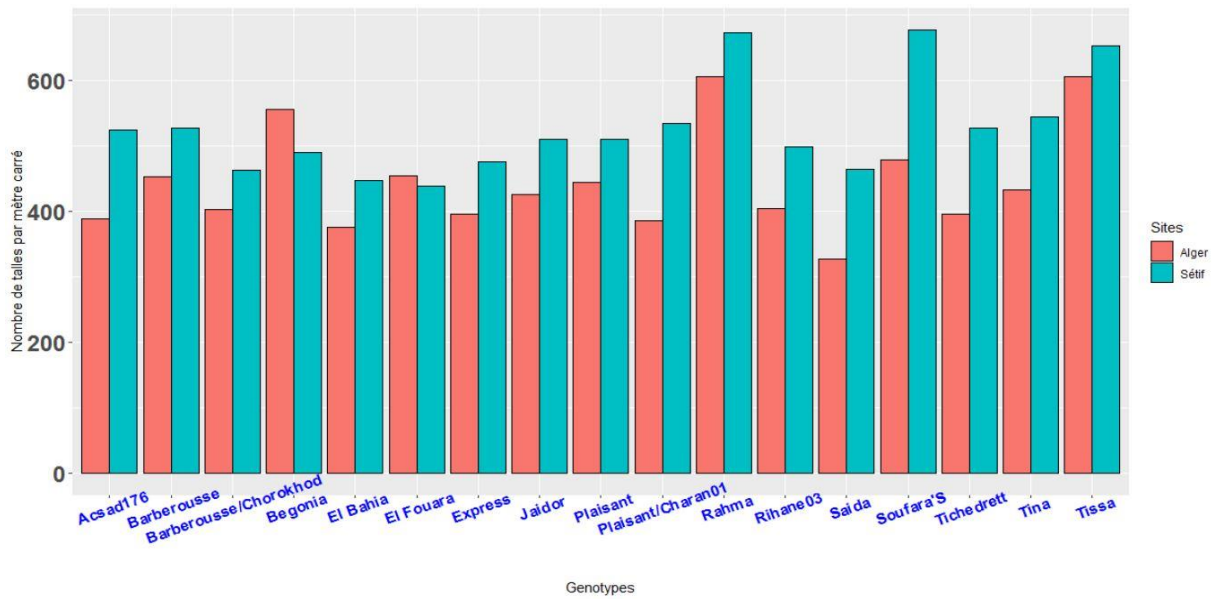


Figure 17. Nombre de talles par mètre carré des génotypes dans les deux sites.

Begonia a présenté un nombre de talles par plante élevé avec 5,53 talles /plante, tandis qu'Express a enregistré 3,42 talles/plante seulement (figure 18). On a constaté que le nombre d'épis par plante le plus élevé a été réalisé par Soufara'S avec 4,60 épis/ plante par rapport aux autres génotypes, alors que Plaisant a donné 2,50 épis/plante uniquement (figure 19).

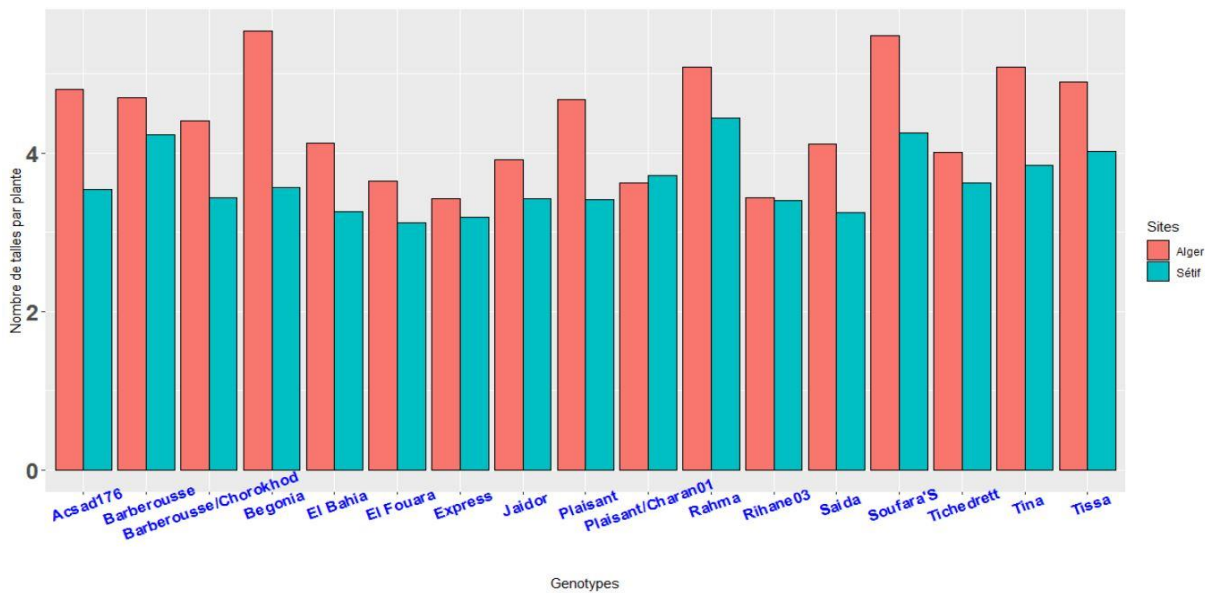


Figure 18. Nombre talles par plante des génotypes dans les deux sites.

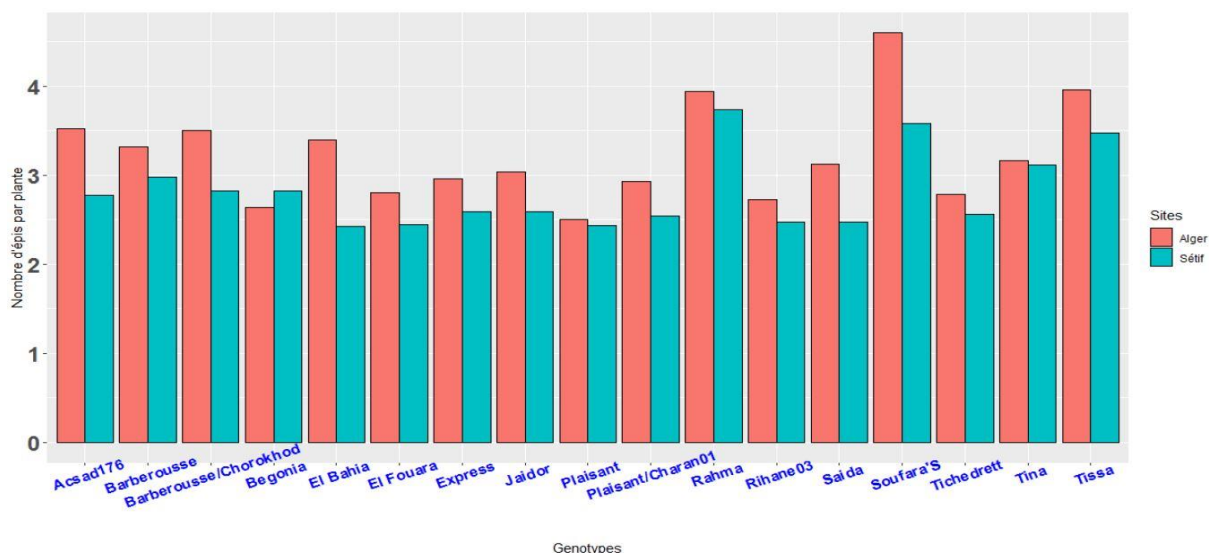


Figure 19. Nombre d'épis par plante des génotypes dans les deux sites.

Les résultats obtenus montrent que Tissa a enregistré un nombre d'épis par mètre carré de 460,63 épis/m<sup>2</sup>. En revanche, Plaisant a donné une faible densité épis dans cet environnement, avec 228,75 épis/m<sup>2</sup> (figure 20).

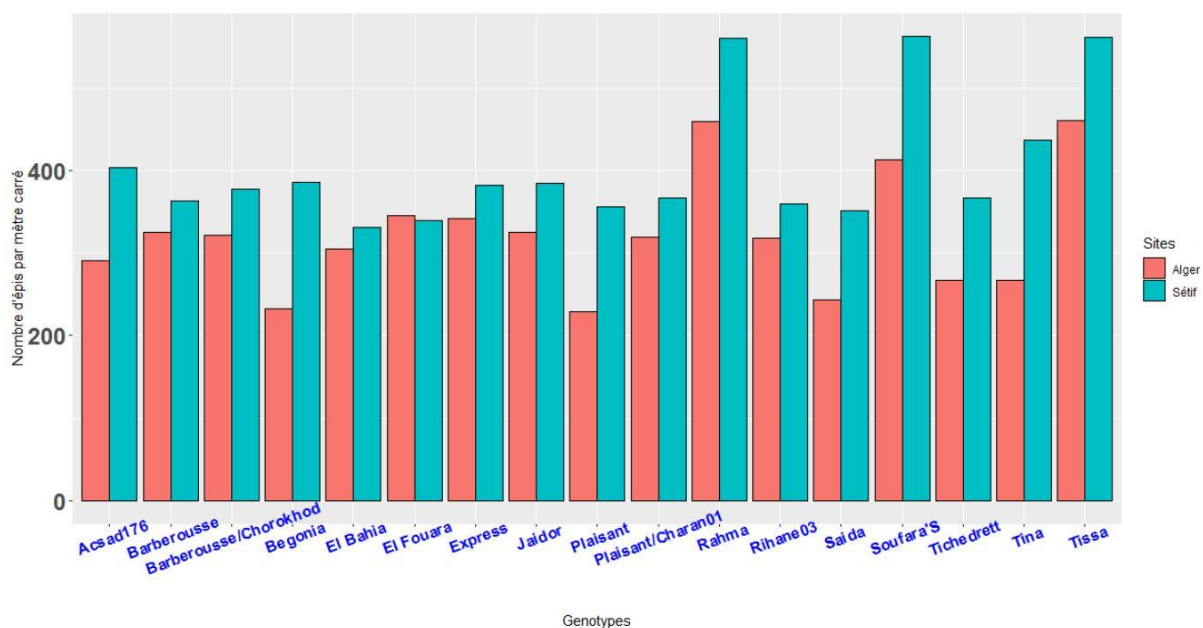


Figure 20. Nombre d'épis par mètre carré des génotypes dans les deux sites.

La fertilité de l'épi est un caractère très important pour la sélection et l'amélioration des céréales. Les épis du génotype Express portent, en moyenne, 55,23 grains/épi (figure 21), tandis que Tissa étant un génotype à deux rangs, a réalisé un faible nombre de grains par épi, avec seulement 25,93.

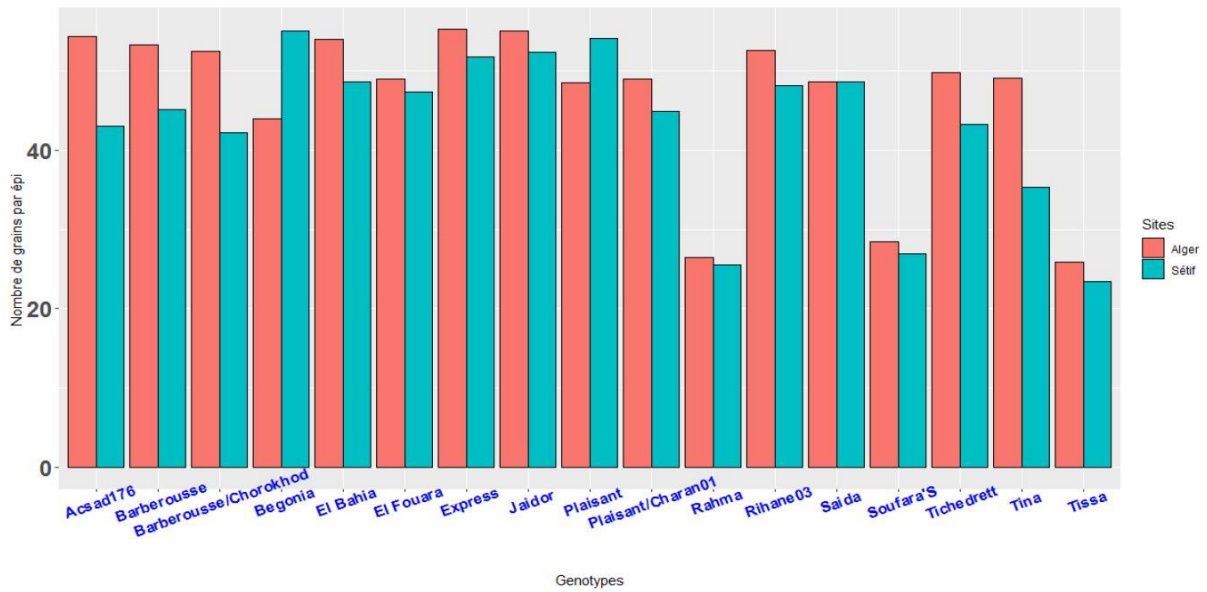


Figure 21. Nombre de grains par épi des génotypes dans les deux sites.

Le meilleur poids de mille grains a été réalisé par Saïda avec 58,81 g, tandis que, Begonia s'est mal adapté aux conditions environnementales d'Alger, en enregistrant un poids de mille grains, très faible, de 37,46 g (figure 22).

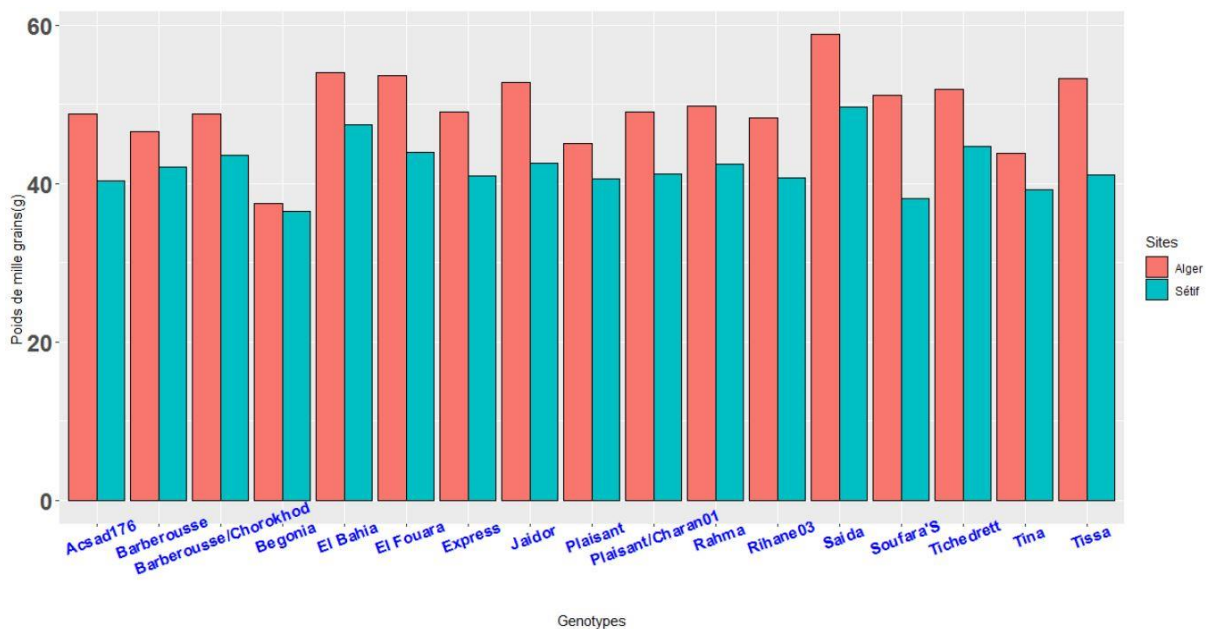


Figure 22. Poids de mille grains des génotypes dans les deux sites.

Un nombre d'épillets stériles par épi élevé (12,89 épillets stériles par épi) et un faible rendement estimé ont été enregistrés par Begonia. Tandis que Rahma a donné un faible

nombre d'épillets stériles avec 2,33 épillets stériles par épi (figure 23). Jaidor a enregistré le rendement en grain estimé le plus élevé, avec 96,72 q/ha (figure 24).

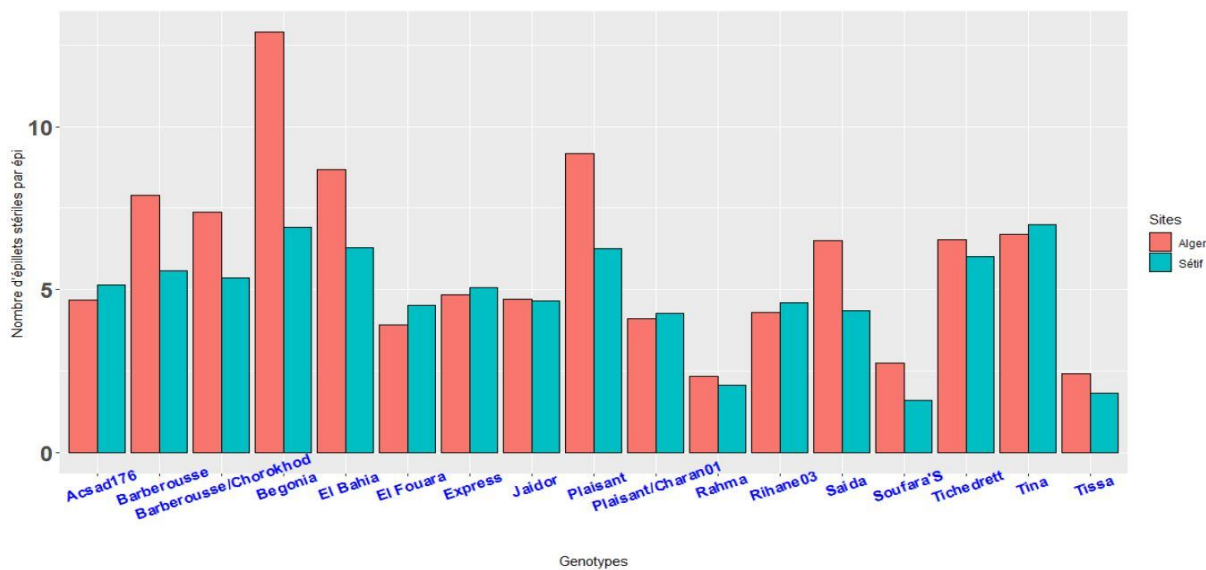


Figure 23. Nombre d'épillets stériles par épis des génotypes dans les deux sites.

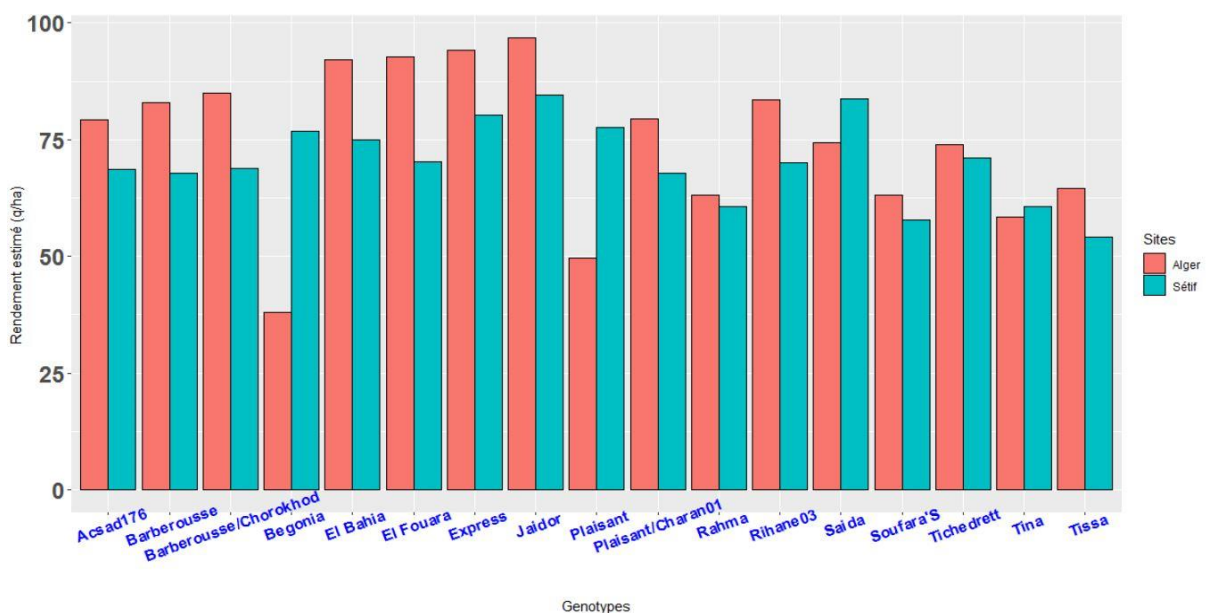


Figure 24. Rendement estimé des génotypes dans les deux sites.

Les résultats obtenus montrent qu'Express a été plus adapté au site 1 (Alger), avec un rendement en grain de 59,26 q/ha (figure 25). Au contraire, les conditions de milieu ont été moins favorables à Begonia, qui a donné un rendement en grain de 24,17 q/ha, suivi par Tina avec 29,88 q/ha.



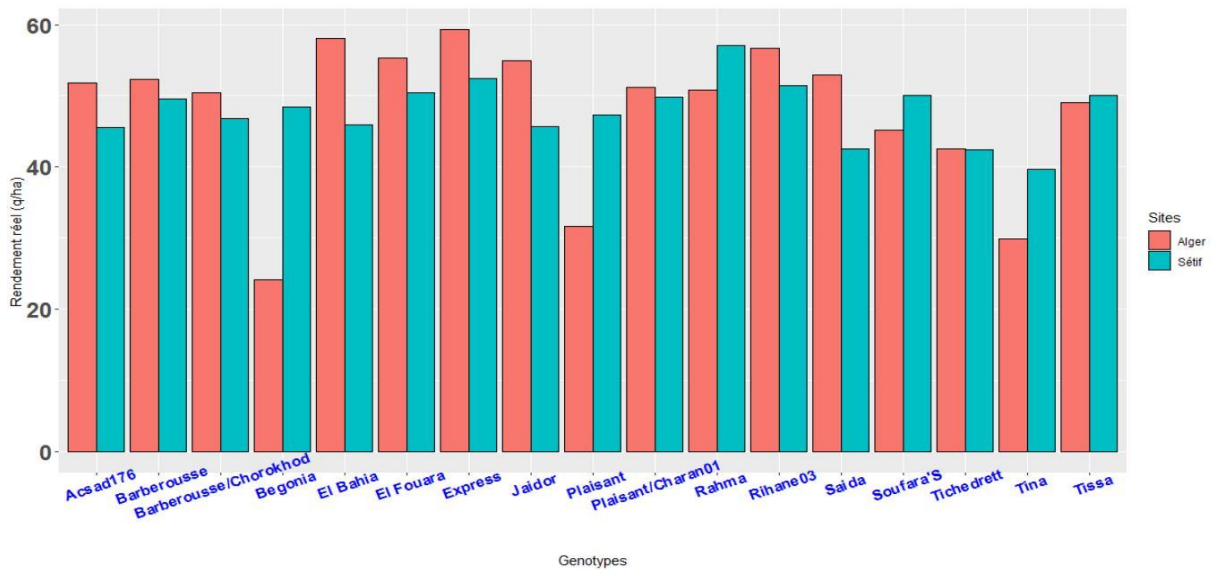


Figure 25. Rendement réel des génotypes dans les deux sites.

Saïda a donné une biomasse aérienne élevée par rapport aux autres génotypes, avec 122,82 q/ha. En revanche, Begonia figure en dernière position avec 72,25 q/ha (figure 26) et un faible indice de récolte avec 0,33. D'autre part, Express a présenté l'indice de récolte le plus élevé, avec 0,53, ce qui exprime un taux élevé de conversion de la biomasse en grain (figure 27).

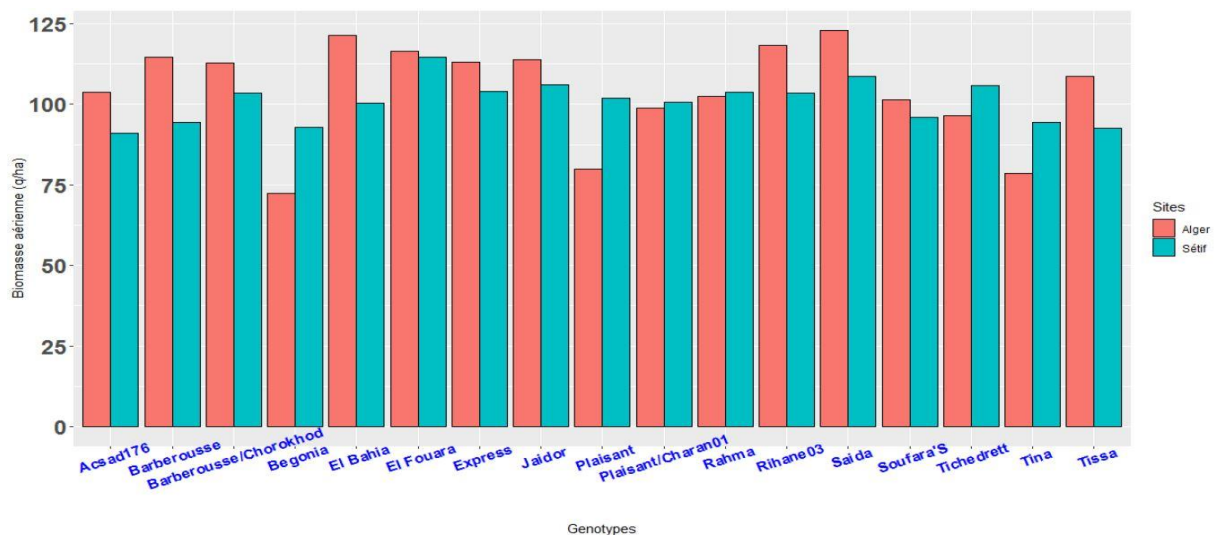


Figure 26. Biomasse aérienne des génotypes dans les deux sites.

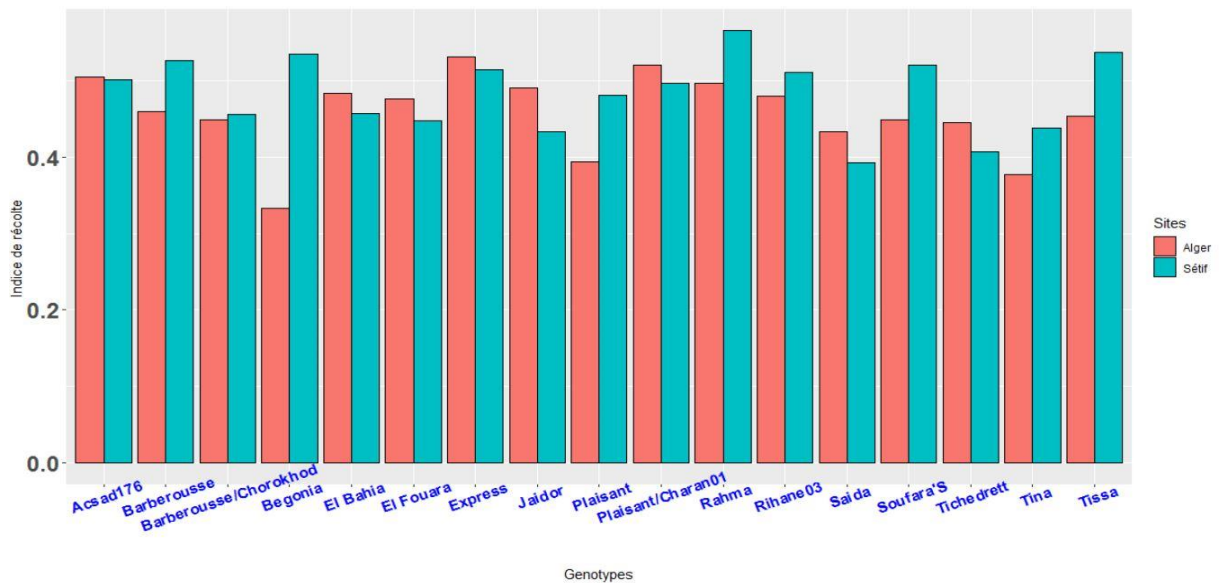


Figure 27. Indice de récolte des génotypes dans les deux sites.

Au stade épiaison, Soufara'S s'est distinguée par une biomasse des tiges élevée, avec 37,18 q/ha. Barberousse/Chorokhod, avec un poids de 16,55 q/ha, a réalisé la biomasse des feuilles la plus élevée. Contrairement à Rihane 03 qui a donné la biomasse des épis la plus élevée, soit 16,26 q/ha, ainsi qu'une faible biomasse des feuilles. Begonia s'est distingué par une biomasse des tiges de 16,21 q/ha, une biomasse des épis de 5,19 q/ha, ainsi que la biomasse totale la plus faible par rapport à tous les génotypes étudiés, avec 35,80 q/ha. En revanche, Saïda a donné la biomasse totale à l'épiaison la plus élevée avec 67,67 q/ha.

### Site 2 (Sétif)

Tissa a réalisé la densité de peuplement la plus élevée, contrairement à Barberousse qui a enregistré un faible nombre de plantes par mètre carré. Soufara'S réalise un fort tallage à l'opposé d'El Fouara qui réalise un faible tallage par mètre carré. Le nombre de talles par plante, et le nombre d'épis par plante les plus élevés, ont été obtenu par Rahma. El Fouara et El Bahia ont enregistré le nombre de talles par plante et le nombre d'épis par plante les plus faibles respectivement. Barberousse a permis l'obtention d'un faible pourcentage de talles fertiles (annexe 3).

Le nombre d'épis par mètre carré était le plus élevé chez Soufara'S avec 561,88 épis/m<sup>2</sup>, contrairement à El Bahia qui a présenté la plus faible densité des épis avec, seulement, 330,94 épis/m<sup>2</sup>.

Begonia a montré son adaptation à cet environnement, en donnant un nombre de grains par épi le plus élevé (55,11 grains/ épi), par contre elle a donné un faible poids de mille grains, avec 36,49 g. Les résultats montrent que Tissa a été moins fertile avec 23,48 grains/épi, et Saïda s'est caractérisé par le poids de mille grains le plus élevé dans cet environnement avec 49,62 g.

Le nombre d'épillets stériles par épi et le rendement estimé les plus élevés ont été enregistrés par Tina et Jaidor respectivement. Cependant les plus faibles valeurs ont été enregistré par Soufara'S et Tissa respectivement. A Sétif, Rahma était le génotype le plus productif avec 57,11 q/ha tandis que Tina était le génotype le moins productif avec un rendement en grain de 39,72 q/ha.

D'après les résultats obtenus, El Fouara a présenté une forte biomasse aérienne avec 114,54 q/ha, contrairement à Acsad176 qui a réalisé une biomasse de 91,08 q/ha. Les résultats indiquent que Rahma s'est distinguée par l'indice de récolte le plus élevé ; par contre un faible indice de récolte a été réalisé par Saïda.

Au stade épiaison, El Fouara a donné la biomasse totale et la biomasse des tiges les plus élevées avec, 65,57 q/ha et 46,58 q/ha respectivement (figure 28). Saïda a réalisé la biomasse des feuilles à l'épiaison la plus élevée avec 11,07 q/ha (figure 29) et Rihane03 a donné une biomasse des épis la plus élevée avec 11,57 q/ha (figure 30).

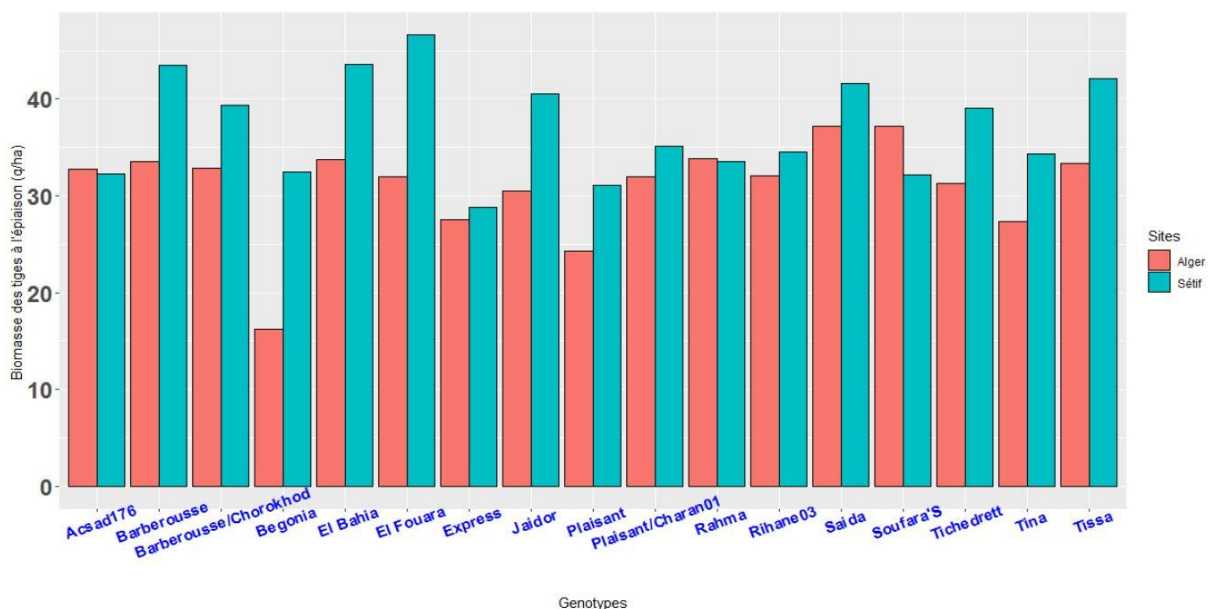


Figure 28. Biomasse des tiges à l'épiaison des génotypes dans les deux sites.

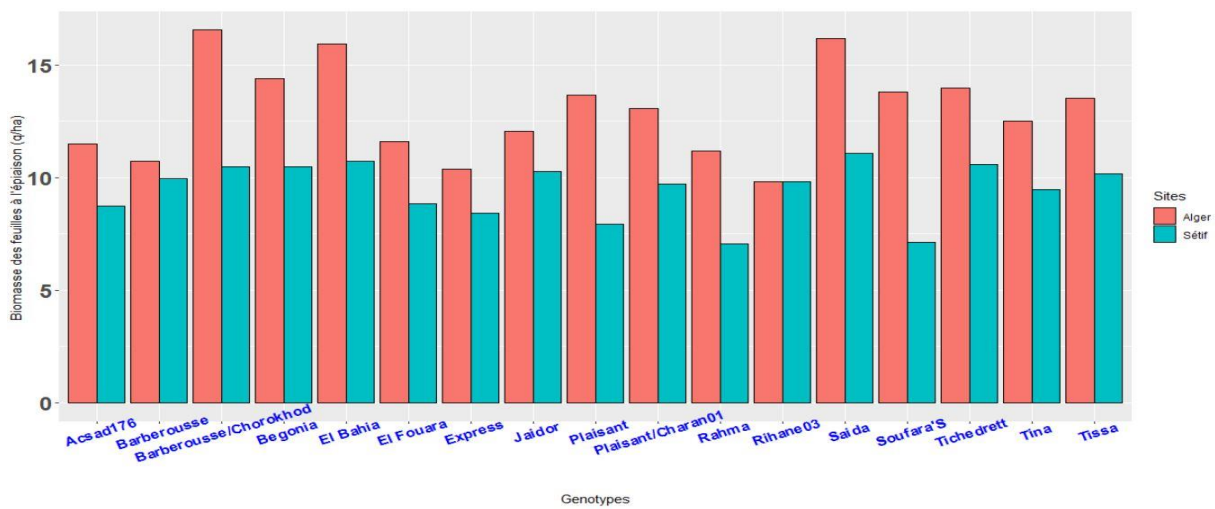


Figure 29. Biomasse des feuilles à l'épiaison des génotypes dans les deux sites.

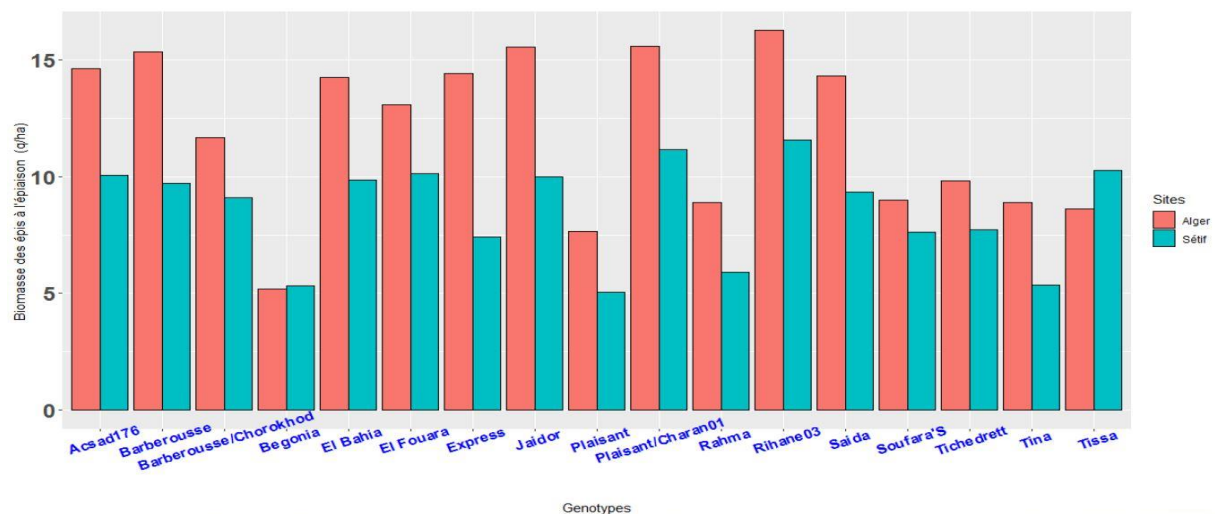


Figure 30. Biomasse des épis à l'épiaison des génotypes dans les deux sites.

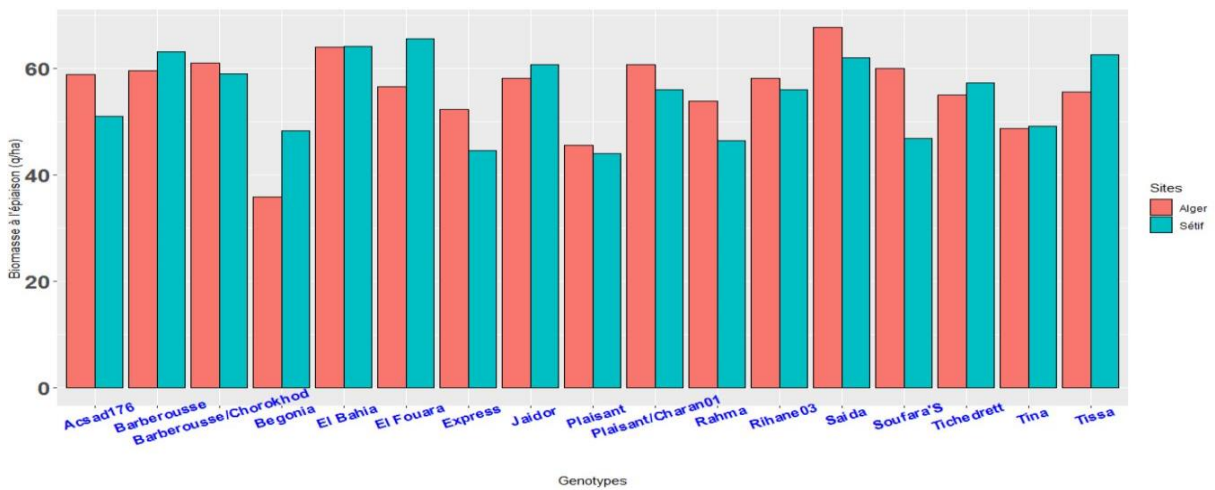


Figure 31. Biomasse à l'épiaison des génotypes dans les deux sites.

Plaisant a enregistré la biomasse des tiges et la biomasse des épis à l'épiaison les plus faibles, par rapport aux autres génotypes, par conséquent, ce génotype a donné une faible biomasse totale à l'épiaison avec 44,06 q/ha (figure 31). Cependant, Rahma a réalisé une faible biomasse des feuilles à l'épiaison avec 7,05 q/ha.

### 3.1.1.3. Caractères morphologiques

Les résultats de l'analyse de la variance ont été rapportés dans le tableau 1, annexe 2. Une différence très hautement significative ( $<0,001$ ) est notée pour l'effet génotype et celui lié aux environnements, ceci pour tous les caractères morphologiques étudiés (annexe 2, tableau1). Une différence très hautement significative ( $<0,001$ ) a été observé pour l'effet de l'interaction génotype x environnement, et ce pour l'ensemble des caractères morphologiques, à l'exception de la surface foliaire dont la différence a été hautement significative ( $<0,01$ ).

#### Site 1 (Alger)

Les résultats obtenus montrent que Tina se caractérise par une tige et un dernier entre-noeud les plus longs par rapport à ceux des autres génotypes. Par contre, Begonia a présenté une tige et un col de l'épi les plus courts (figure 32 et 33). Soufara'S a enregistré les épis les plus long, avec 9,18 cm, tandis que Rihane 03 a enregistré des épis de 5,38 cm (figure 34).

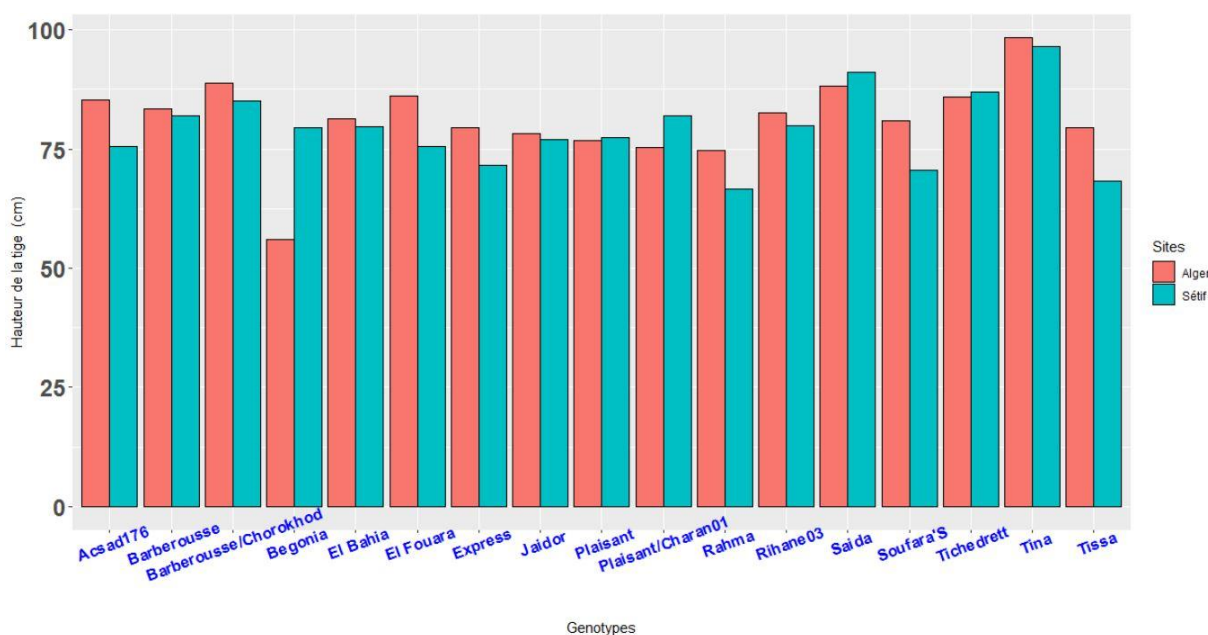


Figure 32. Hauteur de la tige génotypes dans les deux sites.

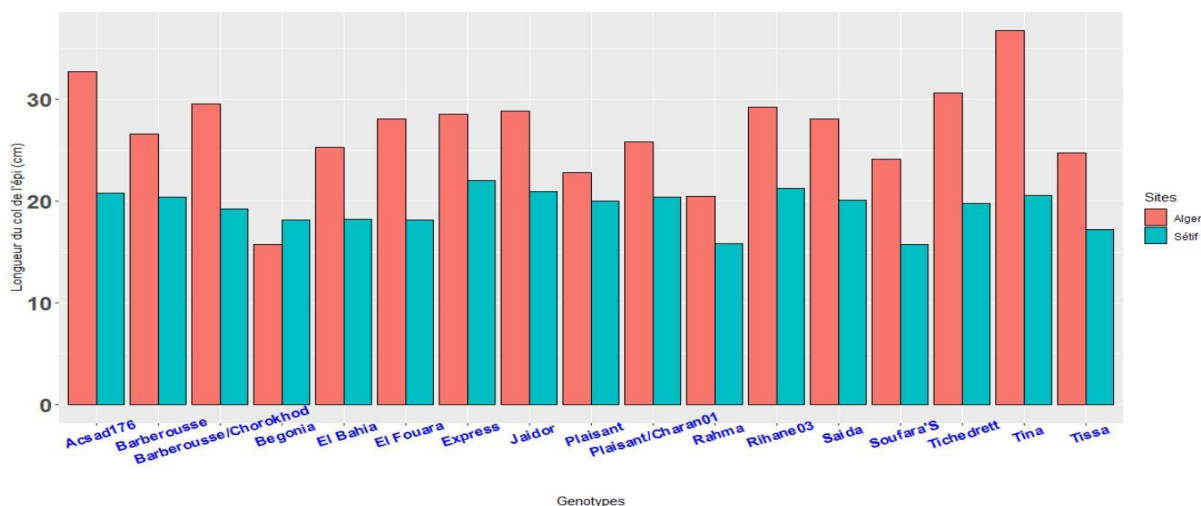


Figure 33. Longueur du dernier entre-noeud des génotypes dans les deux sites.

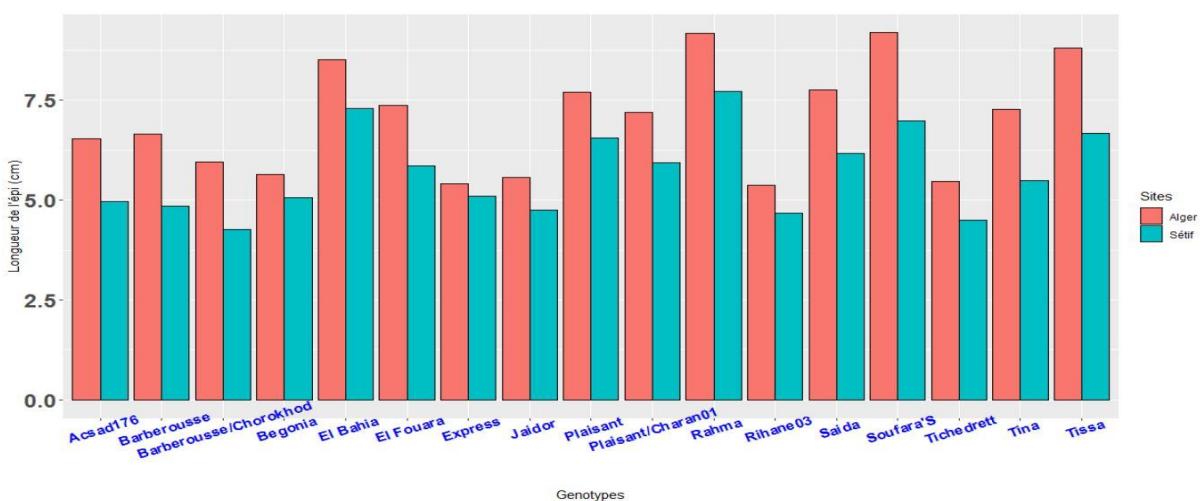


Figure 34. Longueur de l'épi des génotypes dans les deux sites.

Tichedrett s'est distinguée par des barbes très longues avec 15,55 cm. En revanche, Rahma a formé des barbes très courtes, avec 9,57 cm, un poids de l'épi (1,78 g) et un poids des grains de l'épi (1,44 g) faibles. Cependant, El Bahia figure en première position pour les caractères poids de l'épi avec 4,05 g et poids de grains de l'épi avec 3,30 g ; ce génotype dispose d'un nombre de feuilles élevé avec 6,21 feuilles et une surface foliaire importante de 29,13 cm<sup>2</sup>. Express a présenté un faible nombre de feuilles qui a été de 5,20, et Rahma s'est caractérisé par une surface foliaire très réduite, avec une moyenne de 15,56 cm<sup>2</sup> (annexe 3).

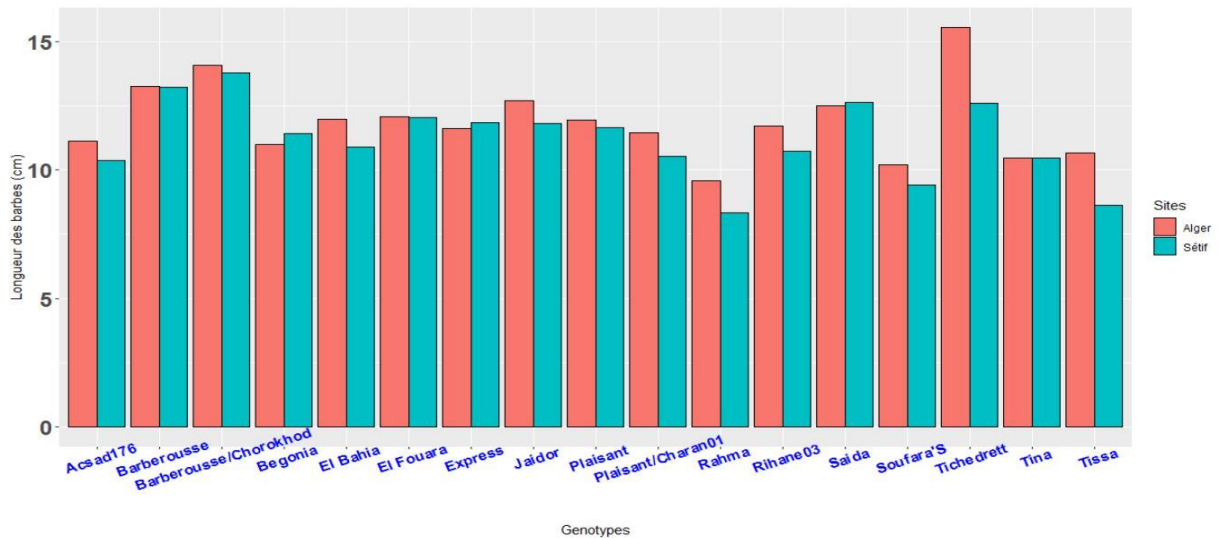


Figure 35. Longueur des barbes des génotypes dans les deux sites.

### Site 2 (Sétif)

Tina s'est caractérisée par une longue tige, de 96,4 cm. Rahma a présenté une tige très courte de 66,68 cm, un épi très long avec 7,71 cm et des barbes très courtes avec 8,34 cm. le génotype Barberousse/Chorokhod a donné des épis courts, de 4,26 cm et de longues barbes de 13,79 cm.

Le génotype Express a donné une longueur du dernier entre-noeud la plus élevée dans ce site, avec 22,02 cm, tandis que Soufara'S a enregistré la plus faible longueur avec 15,79 cm.

Dans cet environnement, les résultats obtenus ont montré que Saïda a développé un poids des épis et des grains de l'épi les plus élevés, contrairement à Tissa dont ces deux caractères ont été les plus réduits (figures 36 et 37).

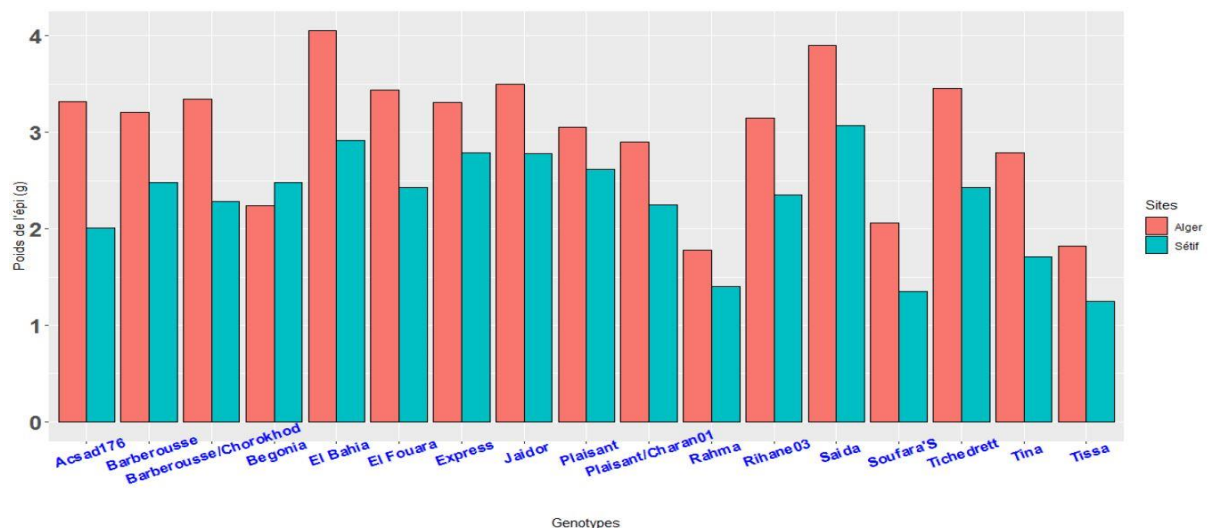


Figure 36. Poids de l'épi des génotypes dans les deux sites.

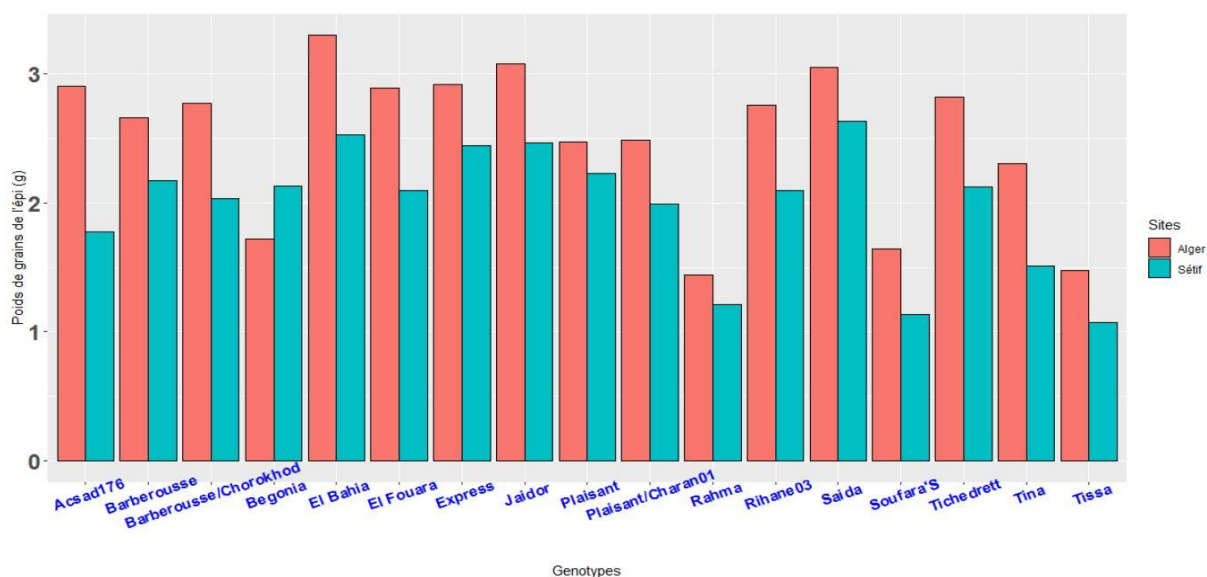


Figure 37. Poids des grains de l'épi des génotypes dans les deux sites.

Barberousse a enregistré un nombre de feuilles relativement élevé, 5,93 feuilles par rapport à 5,25 feuilles, le nombre le plus faible réalisé par Plaisant (figure 38). Pour la surface foliaire, El Bahia figure en première position avec de 24,49 cm<sup>2</sup> ; tandis que, Rahma figure en dernière position avec une surface foliaire très réduite, de 11,66 cm<sup>2</sup> (figure 39).

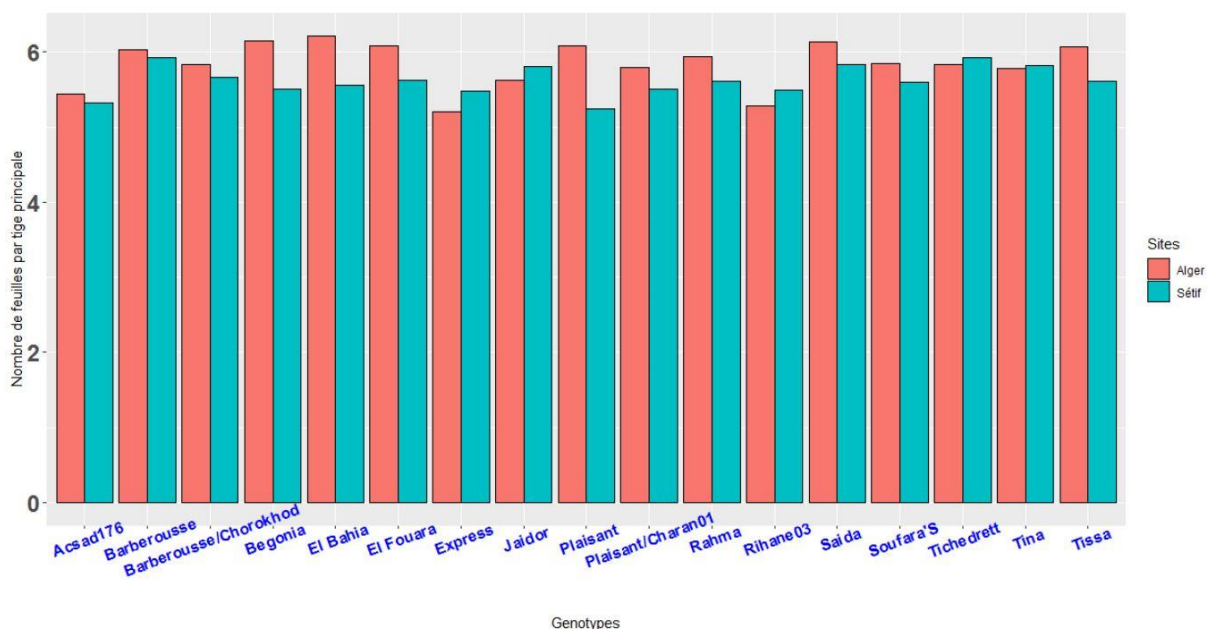


Figure 38. Nombre de feuilles par tige principale des génotypes dans les deux sites.



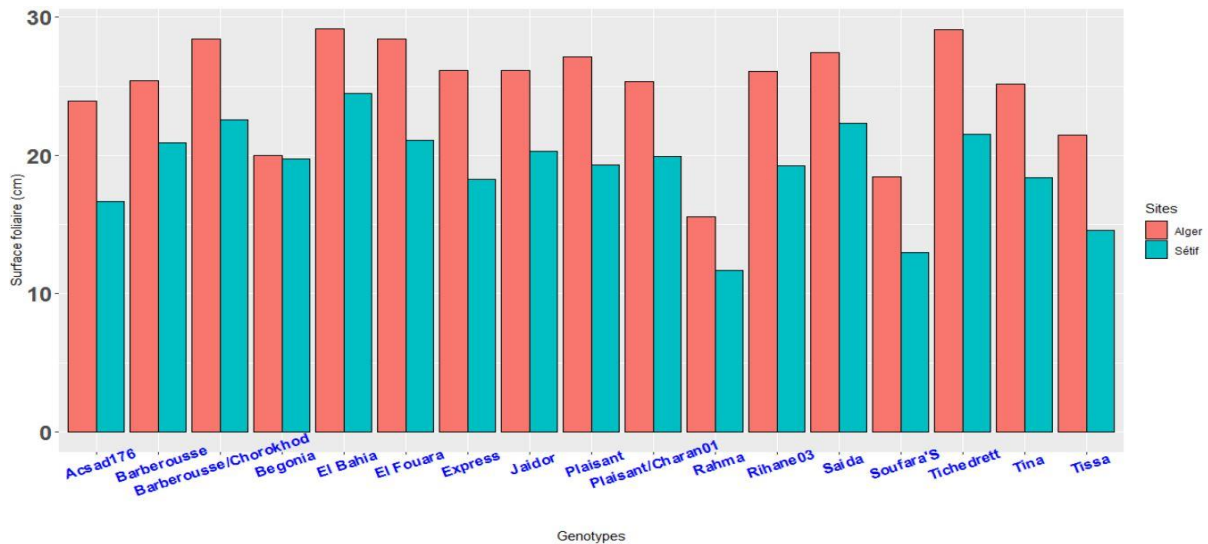


Figure 39. Surface foliaire des génotypes dans les deux sites.

### 3.1.1.4. Caractères physiologiques

Les résultats de l'analyse de la variance ont montré l'existence de différences significatives de la teneur en chlorophylle  $a+b$  pour l'effet génotype, seulement. Une différence très hautement significative de l'effet environnements a été observée pour la teneur en chlorophylle  $a$ , la teneur en chlorophylle  $b$  et la teneur en chlorophylle  $a+b$  (annexe 2, tableau 1).

#### Site 1 (Alger)

Les feuilles du génotype Express contiennent une teneur en chlorophylle  $a$  la plus élevée avec 4,66 mg/g de MF (figure 40). Barberousse/Chorokhod semble être moins riche en chlorophylle  $a$  avec 3,22 mg/g de MF ; Tichedrett figure en dernière position avec une teneur en chlorophylle  $b$  de 25,60 mg/g de MF (figure 41) et une teneur en chlorophylle  $a+b$  de 28,96 mg/g de MF. Acsad176 dispose d'une forte teneur en chlorophylle  $b$  et en chlorophylle  $a+b$  dans les deux environnements Alger et Sétif (annexe 3).

#### Site 2 (Sétif)

Bégonia semble être plus adapté à la région de Sétif, cela est confirmé par la présence d'une forte teneur en chlorophylle  $a$  avec 7,39 mg/g MF. Tichedrett semble être plus pauvre en chlorophylle  $a$  et  $b$  et en chlorophylle  $a+b$  avec 5,26 mg/g MF, 23,86 mg/g MF et 29,13 mg/g MF respectivement (figure 42).

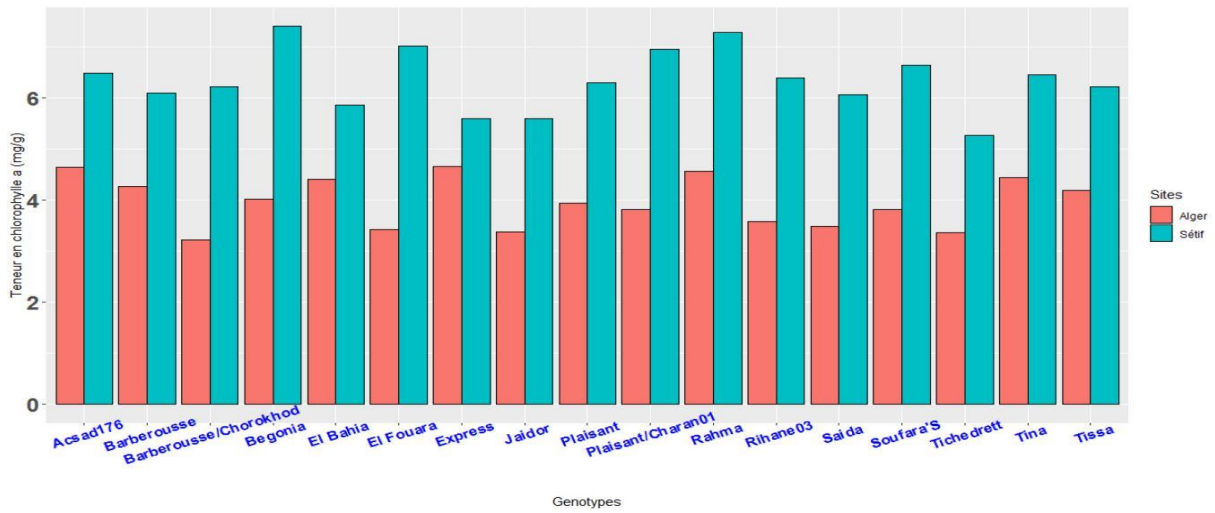


Figure 40. Teneur en chlorophylle a des génotypes dans les deux sites.

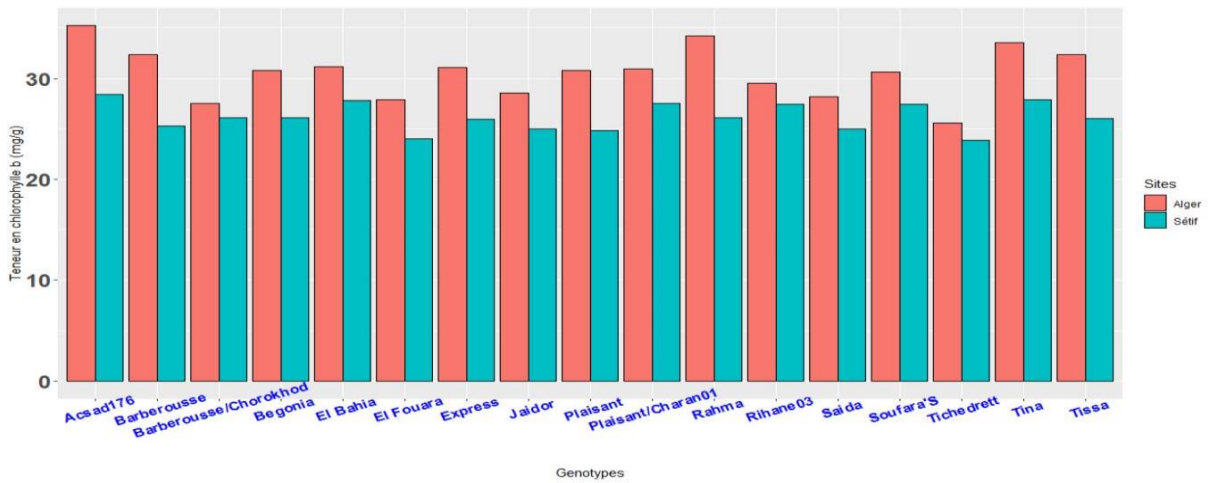


Figure 41. Teneur en chlorophylle b des génotypes dans les deux sites.

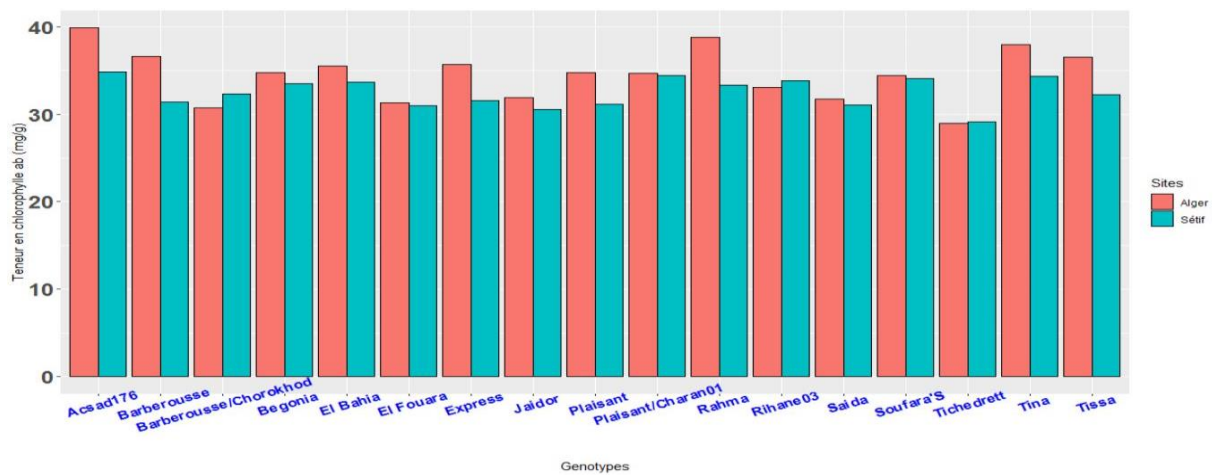


Figure 42. Teneur en chlorophylle a+b des génotypes dans les deux sites.

### **3.1.1.5. Discussion**

#### **3.1.1.5.1 Caractères phénologiques**

La présente étude a montré la grande variabilité des génotypes d'orge, exprimée par leurs réponses vis-à-vis du milieu, pour les caractères phénologiques, agronomiques, morphologiques et physiologiques, c'est-à-dire la forte influence des facteurs environnementaux sur ces caractères.

Le climat doux, avec une bonne précipitation, qui caractérise le site d'Alger a permis un meilleur développement de certains génotypes, ainsi que leur bonne adaptation, contrairement à d'autres génotypes qui ont montré une très faible adaptation à ce site. C'est le cas des génotypes : Tina, Bégonia et Plaisant. En effet, ces deux derniers génotypes sont des orges d'hiver et ont un besoin élevé en froids pour transiter de la phase de végétation à la phase de reproduction, ce qui a prolongé la phase de tallage. Un tel comportement modifie le cycle de développement des génotypes, et retarde leur maturité. Begonia a présenté un cycle très long dans les quatre environnements, suivi par Tina. Ce dernier génotype a présenté un taux de croissance très faible pendant la période de montaison, qui s'est traduit par un retard pour le stade épiaison.

Les gènes de vernalisation bloquent la floraison pendant l'hiver et protègent, ainsi, les organes floraux contre le froid. L'une des conditions préalables à l'expansion de la production d'orge est le développement d'une habitude de croissance printanière (pas ou besoin moindres en vernalisation) (Pourkheirandish et Komatsuda, 2007) ; en fait, les variétés d'orge d'hiver nécessitent une période stimulante de froid (vernalisation) pour l'initiation et le développement florale (OGTR, 2008). Selon Castro *et al.* (2007), la phénologie est un facteur clé d'adaptation des plantes aux environnements, elle affecte le potentiel de rendement. En fait, la précocité à la floraison garantit une pollinisation, un développement des grains et une maturité dans une période optimale (Gurel *et al.*, 2016) et elle peut être exploitée comme critère de sélection pour améliorer les productions dans les zones sèches (Ben Salem *et al.*, 1997).

Le contrôle de la floraison a des impacts importants sur le rendement des céréales. La variation des réponses aux signaux environnementaux telles que la longueur du jour et la vernalisation ont été sélectionnée chez de nombreuses céréales, pour une adaptation aux différents environnements et les pratiques agricoles (Wang *et al.*, 2010).

### 3.1.1.5.2. Caractères agronomiques

En Algérie, où les conditions environnementales ne sont pas, toujours, optimales en raison de l'irrégularité des précipitations durant le cycle des céréales. La performance phénotypique d'un génotype diffère considérablement dans les différentes conditions agro-climatiques.

L'analyse de la stabilité fournit une indication générale de la réponse des génotypes aux changements environnementaux. Car elle a une importance considérable dans le choix des variétés pour les différentes régions (Hanifi-Mekliche *et al.*, 2011).

L'adaptation à un environnement change le comportement des génotypes, y compris les caractères agronomiques. En fait, le nombre de plantes par mètre carré est influencé, d'une part par la qualité de travail du sol, par la qualité du sol et d'autre part il est influencé surtout par l'humidité et la température du sol, étant donné que ces deux derniers paramètres peuvent affecter la germination des grains. La capacité de tallage reste un caractère souhaité en zone semi-aride, il permet à la plante de construire une biomasse suffisante pour faire face aux périodes difficiles de fin cycle, qui sont souvent caractérisées par un déficit hydrique et de hautes températures, d'où la nécessité de stockage de l'eau dans les parties aériennes en phase végétative. La capacité de tallage permet aussi d'avoir plus d'épis par plante ce qui contribue à l'augmentation de la productivité. La densité des épis est le résultat de la capacité génétique et de tallage de génotype ainsi que de sa précocité, c'est le cas de génotype Rahma qui a montré un bon tallage, un bon nombre d'épis et une bonne productivité.

Il est clair qu'un génotype tardif risque d'avoir moins d'épis par plante à cause de l'occurrence du manque d'eau en fin cycle. Le nombre d'épillets stériles est favorisé par la tardiveté. En effet, les températures élevées et le déficit hydrique perturbent la fécondation de l'ovaire. Dans notre cas, Begonia a été très affecté par ces stress à cause de sa tardiveté. La température est l'un des facteurs environnementaux qui détermine la croissance et le développement de l'orge. Selon Fowler *et al.* (2001), la résistance aux gelées peut être due à l'échappement au stress et elle dépend d'une bonne intégration, régulation et développement des gènes. En fait, ces deux facteurs climatiques, hautes températures et stress hydrique, représentent des stress environnementaux fréquents dans les hautes plaines et dont les effets se manifestent surtout sur les génotypes tardifs.

Le nombre de grains par épi et le poids de mille grains sont considérés comme des facteurs déterminants de la productivité de l'orge. En effet, ils résultent de l'interaction du génotype avec son milieu, à savoir une bonne nutrition minérale et hydrique, ainsi que des

températures optimales en période de reproduction. Certains génotypes réduisent le nombre de grains en cas de stress pour réduire la concurrence entre les grains de l'épi. Cette stratégie permet de minimiser l'avortement des épillets.

Le poids de mille grains est affecté par l'état hydrique de la plante et par l'accumulation des assimilats de la photosynthèse. Les grains de taille réduite résultent d'une mauvaise alimentation hydrique et de la faible migration des photosynthétats. Ces deux caractères constituent, avec la densité des épis, les composantes du rendement qui doivent être prises en considération dans les programmes de sélection, pour l'adaptation des génotypes aux conditions du milieu.

Le gel provoque l'avortement des fleurs des épis, ainsi que des dommages sur le développement des céréales, et dont l'impact est négatif sur le rendement et sa qualité (Reinheimer *et al.*, 2004).

Le rendement en grain est le caractère le plus étudié dans les essais multilocaux, car il est le résultat de l'interaction de la structure génétique d'un génotype avec les facteurs environnementaux et par conséquent la productivité du génotype. Il est, aussi, formé par la contribution des différents caractères telle que la biomasse aérienne, notamment, en zone semi-aride. Une bonne biomasse au stade épiaison permet à la plante d'accumuler plus d'eau et d'assimilats, en conséquence, elle lui permettra d'assurer le bon développement de ces organes, notamment l'épi, et la résistance aux aléas climatiques tels que le stress hydrique et les hautes températures de fin cycle.

Une partie importante des assimilats stockés est transmise aux grains, et contribue à l'élaboration du rendement, le degré de cette conversion représente l'indice de récolte. Une production de biomasse élevée au stade épiaison est un caractère intéressant et très recherchée en amélioration et en sélection de l'orge destinée à l'exploitation en tant que fourrage vert seul ou en association. Par conséquent, Saïda convient plus pour le site Alger avec une production de biomasse de 67,67 q/ha, alors qu'Elfouara conviendrait plus au site de Sétif avec 65,57 q/ha (annexe 3). Les résultats obtenus s'accordent avec ceux de Von Alexandra (2015), qui a affirmé que la biomasse au stade épiaison reste un critère essentiel pour la sélection des génotypes à travers les différents environnements.

Les sélectionneurs ont pu augmenter la biomasse des cultures, comme principal moyen pour obtenir un rendement élevé. En fait, la sélection pour l'augmentation du rendement de

blé et de l'orge a été fortement dépendante du partage de la biomasse, représentée par un indice de récolte plus élevé (Araus *et al.*, 2004).

La sélection sur la base de la biomasse aérienne semble plus prometteuse dans la réduction de la variabilité interannuelle des rendements, mais reste soumise à l'influence des années parce qu'elle est la résultante de plusieurs caractères. La sélection sur la base d'un seul caractère dans un milieu aussi variable que celui pour lequel la sélection est envisagée, est peu efficace, d'où l'intérêt d'une sélection multi-caractère. Cette dernière doit tenir compte, en plus du rendement en grain, de la précocité à l'épiaison et la biomasse aérienne qui est un bon indicateur de l'adaptation au milieu et de l'efficacité d'utilisation de l'eau (Bouzerzour *et al.*, 1998).

### **3.1.1.5.3 Caractères morphologiques**

Les caractères morphologiques d'un génotype résultent de l'interaction des effets génétiques et environnementaux, à savoir les régions, les saisons de culture, les années, les précipitations, la quantité de précipitations reçues et la température etc. Les effets liés à l'environnement influencent les génotypes de manière positive ou négative. L'ampleur de l'interaction génotype x environnement aide à déterminer la large adaptation d'un génotype à une gamme de sites, ou à déterminer des génotypes spécifiques à différentes conditions environnementales (Verma *et al.*, 2016b).

L'adaptation d'un génotype est le résultat de modifications de certains caractères phénologiques, agronomique ou morphologique. Ces adaptations contribuent à l'élaboration du rendement. Une grande variabilité entre les génotypes a été observée pour la hauteur de la tige, la longueur de l'épi et la longueur des barbes, permettant leur considération comme critères de sélection dans les programmes d'amélioration. Un épi plus lâche aura une possibilité de porter plus de grains si on vise à augmenter le nombre de grains par épi. Les barbes participent, aussi, dans la photosynthèse de la plante et peuvent être utilisés comme un critère dans la sélection. Selon Alam *et al.* (2007), la hauteur de la tige est un caractère morphologique lié directement au potentiel de production de la plante.

D'autres paramètres, telle que la longueur du dernier entre-noeud, présentent une importance dans la sélection indirecte pour le rendement, car cet organe est utilisé par les plantes pour le stockage des produits de la photosynthèse. Les différences observées reviennent à la variabilité existante entre les génotypes testés. Ces derniers donnent des longueurs différentes dans chaque milieu, justifié par la présence de l'interaction. Les

génotypes réagissent via les caractères morphologiques, en réponse au milieu, pour assurer leur adaptation. Lorsqu'un stress hydrique affecte une plante elle essaie de minimiser la consommation d'eau en réduisant l'élongation de col de l'épi (partie visible du dernier entrenœud) puisque l'eau passe prioritairement vers l'épi cette réaction constitue l'un des mécanismes d'adaptation morphologiques chez les céréales et elle explique la différence de comportement des génotypes dans chaque environnement testé.

Les facteurs environnementaux affectent aussi le poids de l'épi et celui des grains de l'épi. Ces deux paramètres varient d'un génotype à un autre, notamment, entre ceux à deux rangs et ceux à six rangs. L'eau étant un facteur limitant de la croissance chez tous les végétaux, elle provoque en cas de déficit un faible remplissage des grains et même l'avortement de l'épillet ce qui conduit à avoir un faible poids de l'épi et des grains de l'épi.

Les basses températures aussi bien que les hautes températures, au moment de la reproduction, peuvent empêcher le déroulement de la fécondation de l'ovaire provoquant, ainsi, l'avortement d'un nombre élevé de fleurs, et donc, un nombre d'épillets stériles par épi important. Le poids de l'épi et des grains de l'épi diminuent, en affectant par conséquent le rendement en grain.

Nos résultats ont montré l'importance de l'effet du milieu sur le nombre de feuilles émis par la tige principale observé sur les génotypes testés. Il affecte, aussi, la surface foliaire et perturbe l'activité photosynthétique des génotypes étudiés.

Les propriétés et l'architecture des feuilles sont importantes pour l'adaptation des cultures aux conditions environnementales. La surface foliaire est considérée comme un indicateur de la croissance, du développement et de la santé des plantes, et a une forte relation avec le poids sec des feuilles chez le blé et l'orge (Aase, 1978).

#### **3.1.1.5.4 Caractères physiologiques**

Les génotypes étudiés ont montré une certaine similitude entre eux pour la teneur en chlorophylle *a* et *b*, qui est probablement liée la variabilité génétique étroite des génotypes testés pour ces caractères. Par contre, l'effet de l'environnement a fortement affecté la teneur en chlorophylle *a* et *b*, exprimée par la différence significative entre les génotypes pour la teneur en chlorophylle *a+b*.

Les résultats obtenus confirment le contrôle du milieu sur la teneur en chlorophylle. En effet, d'après Mamnouie *et al.* (2006), la teneur en chlorophylle peut être exploitée dans les programmes de sélection de l'orge.

La variation des caractères morphologiques et physiologiques en réponse au stress hydrique reflète la diversité génétique de l'orge (Nevo et Chen, 2010). Ceccarelli *et al.* (1998) ont démontré que la méthode la plus efficace pour améliorer la productivité de l'orge dans les conditions de sécheresse, est d'utiliser un matériel génétique local adapté et de le sélectionner dans les environnements cibles.

### 3.1.2 Analyse du rendement en grain par le model AMMI

L'analyse de la variance réalisée selon le modèle AMMI a indiqué des différences significatives ( $p < 0,001$ ) des trois facteurs étudiés sur le rendement en grain de l'orge : l'effet génotype, l'effet environnement et l'interaction génotype x environnement (tableau 4).

Ces résultats montrent l'effet considérable des conditions du milieu, ainsi que la présence d'une importante variabilité génétique entre les génotypes testés, qui s'est traduite par leurs différents comportements à travers les environnements. L'effet environnemental représentait 28,45 % de la somme des carrés des écarts total (SCET). Alors que 39,28 % et 32,27% de la variation du rendement en grain ont été attribués respectivement aux effets génotypiques et à l'interaction génotype x environnement.

Tableau 4 : Analyse de la variance combinée du model AMMI pour le rendement en grain des génotypes.

Source de variation	DL	SCE	CM	F	Pr	%SCE (G+E+GE)
Traitments	67	24933	372,1	13,80	0,0000***	
Env	3	7093	2364,34	23,63	2,528e-05 ***	28,449
Blocs/Env	12	1200,8	100,07	3,71	4,798e-05 ***	
Gen	16	9793,9	612,12	22,69	< 2,2e-16 ***	39,282
Env : Gen	48	8045,7	167,62	6,214	< 2,2e-16 ***	32,270
CP1	18	6299,45	349,97	12,97	0,0000 ***	
CP2	16	1500,10	93,76	3,48	0,0000***	
CP3	14	246,15	17,58	0,65	0,8203 Ns	
Residuels	192	5179	26,97			
Total	271	31312	115,5			

CV=10,82% ; Moyenne générale=47,99 ; DL : Degré de liberté, SCE : somme des carrés des écarts, CM : carrée moyen, Pr : Probabilité, Gen et G : génotype, Env et E : Environnement, CP : composante principale, Ns et \*\*\*, Non-significatif et significatif à  $Pr < 0,001$  respectivement, CV : coefficient de variation.



Nous avons constaté que la variation du rendement en grain de l'orge dépend des facteurs génotypiques et environnementaux et de leur interaction. A partir des résultats figurant sur le tableau 7, la variation des composantes de l'interaction génotype x environnement a été divisée selon trois axes de composantes principales d'interaction (CPI). Les deux premières CPI ont montré une différence très hautement significative ( $P < 0,001$ ) et ont expliqué 96,9% de la variance d'interaction totale, tandis que le CPI 1 a marqué 78,3% de la somme des carrés des écarts d'interaction et le CPI 2 a marqué 18,6% de la somme des carrés des écarts d'interaction pour le rendement en grain. Ce résultat est en accord avec celui de Kendal et Tekdal (2016). Mohammadi *et al.* (2013) et Milan *et al.* (2014) ont rapporté qu'un grand pourcentage de l'interaction génotype x environnement, chez l'orge, est expliqué par les deux premiers axes des composantes principales d'interaction.

### 3.1.2.1. AMMI 1

Le bi-plot IPC1 représente l'effet principal du génotype et de l'environnement sur l'axe x et les effets d'interaction sur l'axe y (scores IPC1 par rapport au rendement moyen). Les génotypes avec un score IPC1 proche de zéro montrent une adaptation générale du rendement aux environnements testés (Pecina *et al.* 2008). Par conséquent, les génotypes Tissa et Plaisant/Charan01 sont proches de l'origine, ce qui signifie un rendement en grain proche de la moyenne générale, avec un score IPC1 proche de zéro. En d'autres termes, ils sont insensibles au changement environnemental. Par conséquent, ces génotypes sont considérés comme les génotypes les plus stables et ils pourraient être recommandés pour la plupart des environnements testés. De plus, les génotypes Barberousse et Barberousse/Chorokhod ont été, également, des génotypes stables (figure 43).

Begonia, Plaisant et Tina ont présenté un score IPC1 positif le plus élevé avec un rendement en grain moyen le plus bas, tandis qu'Elbahia, Jaidor et Saïda ont présenté un score IPC1 négatif le plus bas avec une adaptation spécifique pour les environnements du Site 1 (Alger) pour les deux campagnes. Ces génotypes peuvent être considérés comme les génotypes les plus sensibles au changement de milieu. Cependant, Saïda a montré un rendement en grain moyen relativement proche de la moyenne globale.

Soufara's et Acsad176 ont montré une interaction modérée. Alors que Tichedrett a montré une interaction négligeable,  $IPC1 = 0$ , avec un rendement en grain inférieur à la moyenne générale. Ce génotype est considéré comme un cultivar stable avec un rendement en grain acceptable dans les conditions semi-arides.

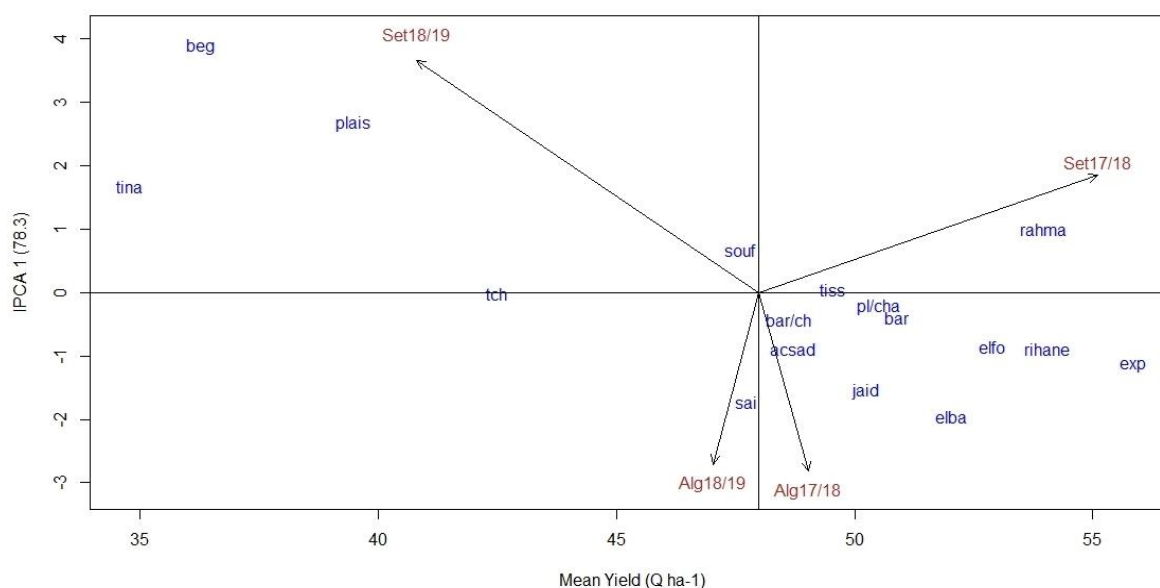


Figure 43: Biplot AMMI 1 pour le rendement en grain des génotypes (Alg17 / 18 = Alger 2017/2018, Set 2017/2018 = Sétif 2017/2018, Alg 2018/2019 = Alger 2018/2019, Set 2018/2019 = Setif 2018/2019, tch = Tichedrett, tina = Tina, souf = Soufara's, acsad = Acsad176, bar = Barberousse, rihane = Rihane, rahma = Rahma, beg = Begonia, plai = Plaisant, jaid = Jaidor, exp = Express, tiss = Tissa, sai = Saïda, elfo = Elfouara, elb = Elbahia, bar/ch = Barberousse / Chorokhod, pl / cha = Plaisant/ Charan01).

### 3.1.2.2. AMMI2

Le biplot AMMI2 (scores IPC2 par rapport à IPC1) fournit une bonne explication des résultats. Il a été construit en utilisant les scores génotypiques et environnementaux des deux premiers axes IPCA. D'après la figure 13, on note qu'il y a une division claire des génotypes par rapport à IPC1 et IPC2.

Selon les scores IPC1 et IPC2, Plaisant/Charan01 a marqué les scores IPC les plus bas avec un rendement moyen relativement modéré et il admet le concept de stabilité de rendement. Ceci signifie qu'il est largement adapté. Barberousse et Barberousse / Chorokhod ont montré une stabilité relative sur le biplot AMMI2.

Les génotypes Elfouara, Express et Elbahia, avec un score IPC2 négatif, ont montré une adaptation spécifique à l'environnement Alger18/19 tandis que Rihane, Acsad176, Saïda et Jaidor avec un score IPC2 positif étaient mieux adaptés à l'environnement Alger 17/18. Les génotypes Begonia et Plaisant, avec un score IPC2 positif, ont été spécifiquement adaptés à l'environnement Sétif 18/19, tandis que Tina, Soufara et Rahma avec des scores négatifs sur l'IPCA2, ont montré une adaptation spécifique à l'environnement Sétif 17/18. Cependant, Les génotypes Tichedrett et Tissa ne sont associés à aucun environnement (figure 44).

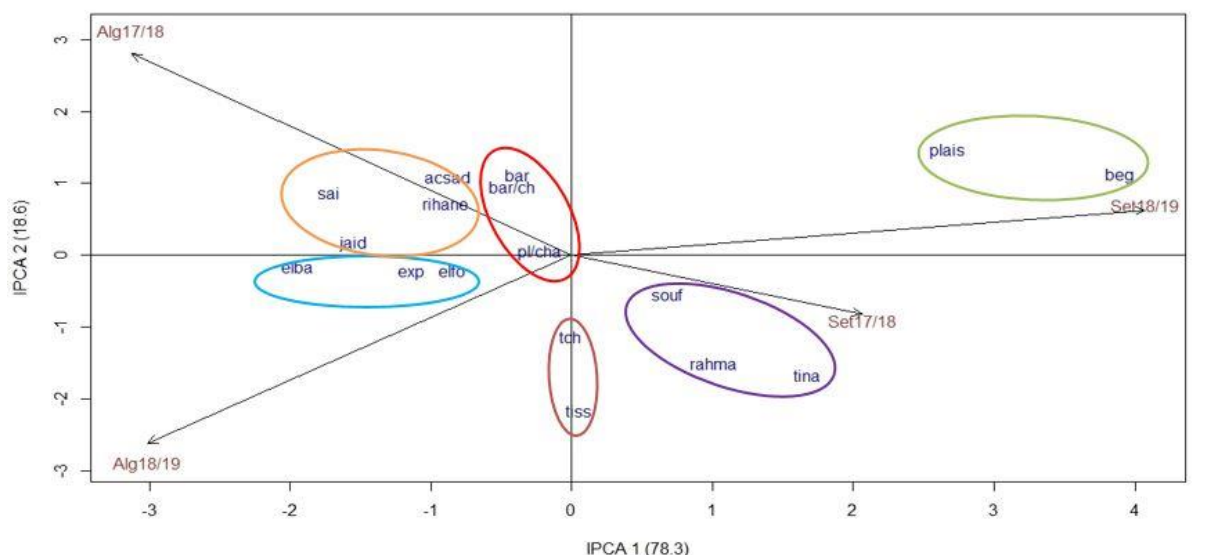


Figure 44. Biplot AMMI 2 pour le rendement en grain montrant les génotypes sur l'axe IPCA1 et IPCA2 (Alg17 / 18 = Alger 2017/2018, Set 2017/2018 = Sétif 2017/2018, Alg 2018/2019 = Alger 2018/2019 Set 2018 / 2019 = Sétif 2018/2019, tch = Tichedrett, tina = Tina, souff = Soufara's, acsad = Acsad176, bar = Barberousse, rihane = Rihane, rahma = Rahma, beg = Begonia, plai = Plaisant, jaid = Jaidor, exp = Express , tiss = Tissa, sai = Saïda, elfo = Elfoura, elb = Elbahia, bar / ch = Barberousse / Chorokhod, pl / cha = Plaisant / Charan01).

### 3.1.2.3. Discussion

Selon Peyman *et al.* (2017), seulement 29 % de la somme des carrés des écarts totale est attribuée aux effets environnementaux, soit 30 % attribuée aux effets génotypiques et 41 % aux effets de l'interaction génotype x environnement. Farshadfar *et al.* (2012) ont montré que l'effet environnemental représentait 21,7 % de la somme des carrés des écarts totale, dont l'interaction génotype x environnement représentait 55,3 % de la somme des carrés des écarts totale.

Sur la base des résultats obtenus, Express, Rahma, Rihane et Elfoura peuvent être suggérés comme étant les génotypes les plus productifs. De plus, le génotype Plaisant / Charan01 a montré une stabilité de rendement élevée, ce qui signifie qu'il est largement adapté, par conséquent, il peut être proposé pour tous les environnements et pourrait être introduit dans les futurs programmes d'amélioration.

Selon Mohammadi *et al.* (2013), les meilleurs génotypes d'orge doivent être adaptés à un large écart de conditions environnementales, assurant, ainsi, une stabilité de rendement. Il est clair que les biplots AMMI sont d'excellents outils d'analyse visuel des essais multi-locaux en raison de leur option interprétative (Gauch *et al.*, 2008).

Les géotypes Begonia et Plaisant ont été spécifiquement adaptés à la région de Sétif, ceci peut être expliqué par leurs exigences élevées en températures basse en hiver (froid). Par conséquent, ils sont fortement déconseillés pour la région d'Alger. Ces géotypes peuvent être suggérés aux agriculteurs pour des environnements caractérisés par des hivers froids, et peuvent aussi être intégrés dans les futurs programmes d'amélioration pour un tel environnement.

Dans le cas où la région est soumise à une forte variabilité climatique interannuelle, la sélection des géotypes qui présentent une stabilité spécifique pour cette région devient plus intéressant que d'utiliser des géotypes stables aux différents environnements. Cette stratégie peut augmenter la production des zones céréalières par le choix des géotypes les plus performants dans chaque région tout en augmentant la rentabilité de cette filière.

Comme on le sait, la plupart des agriculteurs du pays préfèrent les géotypes d'orge à six rangs par rapport aux géotypes à deux rangs. Cependant, Rahma en tant que géotype à deux rangs a été plus productif avec une bonne stabilité du rendement en grain et peut être suggéré pour les régions semi-arides où les précipitations sont variables et imprévisibles. Un tel géotype devrait être recommandé et proposé aux agriculteurs afin d'améliorer la production de l'orge à l'échelle nationale.

#### **3.1.2.4. Valeur de stabilité AMMI (ASV)**

Selon Purchase *et al.* (2000), la stabilité AMMI (ASV) est une valeur qui permet la quantification et le classement des géotypes en fonction de la stabilité de leurs rendements. L'ASV la plus basse a été observée chez Plaisant/Charan01, suivi par Tichedrett, Barberousse/Chorokhod et Barberousse, indiquant respectivement une stabilité élevée pour ces géotypes (tableau 5). Le géotype Begonia s'est montré comme étant le plus instable suivi de Plaisant, Elbahia et Tina.

Tableau 5. Valeur de stabilité AMMI de rendement en grain et le classement des 17 géotypes d'orge.

Géotypes	Moyennes (q .ha <sup>-1</sup> )	ACPI 1	ACPI 2	VSA	cVSA	ISR	cISR
Tichedrett	42,48	-0,00670	-1,12080	1,1208836	2	16	14
Tina	34,80	1,67932	-1,66061	3,8210482	14	31	17
Soufara's	47,61	0,68552	-0,53293	1,5024796	5	18	13
Acsad176	48,72	-0,87427	1,09636	2,1004171	8	18	10
Barberousse	50,91	-0,38396	1,11611	1,3655759	4	10	6
Rihane	54,06	-0,88823	0,72147	1,9579569	7	9	2
Rahma	53,96	1,00766	-1,49829	2,5512472	11	14	3
Begonia	36,29	3,89568	1,11246	8,0603074	17	33	16
Plaisant	39,49	2,66957	1,45957	5,6619350	16	31	15
Jaidor	25,26	-1,54773	0,17689	3,1765962	12	20	8
Express	55,86	1,13709	-0,24613	2,3431391	10	11	1
Tissa	49,55	0,04970	-2,15078	2,1531867	9	18	9
Saïda	47,74	-1,71972	0,87727	3,6316540	13	25	12
Elfouara	52,90	-0,84250	-0,20512	1,7386225	6	10	4
Elbahia	52,04	-1,94767	-0,15619	3,9942886	15	20	5
Barberousse /Chorokhod	48,62	0,41810	0,96478	1,2902965	3	14	11
Plaisant/ Charan01	50,52	-0,22149	0,04596	0,4562155	1	8	7

ACPI : Analyse en composante principale d'interaction, VSA : valeur de stabilité AMMI, cVSA : classement de valeur de stabilité AMMI, ISR : indice de stabilité de rendement, cISR : classement d'indice de stabilité de rendement.

### 3.1.3. Etude des corrélations

#### 3.1.3.1. Etude des corrélations pour le site d'Alger

D'après les résultats de l'analyse des corrélations des caractères étudiés pour le site d'Alger, il existe de fortes corrélations entre les paramètres phénologiques, à savoir la précocité à l'épiaison et la date de maturité. D'autre part, de fortes corrélations sont observées pour la densité de peuplement, le nombre de talles et le nombre d'épis par mètre carré.

Le nombre d'épillets stériles par épi est corrélé positivement avec la précocité à l'épiaison. Cela signifie que les géotypes tardifs ont plus d'épillets stériles par épi, et qui est, probablement, attribué au stress de fin de cycle. D'autre part, le nombre de fleurs stériles diminue avec l'augmentation du nombre de talles et du nombre d'épis/m<sup>2</sup>. Il est, aussi, corrélé négativement avec le poids de mille grains, la biomasse des tiges à l'épiaison, l'indice de récolte et la longueur de l'épi. Une forte corrélation positive est observée avec la longueur des barbes et la surface foliaire.

Le nombre de grains par épi est fortement corrélé et positivement avec la biomasse des feuilles à l'épiaison, l'indice de récolte, la hauteur de la tige, la longueur du dernier entrenœud et celle des barbes, le poids de l'épi et des grains de l'épi. Par ailleurs, le nombre de grains par épi est corrélé négativement avec la teneur en chlorophylle *a*.

Les géotypes les plus précoces à l'épiaison et à la maturité ont un poids de mille grains élevé. Ce dernier est le résultat d'une biomasse aérienne et plus particulièrement une biomasse au stade épiaison élevée, ainsi qu'une bonne surface foliaire. La précocité contribue à la formation de la biomasse des tiges et la biomasse des épis à l'épiaison et la biomasse aérienne (tableau 1 annexe 4). La biomasse des feuilles à l'épiaison est positivement corrélée avec la hauteur de la tige, la longueur de l'épi et la longueur de col de l'épi.

Les géotypes qui ont un bon rendement à Alger se caractérisent par une épiaison et une maturité précoces. Une bonne biomasse aérienne et plus particulièrement la biomasse des tiges et des épis au stade épiaison contribuent considérablement à la réalisation de rendement dans cet environnement. L'indice de récolte, le pourcentage de talles fertiles et la surface foliaire contribuent directement à l'élaboration du rendement. En fait, l'indice de récolte est considéré toujours comme un critère de sélection directe pour le rendement, car il représente le degré de conversion de la matière sèche accumulé dans les différentes parties de la plante, la surface foliaire étant le lieu de réalisation de ce processus. Cependant, la capacité de tallage donne plus d'épis et par conséquent un rendement élevé en zone semi-aride.

L'indice de récolte à Alger a une forte relation avec la précocité à l'épiaison, mais il est aussi lié au nombre d'épis/m<sup>2</sup> et au nombre de grains par épi. De fortes corrélations ont été remarquées avec la longueur du dernier entre-nœud, le poids de l'épi et celui des grains de l'épi ; en effet ces caractères représentent des endroits de stockage des assimilats de la photosynthèse qui migrent ultérieurement vers les grains pour l'élaboration de rendement.

Sur le site d'Alger, le rendement estimé est corrélé positivement avec la précocité de la maturité, le nombre de plantes, de talles et d'épis par mètre carré, le nombre de grains par épi, le rendement réel et l'indice de récolte ainsi qu'avec la plupart des caractères morphologiques.

La hauteur de la tige est positivement corrélée aux caractères phénologiques et à la biomasse des feuilles à l'épiaison. Cela suggère que plus le génotype dispose de temps pour l'élongation de sa tige, plus les feuilles auront de temps pour construire la biomasse au stade épiaison, ainsi que les poids de l'épi et des grains de l'épi.

Les résultats obtenus montrent la contribution du poids de l'épi dans l'élaboration du nombre de grains par épi. En effet, ce poids peut constituer un lieu de stockage de l'eau et des assimilats pour alimenter les épillets de l'épi, ce qui leur évitera l'avortement et leur permettra de maintenir un nombre élevé de grains par épi. Ces résultats expriment, aussi, la forte corrélation existant entre la teneur en chlorophylle *a* et *b*.

### **3.1.3.2. Etude des corrélations pour le site de Sétif**

L'étude des corrélations entre les variables, pour le site de Sétif, montre une forte liaison entre les deux caractères phénologiques, ainsi qu'une forte relation du nombre de talles par mètre carré et du pourcentage de talles fertiles avec la densité des épis. En fait, la capacité de tallage donne plus de chance pour l'émission d'épis, qui est une composante importante du rendement. Ce dernier est corrélé négativement avec la biomasse aérienne, et plus particulièrement avec la biomasse au stade épiaison, ainsi qu'avec la hauteur de la tige, la longueur du dernier entre-nœud, la longueur des barbes, le poids de l'épi et celui des grains de l'épi.

Le nombre d'épillets stériles par épi est corrélé positivement avec la longueur des barbes, la surface foliaire, le poids de l'épi et de grains de l'épi. Il est aussi corrélé négativement avec la longueur de l'épi.

Le nombre de grains par épi augmente avec la longueur des barbes, la biomasse des feuilles à l'épiaison, la surface foliaire, le poids de l'épi et celui des grains de l'épi.

Le poids de mille grains augmente chez les génotypes les plus précoces, il augmente aussi avec la biomasse à l'épiaison particulièrement la biomasse des tiges à l'épiaison, la longueur du entre-nœud, la hauteur de la tige, la surface foliaire, le poids de l'épi et des grains de l'épi (tableau 2 annexe 4). En fait, ces parties peuvent constituer des endroits de stockage d'eau et des assimilats chez la plantes, phénomène important en zone semi-aride.

Les résultats obtenus montrent la concurrence de la biomasse des feuilles avec celle des tiges à l'épiaison. Cette dernière contribue à la réalisation de la biomasse aérienne, du poids de l'épi, du poids des grains de l'épi et surtout dans l'élaboration du rendement dans cet environnement. Les résultats supposent que la surface foliaire et la teneur en chlorophylle *a* augmentent la biomasse des tiges à l'épiaison. Cependant, la biomasse des feuilles et celle des épis à l'épiaison montrent une corrélation négative avec la teneur en chlorophylle *a*, et une corrélation positive avec la teneur en chlorophylle *b* et en chlorophylle *a+b*.

En fait, la biomasse aérienne aux stades maturité et épiaison montrent des corrélations positives avec la hauteur de la tige, la longueur du col de l'épi, la surface foliaire et la teneur en chlorophylle. Cette dernière contribue dans la formation du poids de l'épi et celui des grains de l'épi.

D'après les résultats obtenu, l'indice de récolte, la hauteur de la tige, la longueur de col de l'épi et la teneur en chlorophylle *a* présentent une contribution importante dans la réalisation de rendement, et forment des sites de stockages d'eau et d'assimilats permettant à la plante d'échapper au stress pour bien alimenter les épis, cette conversion des produits de la photosynthèse représente ce qu'on appelle l'indice de récolte. Le rendement estimé a présenté des corrélations positives avec la plupart des caractères morphologiques.

La hauteur de la tige et la longueur du dernier entre-noeud sont corrélés positivement entre eux et avec la teneur en chlorophylle *a*. Il semble que ces paramètres associés à la longueur des barbes contribuent dans la formation du poids de l'épi et du poids des grains de l'épi.

Les résultats notés dans le site de Sétif montrent des corrélations négatives du poids de l'épi, du poids des grains de l'épi, de la surface foliaire et de la teneur en chlorophylle *a* avec la teneur en chlorophylle *b* et *a+b*.



### 3.1.3.3. Etude des corrélations des caractères mesurés dans les deux sites

L'analyse des résultats de l'ensemble des environnements (sites et campagnes) montre de fortes corrélations positives entre les caractères phénologiques, entre le nombre de talles et d'épis par mètre carré d'une part, et d'autre part entre l'ensemble des caractères. Le nombre d'épis augmente avec l'augmentation du nombre de talles et le pourcentage de talles fertiles qui est un caractère important en zone semi-aride. Cependant, le poids de l'épi et celui des grains de l'épi diminuent avec le nombre d'épis par mètre carré, ceci en raison de la concurrence existante entre les épis.

D'après les résultats du tableau 3 annexe 4, la biomasse des feuilles à l'épiaison et l'ensemble des caractères morphologiques, à l'exception de la longueur de l'épi et le nombre de feuilles, semblent être fortement associés à la fertilité de l'épi.

La biomasse à l'épiaison et à maturité et l'ensemble des caractères morphologiques contribuent au grossissement des grains. Ils représentent les endroits de stockage d'eau et d'assimilats qui constitueront, par la suite, les réserves du grain.

D'après les résultats obtenus, la biomasse des tiges à l'épiaison contribue dans la constitution du poids de l'épi et celui des grains de l'épi. Elle présente une corrélation positive avec la teneur en chlorophylle *a*. La biomasse des feuilles et celle des épis au stade épiaison sont corrélées positivement avec la longueur du dernier entre-nœud, la longueur des barbes, le poids de l'épi, le poids des grains de l'épi, la teneur en chlorophylle *b* et en chlorophylle *a+b*. Cependant, ces deux paramètres ont une corrélation négative avec la teneur en chlorophylle *a*.

La biomasse aérienne est corrélée avec les caractères morphologiques, à l'exception de la longueur de l'épi et du nombre de feuilles. Elle est en étroite relation avec le rendement et peut être considérée comme un critère de sélection, notamment en zone semi-aride.

L'étude des corrélations montre qu'une bonne précocité à l'épiaison et un cycle relativement court ainsi qu'un faible nombre d'épillets stériles et une bonne biomasse au stade épiaison et un bon indice de récolte constituent des caractères fortement liés au rendement en grain. D'autres caractères comme la hauteur de la tige, la longueur du dernier entre-nœud, le poids de l'épi et le poids des grains de l'épi sont aussi liés au rendement et résultent de l'interaction génotype x environnement. En revanche, la teneur en chlorophylle *b* et en chlorophylle *a+b* présentent des corrélations négatives avec le rendement.

Le rendement estimé présente des corrélations significativement positives avec les caractères morphologiques, à l'exception du nombre de feuilles par tige.

La hauteur de la tige, la longueur du dernier entre-noeud et la longueur des barbes sont corrélés au poids de l'épi et au poids des grains de l'épi. L'ensemble de ces paramètres ont une corrélation positive avec la surface foliaire. Cette dernière est négativement corrélée à la teneur en chlorophylle *a*. Une corrélation significative et positive a été notée entre d'une part la teneur en chlorophylle *b* et d'autre part la longueur de l'épi et la teneur en chlorophylle *a+b*.

#### **3.1.4. Discussion**

Les paramètres phénologiques sont corrélés positivement entre eux et pour chaque site et par rapport aux deux sites. L'un des facteurs à l'origine de la tolérance naturelle de l'orge aux stress abiotiques est la précocité à l'épiaison, qui garantit le déroulement de la pollinisation, le développement des grains et la maturité en période optimale (Gurel *et al.*, 2016).

Cette stratégie d'adaptation a montré des résultats intéressants, surtout en zone semi-aride ; permettant à la plante d'accumuler une biomasse importante au stade épiaison notamment celle des épis ainsi qu'une teneur élevée en chlorophylle *a*, conduisant à avoir un bon poids de mille grains, un faible nombre d'épillettes stériles par épi, une bonne biomasse aérienne et par conséquent un rendement élevé.

Le rendement dépend de la biomasse et de la façon dont elle est répartie, le sélectionneur donc cherche à augmenter la biomasse et sa répartition (Acquaah, 2012). Le choix de variétés à cycle relativement court est nécessaire dans les régions semi-arides et arides compte tenu de la distribution temporelle des précipitations (Mekhlouf *et al.*, 2006).

La capacité de tallage est un caractère déterminant majeur du rendement en grain de l'orge, elle est associée à la stabilité du rendement (Simmons *et al.*, 1982). Elle est un caractère critique pour la reprise des cultures après la sécheresse de début de saison (El Hafid *et al.*, 1998). De plus, un bon tallage est recherché dans la sélection des géotypes d'orge à double fin, il permet l'obtention d'une densité épi élevée et contribue à l'élaboration du rendement en zone semi-aride.

L'étude des corrélations de l'ensemble des deux sites montre que la biomasse des feuilles à l'épiaison est associée au nombre de grains par épi. D'autres caractères tels que le poids de l'épi et des grains de l'épi, la hauteur de la tige et la longueur du dernier entre-noeud semblent être associés au nombre de grains par épi. En effet, ces caractères morphologiques

constituent des organes de stockage d'eau et des assimilats de la photosynthèse qui aident la plante à tolérer la sécheresse.

Les résultats montrent que les caractères morphologiques sont des mécanismes d'adaptation aux différents milieux que les génotypes d'orge adoptent, pour faire face au stress environnementaux et assurer un bon rendement en grain.

La biomasse aérienne à maturité et à l'épiaison constituent des critères de sélection chez les céréales. Elles contribuent au remplissage des grains. Au cours du déroulement de la phase de remplissage, la cinétique d'accumulation de la matière sèche du grain est sous la dépendance de deux sources principales d'assimilats qui sont la photosynthèse de la feuille étendard et la part des réserves produites lors des périodes de pré et post-anthèse et stockées dans les tiges, qui est transloquée (Bahlouli *et al.*, 2008). On constate que les génotypes ayant réalisé un rendement élevé dans les deux milieux se sont caractérisés par une précocité à l'épiaison et un cycle de développement plus court, un poids de mille grains élevé, une forte biomasse aérienne à l'épiaison et à maturité, particulièrement celle des tiges, ainsi qu'un indice de récolte élevé.

Dans un environnement à faible pluviométrie du bassin méditerranéen, les critères utiles pour évaluer les génotypes d'orge pour la tolérance à la sécheresse et le rendement élevé sont : la vigueur de croissance, la précocité à l'épiaison, la date de maturité, l'indice de récolte, la longueur du col de l'épi, la hauteur de la plante et le rendement en paille (Acevedo *et al.*, 1991; Van oosterom et Acevedo, 1992).

D'après les résultats obtenus, la surface foliaire est associée au rendement en grain pour le site d'Alger et la teneur en chlorophylle *a* pour le site de Sétif, ce qui confirme que la capacité photosynthétique joue un rôle important dans l'élaboration du rendement. Ce résultat est en accord avec celui de Zhang *et al.* (2015), qui affirment que la taille de la feuille est un caractère déterminant majeur de l'activité et des performances photosynthétiques des plantes et contribue au rendement des cultures.

En fait, la sélection pour les deux régions doit tenir compte du développement de la surface foliaire. En effet, le climat doux du site 1 d'Alger a permis aux génotypes de former une bonne surface foliaire, et de profiter d'une bonne activité photosynthétique pour élaborer un bon rendement. En revanche à Sétif, là où le climat est plus dur, notamment avec la sécheresse de fin cycle, les feuilles s'enroulent pour réduire la perte d'eau tout en gardant une bonne teneur en chlorophylle par le mécanisme « stay-green » pour assurer le fonctionnement de la chaîne photosynthétique.

L'importance des relations entre les composantes du rendement, la morphologie, la précocité et le rendement dépend du potentiel génétique des variétés utilisées et des conditions de milieu (Hanifi Mekliche, 1996). La sélection indirecte basée sur des critères liés au rendement et moins influencés par l'environnement et plus héritable serait généralement plus efficace que la sélection directe (Cattivelli *et al.*, 2008).

Le comportement des génotypes dépend essentiellement des conditions de milieu, qui provoquent des changements morpho-physiologiques et phénologiques, qui affectent considérablement le rendement. Certains caractères ont montré une relation étroite avec le rendement ou l'une de ses composantes et peuvent être utilisés comme des critères de sélection. Cependant, la sélection doit tenir compte des conditions de milieu visé et des mécanismes adoptés par les génotypes pour ce milieu.

### **3.1.5. Conclusion sur l'étude de l'interaction genotype x environnement**

Pour conclure cette partie de notre étude, nous pourrions dire qu'il existe une variabilité importante de l'ensemble des caractères et pour les environnements, mettant en jeu divers mécanismes d'adaptation, par les génotypes, au stress abiotique.

L'étude a montré que la biomasse aérienne à maturité et à l'épiaison, la hauteur de la tige et la longueur du col de l'épi pourraient être exploitées comme critères de sélection indirecte pour le rendement dans les deux milieux. Cependant, la teneur en chlorophylle représentant le degré de stay-green du génotype, qui est un autre critère à promouvoir chez l'orge, à travers les programmes d'amélioration, et pouvoir réaliser de bons rendements.

Le modèle AMMI est un outil très efficace pour l'analyse des essais multi-locaux en raison de sa simplicité et de son pouvoir d'interprétation. Grâce à ce modèle, nous avons constaté qu'Express, Rihane et Elfouara peuvent être considérés comme les génotypes les plus productifs à travers l'ensemble des environnements, et peuvent être préconisés pour le site d'Alger. Rahma est conseillé pour le site de Sétif ; ce dernier étant une orge à deux rangs, il constitue une perspective pour les régions semi-aride des hautes plaines du pays. Le génotype Plaisant / Charan01 a montré une stabilité élevée du rendement à travers les environnements testés avec une meilleure performance. Saïda est le génotype ayant donné le meilleur poids de mille grains ; ce paramètre est important dans la sélection directe pour le rendement. Begonia peut fournir un matériel génétique intéressant afin d'augmenter le nombre de grains par épi chez les futurs génotypes, pour la région de Sétif.

## 3.2. Etude de réponse au stress hydrique

### 3.2.1. Analyse de la variance

#### 3.2.1.1. Caractères phénologiques

L'analyse de la variance des résultats obtenus a révélé l'existence de différences très hautement significatives ( $P < 0,001$ ) entre les génotypes pour la précocité à l'épiaison et la date de maturation (tableau 10), ainsi que des différences significatives de l'effet régimes hydrique à  $P < 0,001$  et à  $P < 0,01$  pour la date de maturité et la précocité à l'épiaison respectivement (annexe 5, tableau 1).

Nous avons constaté que Begonia a réalisé un cycle long, avec 175,75 jours du semis à la maturité, sous régime irrigué, suivie par Plaisant avec 172,25 jours (annexe 6). Cependant, ces génotypes ont réalisé, sous régime stressé, 178,25 jours et 173,75 jours respectivement. Plaisant/Charan01 arrive à maturité sous régime irrigué en premier, avec 146,25 jours, tandis que Tissa a bouclé son cycle rapidement avec 146,75 jours, sous régime stressé (figure 45).

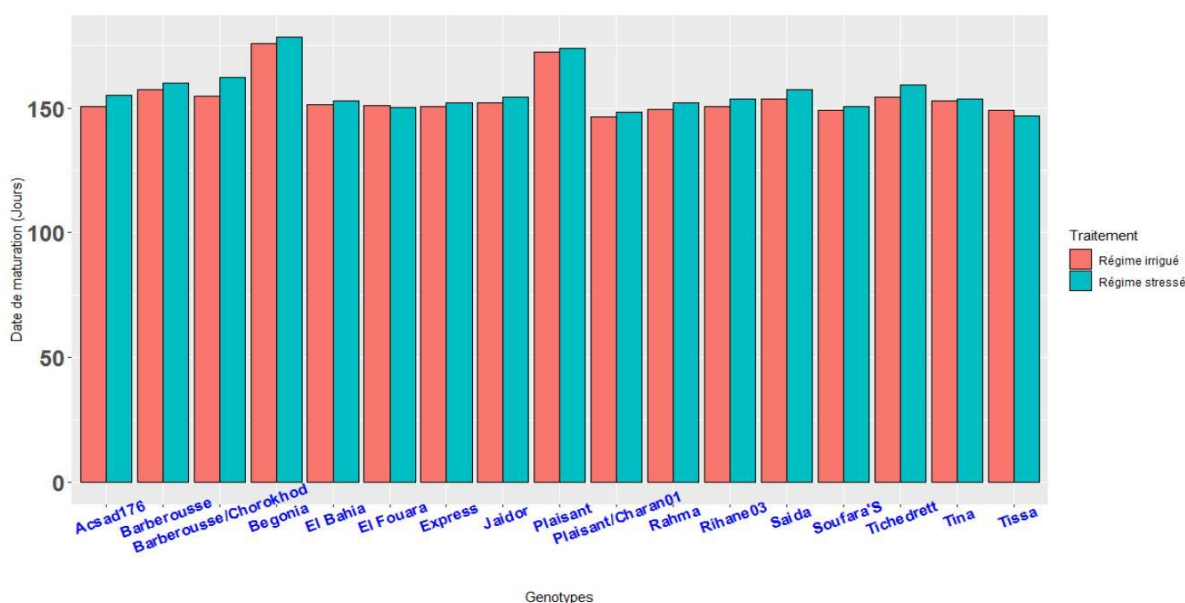


Figure 45. Date de maturité des génotypes sous les deux traitements.

#### 3.2.1.2. Caractères agronomiques

L'analyse de la variance révèle des différences significatives entre les génotypes et entre les régimes hydriques appliqués pour tous les caractères agronomiques étudiés (annexe 5, tableau 1).

## Régime irrigué

Le nombre d'épis/m<sup>2</sup> et par pot le plus élevé a été enregistré par Soufara'S avec 1059,54 épis/m<sup>2</sup>, contrairement à El Fouara qui a donné une faible densité des épis avec 432,60 épis /m<sup>2</sup> (46).

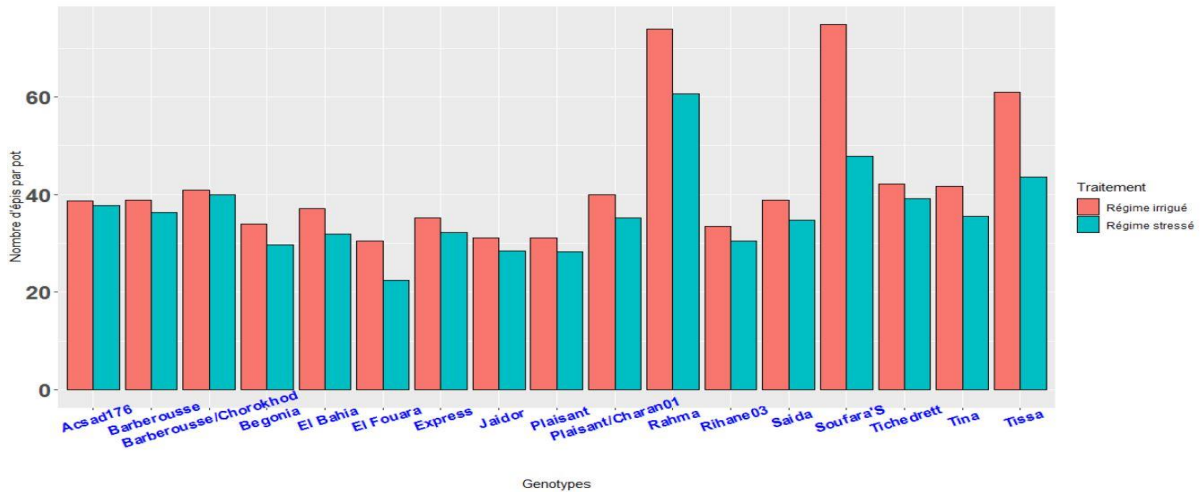


Figure 46. Nombre d'épis par pot des génotypes sous les deux traitements.

D'après les résultats obtenus, Tina figure en première position et El Fouara en dernière position pour le nombre de grains par pot avec 1094,63 grains/pot et 726,56 grains/pot, respectivement. Concernant la fertilité de l'épi, nous avons constaté que le génotype Express a réalisé un nombre grains par épi élevé (43,65), alors que Tissa n'a formé que 21 grains par épi (figures 47 et 48).

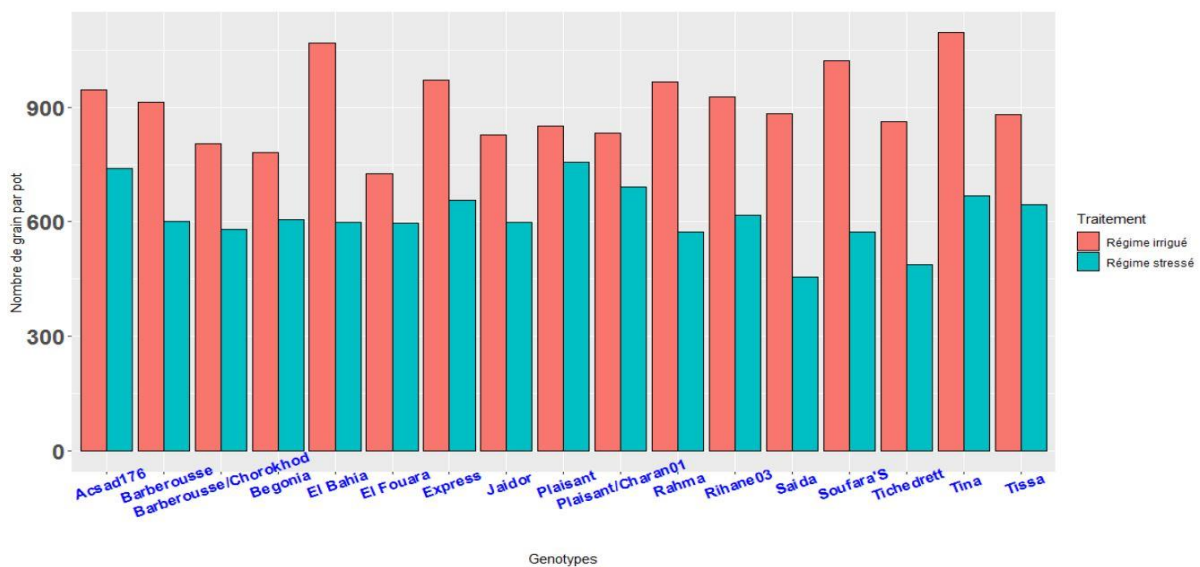


Figure 47. Nombre de grains par pot des génotypes sous les deux traitements.

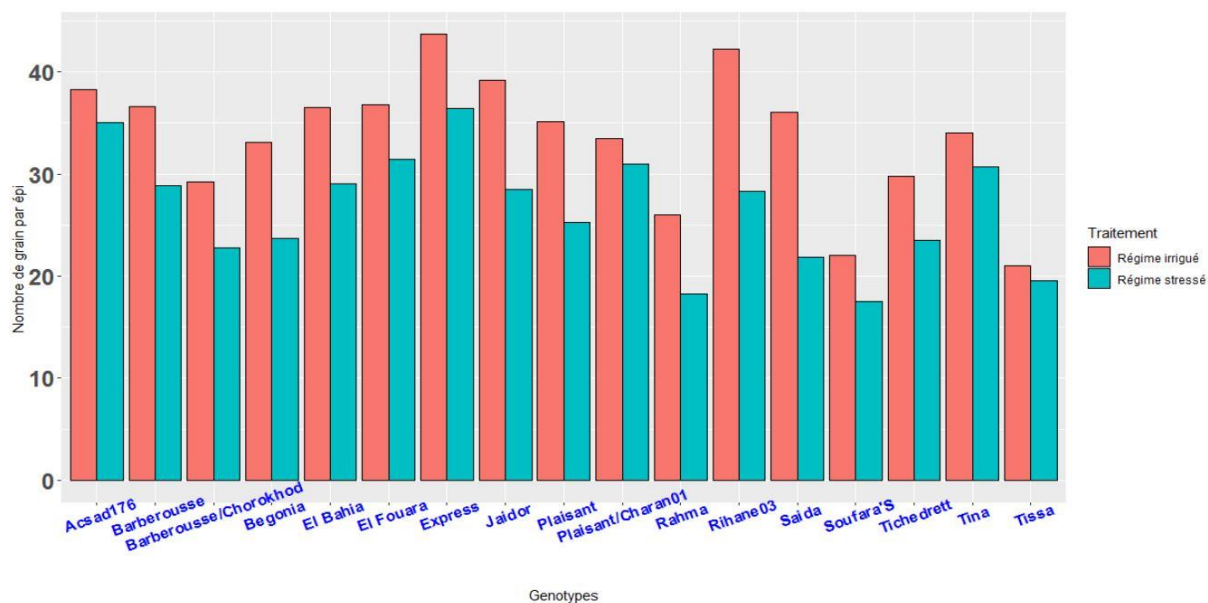


Figure 48. Nombre de grains par épi des génotypes sous les deux traitements.

Begonia a enregistré 11,63 d'épillets stérile par épi, tandis que Soufara'S a enregistré 2,83 épillets stérile par épi. Les résultats montrent une grande variation pour le poids de mille de grains sous régime contrôlé allant de 63,62 g par El Fouara jusqu'à 41,95 g de Plaisant.

Le rendement estimé le plus élevé a été réalisé par Saïda avec 117,80 q/ha et le plus faible a été en faveur de Begonia avec 55,49 q/ha sous régime irrigué. El Bahia a été plus productif avec un rendement de 56,66 g/pot, alors que Begonia s'est distingué par sa moindre productivité avec 27,36 g/pot. El Bahia s'est caractérisé par une biomasse aérienne élevée soit 142,77 g/pot, en revanche Plaisant/Charan01 est arrivé à la dernière position avec 79,20 g/pot. L'indice de récolte a varié de 0,496, enregistré par Plaisant/Charan01, à 0,292, enregistré par Begonia.

### Régime stressé

Sous stress hydrique, Rahma a réalisé 859,66 épis/m<sup>2</sup>. Cependant, El Fouara a enregistré une faible densité des épis, avec 317,88 épis/m<sup>2</sup>. Plaisant a formé un nombre de grains par pot élevé avec 755,4 grains, par contre Saïda a donné un faible nombre de grains par pot avec 455,79. Express a formé 36,40 grains par épi, qui est le nombre le plus élevé par rapport aux autres génotypes (annexe 6). En revanche, Soufara'S a enregistré, uniquement, 17,50 grains par épi. Les épis de Plaisant ont été affectés par les avortements, formant, ainsi, un nombre d'épillets stériles élevé soit 14,98. Cependant, Tissa a été moins affecté, et a formé 4,5 épillets stériles par épi (figure 49).

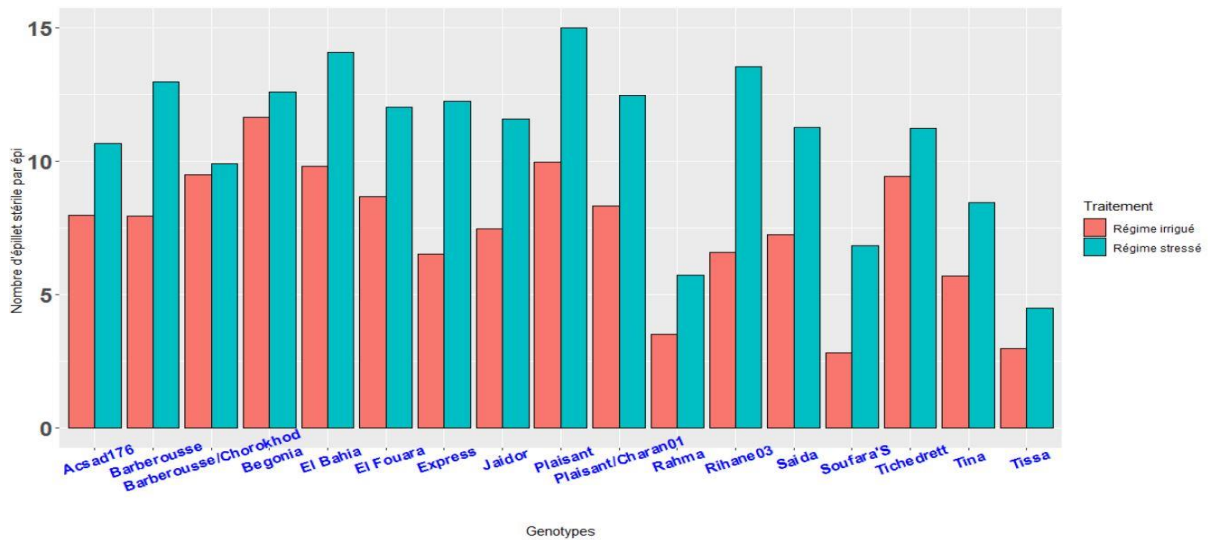


Figure 49. Nombre d'épillets stériles par épi des génotypes sous les deux traitements.

Sous stress hydrique, un poids de mille grains élevé a été enregistré par El Bahia avec 51,94 g, indiquant la capacité de ce génotype à assurer le remplissage des grains dans une telle condition. Par ailleurs, Begonia a été plus affecté par le stress et a donné, uniquement, 32,84 g (figure 50).

Les résultats montrent une grande variabilité du rendement en grain réel par pot, sous l'effet du manque d'eau, allant de 33,45 g/pot réalisé par Acsad176 jusqu'à 19,92 g/pot par Begonia. On a constaté que Acsad176 possède un rendement estimé plus élevé sous régime stressé, avec 82,12 q/ha contrairement à Begonia qui offre un faible rendement estimé, soit 32,127 q/ha (figures 51 et 52).

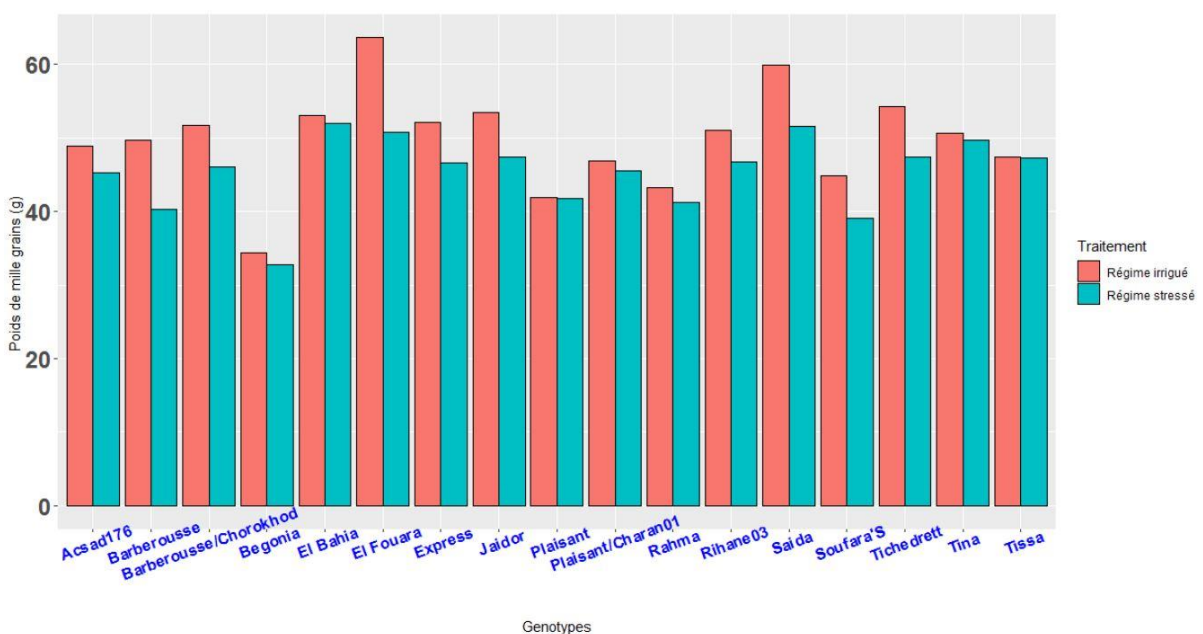


Figure 50. Poids de mille grains des génotypes sous les deux traitements.



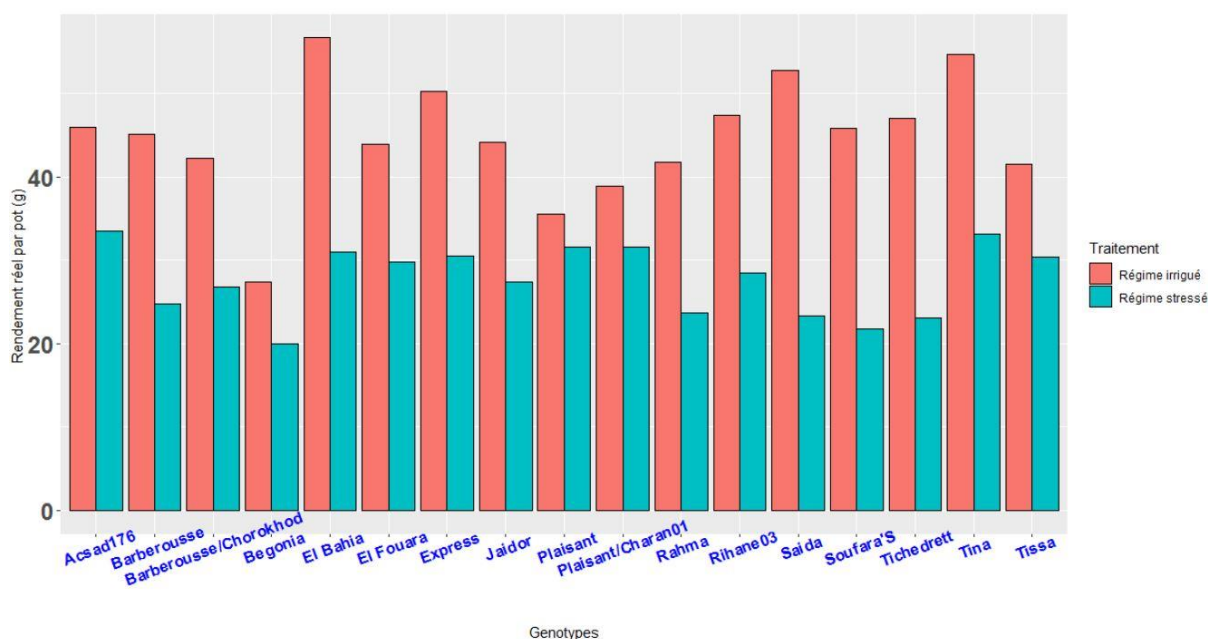


Figure 51. Rendement en grain réel par pot des génotypes sous les deux traitements.

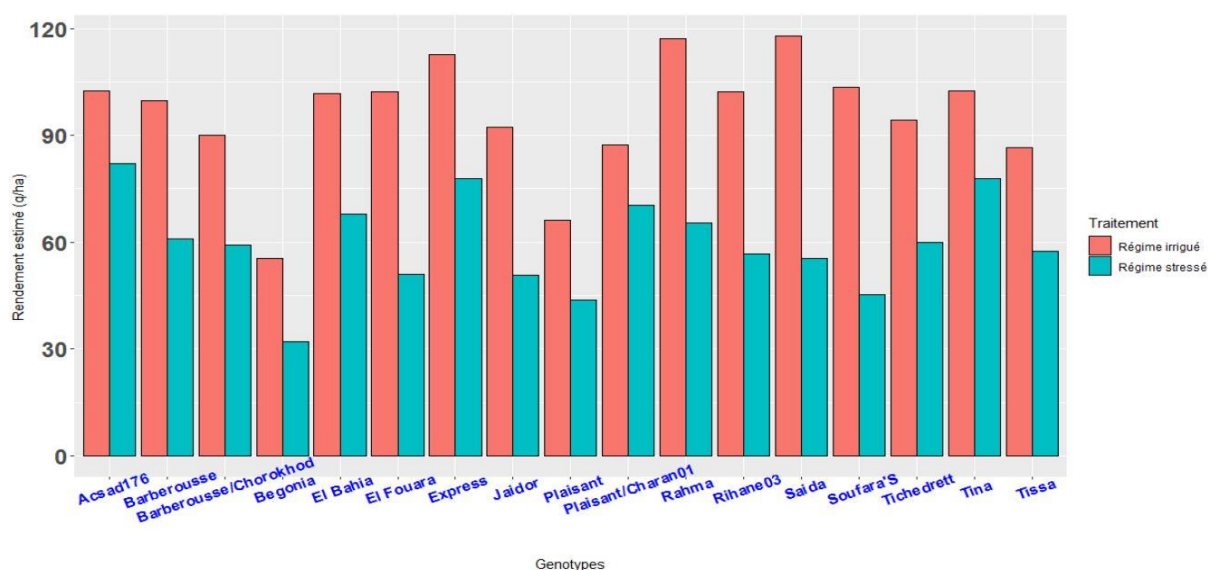


Figure 52. Rendement en grain estimé par hectare des génotypes sous les deux traitements.

Rahma a pu tolérer la sécheresse et donner une biomasse aérienne de 143,69 q/ha, alors que Plaisant/Charan01 a donné la plus faible biomasse (figure 53), soit 73,75 g/pot, comme il a donné un indice de récolte élevé sous stress hydrique 0,427 par rapport à Rahma, qui a réalisé un indice de récolte de 0,236 (figure 54).

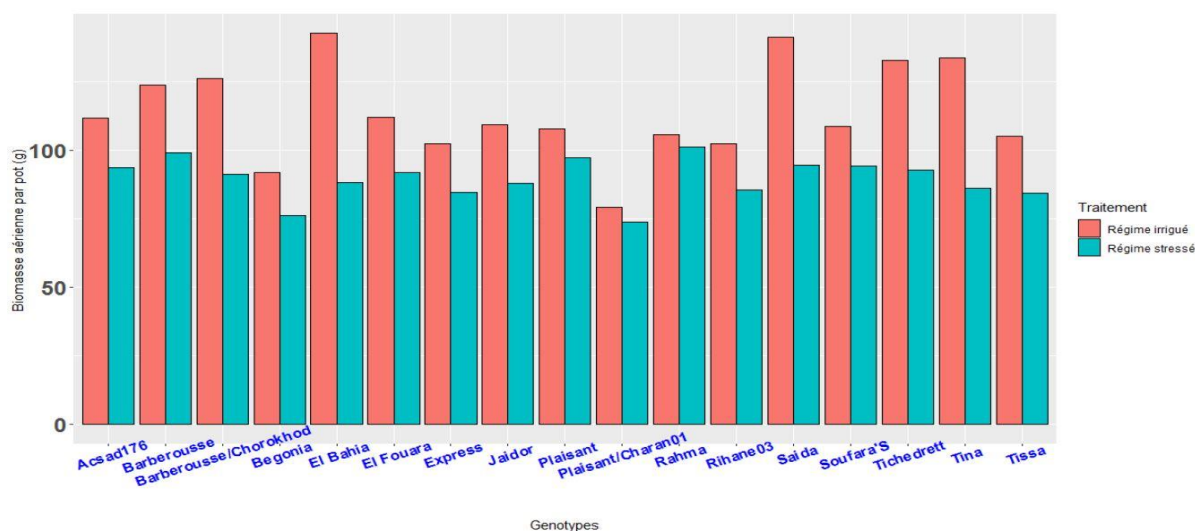


Figure 53. Biomasse aérienne par pot des génotypes sous les deux traitements.

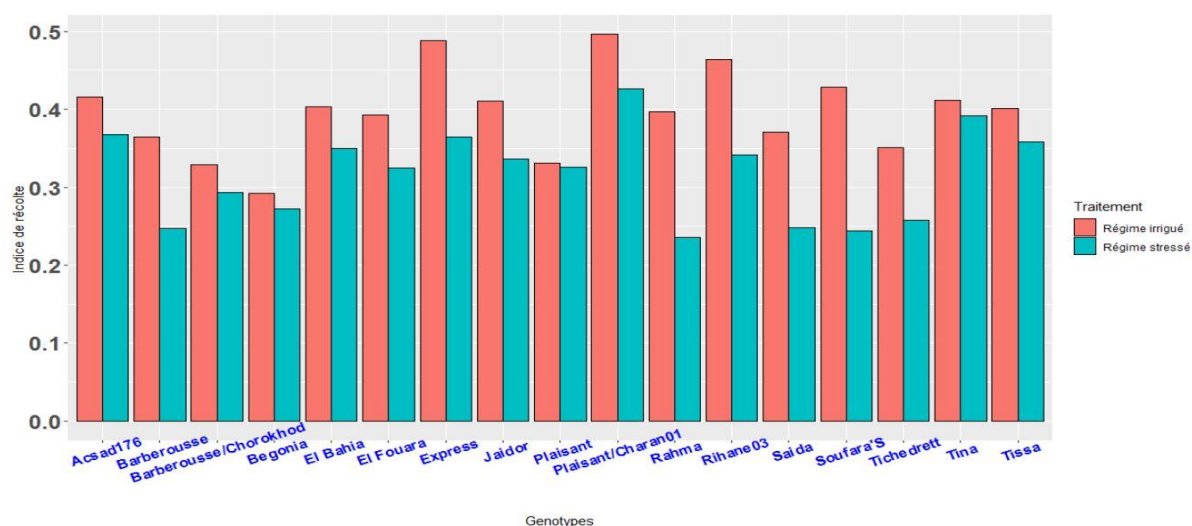


Figure 54. Indice de récolte des génotypes sous les deux traitements.

### 3.2.1.3. Caractères morphologiques

L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative ( $P < 0,001$ ) entre les génotypes pour tous les caractères morphologiques étudiés. Elle révèle, aussi, des différences significatives entre les régimes pour les caractères morphologiques, à l'exception de la longueur des barbes, la longueur de la feuille la plus longue, du nombre de feuilles, du volume et du rapport racinaire (annexe 5, tableau 1).

#### Régime irrigué

D'après les résultats obtenus, Saïda dispose des plus longues tiges avec 76,57 cm. Begonia a formé les tiges et les épis les plus courts avec, respectivement, 45,60 cm et 4,52 cm (figure 55 et 56). Rahma s'est distingué par des épis de 7,44 cm de long et des barbes très

courtes de 7,85 cm. La variété Tichedrett a développé des barbes très longues, en conditions irrigués, avec 14,11 cm, et Saïda a enregistré dernier entre-noeud long avec 26,67 cm (figures 57 et 58).

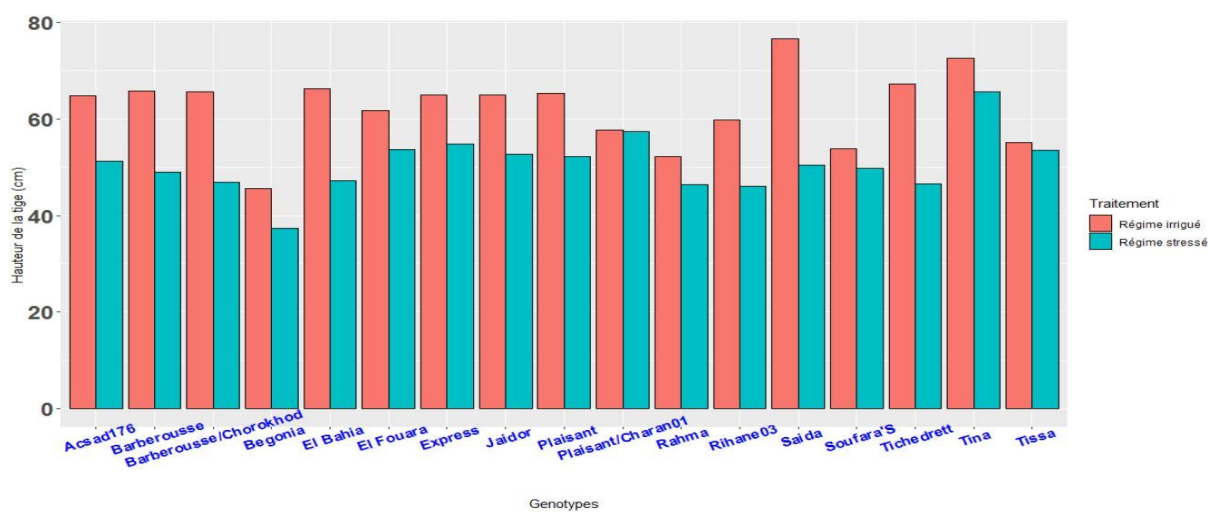


Figure 55. Hauteur de la tige des génotypes sous les deux traitements.

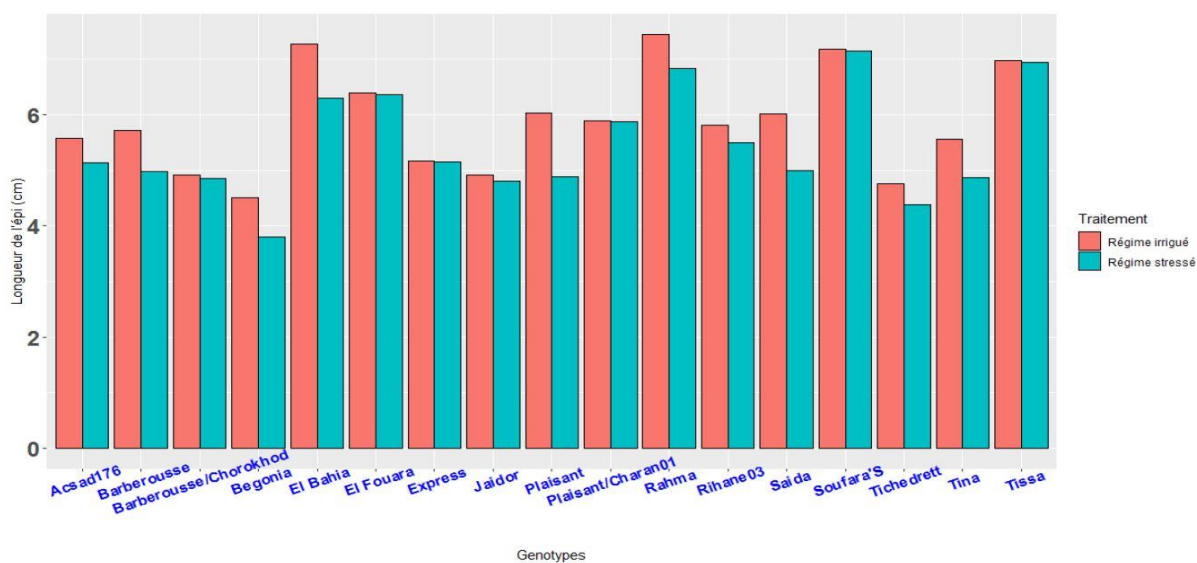


Figure 56. Longueur de l'épi des génotypes sous les deux traitements.

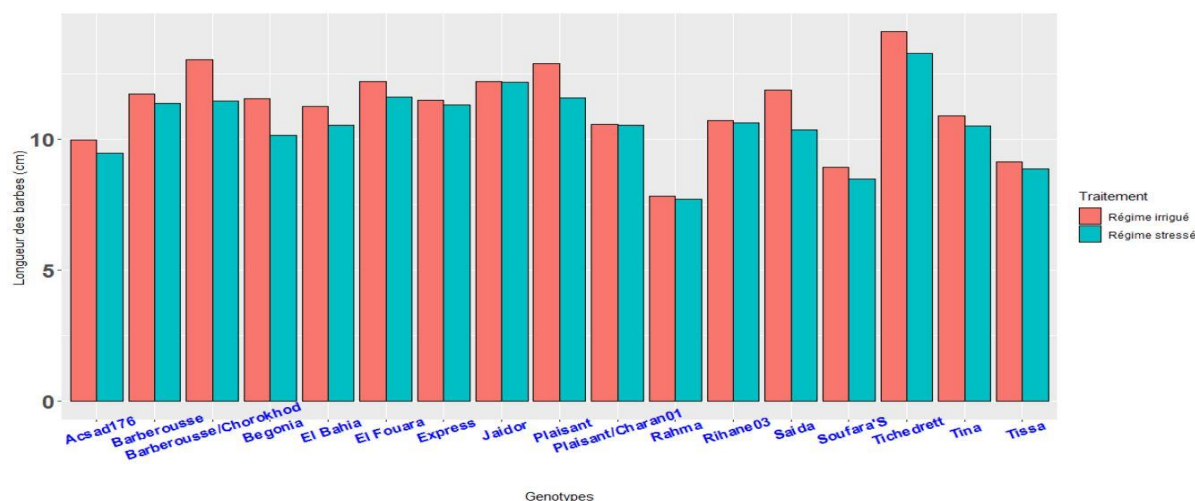


Figure 57. Longueur des barbes des génotypes sous les deux traitements.

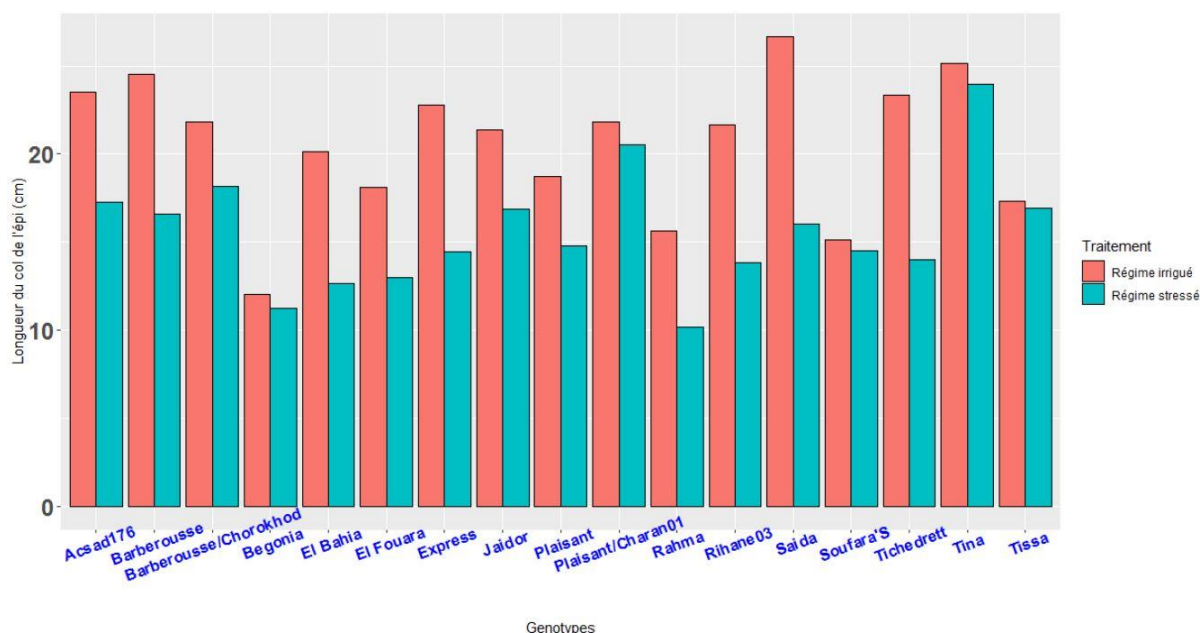


Figure 58. Longueur du dernier entre-noeud des génotypes sous les deux traitements.

Le poids de l'épi le plus élevé a été observé chez El Fouara avec 2,05 g et le plus faible a été obtenu par Rahma avec 0,99 g. Ce dernier, génotype, a enregistré un faible poids des grains de l'épi 0,84 g, alors que Rihane03 sous régime irrigué, a réussi à maintenir un poids des grains de l'épi de 1,72 g, qui est la valeur la plus élevée par rapport à celles des autres génotypes (figures 59 et 60).

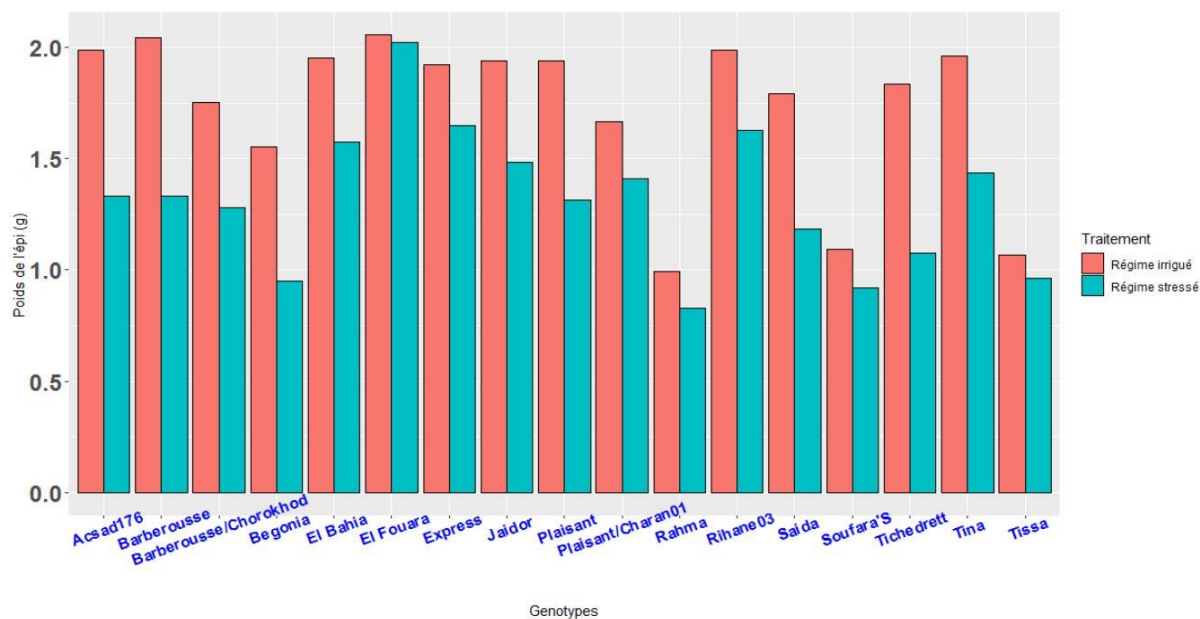


Figure 59. Poids de l'épi des génotypes sous les deux traitements.

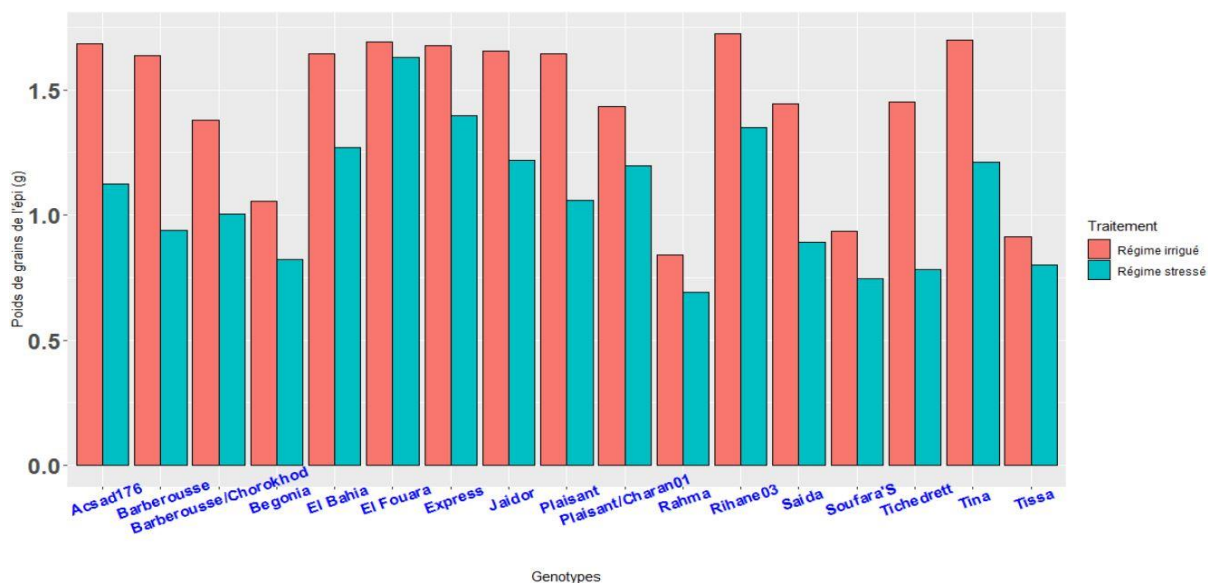


Figure 60. Poids des grains de l'épi des génotypes sous les deux traitements.

El Bahia a enregistré un poids des épis de 70,83 g, par contre, Begonia a réalisé un poids de 35,96 g (figure 61). Un nombre de feuilles de 5,90 a été constaté chez Begonia et Saïda, alors que Barberousse a enregistré, uniquement, 4,80 feuilles (figure 62).

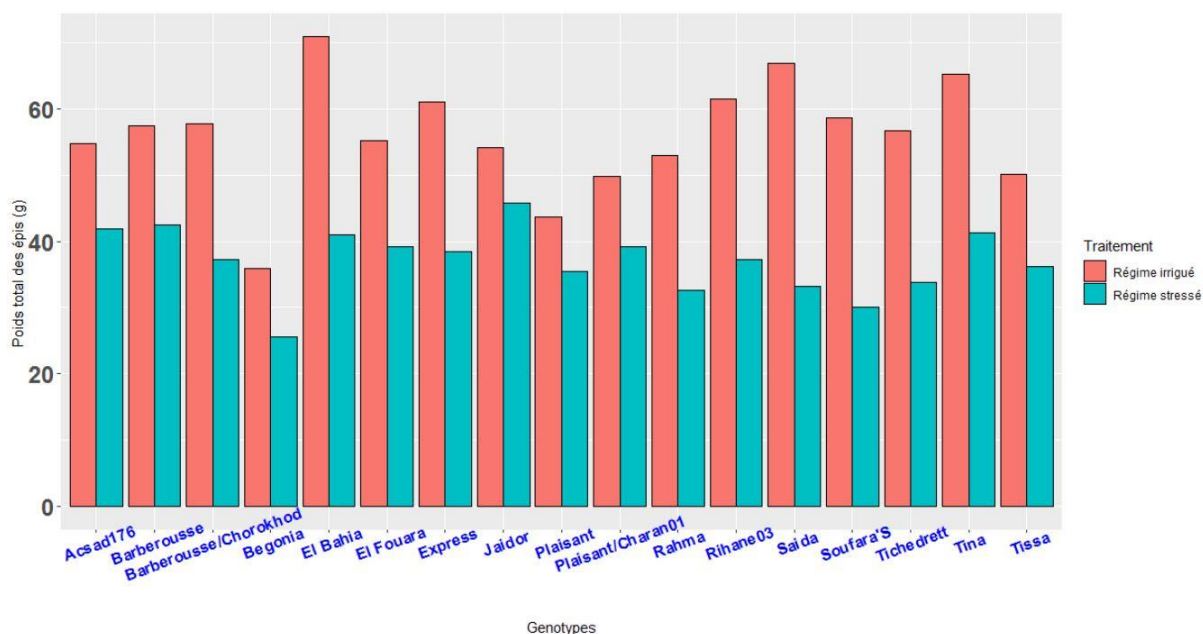


Figure 61. Poids total des épis des génotypes sous les deux traitements.

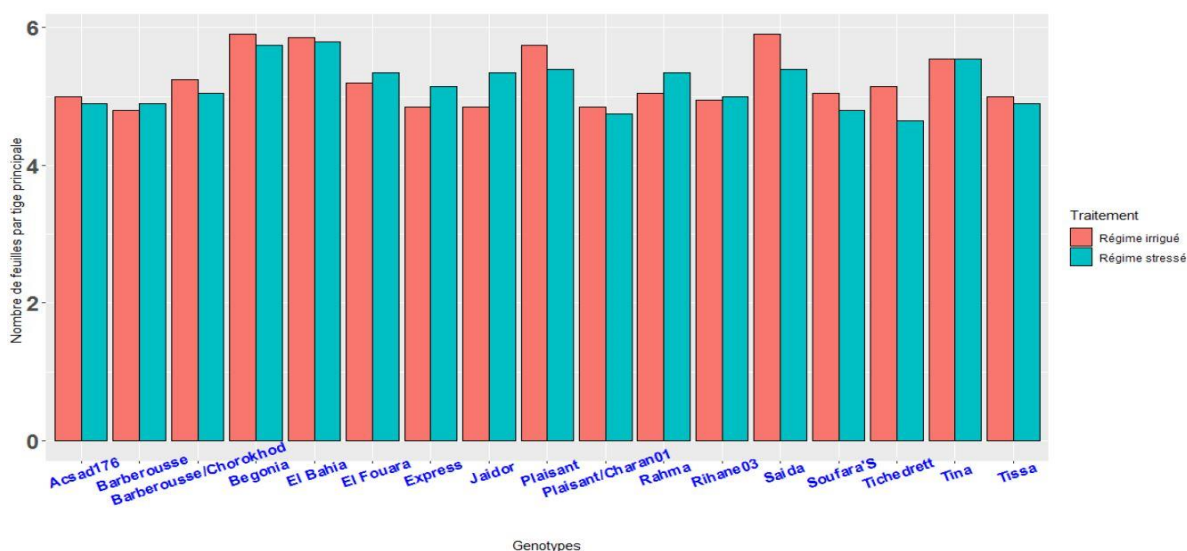


Figure 62. Nombre de feuilles par tige principale des génotypes sous les deux traitements.

La surface foliaire du génotype El Bahia a été la plus grande avec 26,42 cm<sup>2</sup>, par contre Plaisant/Charan01 a donné une surface foliaire de 12,58 cm<sup>2</sup>. Barberousse a présenté des feuilles longues avec 23,54 cm, alors que Rahma s'est caractérisé par des feuilles très courtes avec 15,28 cm de long. Plaisant a pu former des feuilles larges avec 1,16 cm contrairement à Soufara'S dont les feuilles étaient étroites avec 0,59 cm.

Le volume racinaire le plus élevé est formé par Barberousse, avec 80,45 cm<sup>3</sup>. Cependant, Express figure en dernière position parmi les génotypes testés avec 45,81 cm<sup>3</sup>. Saïda a développé une biomasse racinaire importante, soit 46,12 g, alors que Plaisant a

présenté une faible biomasse racinaire, avec 18,09 g. Saïda a donné un rapport racinaire de 0,329 par rapport à celui de Plaisant qui est plus faible 0,170.

### Régime stressé

L'application du stress hydrique a permis de distinguer les géotypes résistants à la sécheresse. Tina s'est caractérisé par une longue tige avec 65,73 cm, alors que Begonia a présenté une courte tige avec 37,32 cm et un court col de l'épi de 23,80 cm ; cependant, Soufara'S a donné un épi plus long avec 7,15 cm (annexe 6).

Tichedrett a formé des barbes très longues avec 13,28 cm, alors que Rahma s'est caractérisé par des barbes très courtes de 7,70 cm. Le géotype Tina a réalisé une longueur du col de l'épi de 23,96 cm.

El Fouara a pu maintenir un poids de l'épi élevé et celui des grains de l'épi par rapport aux autres géotypes avec 2,02 et 1,63 g respectivement. En revanche, Rahma s'est caractérisé par un poids de l'épi et des grains de l'épi les plus petits, avec 0,83 et 0,69 g respectivement. Le poids total des épis varie, sous stress hydrique, entre 45,74 g enregistré par Jaidor et 25,59 g par Begonia.

La tige principale d'El Bahia a donné 5,80 feuilles tandis que Tichedrett a émis, seulement 4,65 feuilles. Alors que la surface foliaire d'El Fouara a été la plus grande avec 21,38 cm<sup>2</sup> sous stress hydrique, Soufara'S a présenté des feuilles de petite taille, soit 10,64 cm<sup>2</sup> (figure 63).

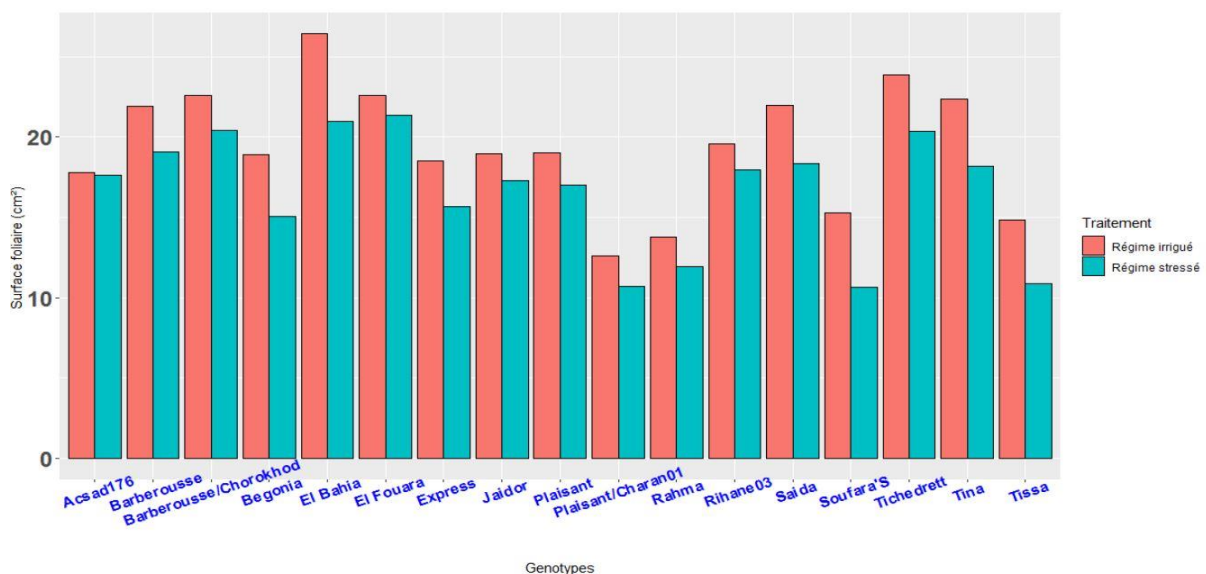


Figure 63. Surface foliaire des géotypes sous les deux traitements.

Le génotype Barberousse/Chorokhod a formé de longues feuilles sous stress hydrique avec 22,13 cm, contrairement à Plaisant/Charan01 dont les feuilles ont été moins longues en réponse au stress hydrique, avec 13,60 cm (figure 65). Les feuilles du génotype Begonia ont été les plus larges avec 0,97 cm, par contre, Soufara'S a formé des feuilles de moindre largeur, soit 0,56 cm (figure 66).

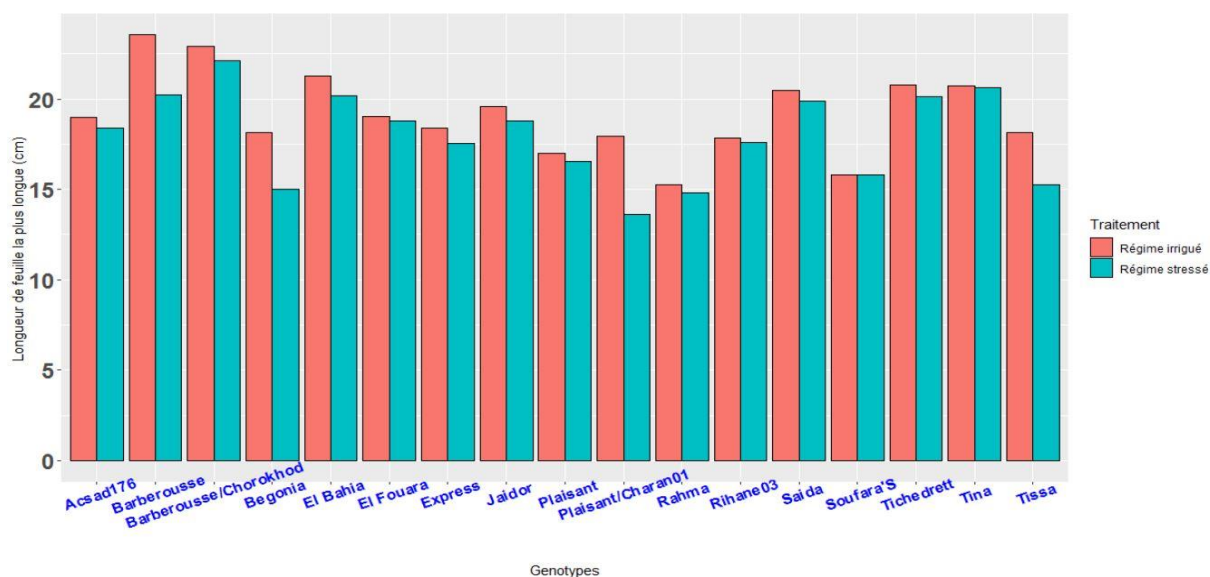


Figure 64. Longueur de la feuille la plus longue des génotypes sous les deux traitements.

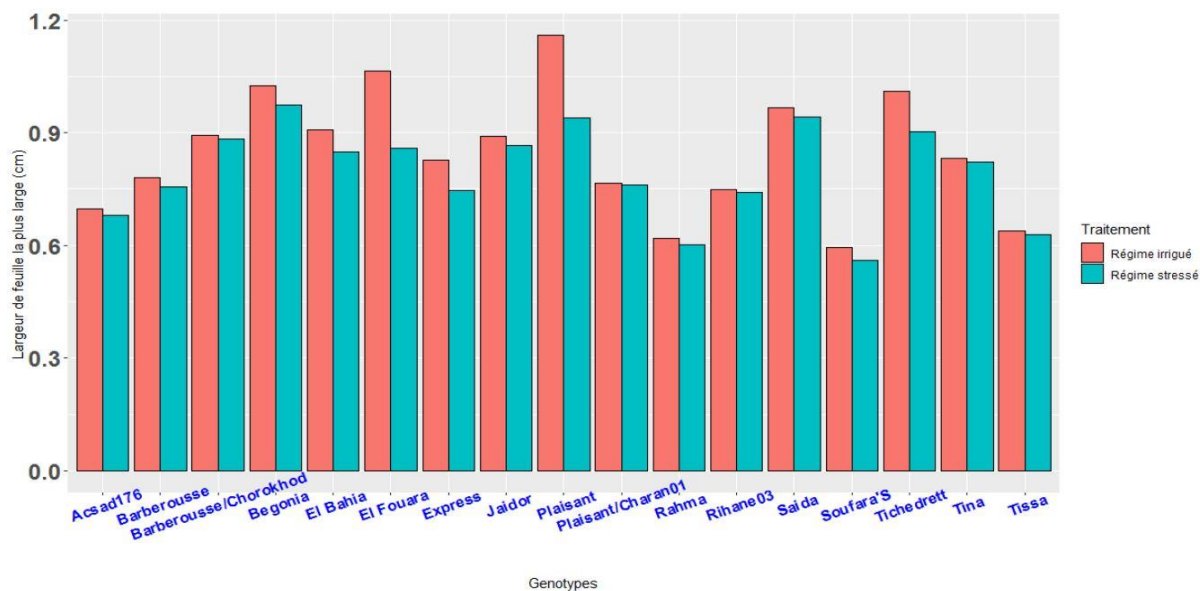


Figure 65. Largeur de la feuille la plus large des génotypes sous les deux traitements.



Le volume racinaire développé par Saïda sous stress hydrique a été élevé soit 83,82 cm<sup>3</sup>, alors que le volume le plus réduit a été réalisé par Plaisant/Charan01, avec 45,00 cm<sup>3</sup> (figure 66).

La biomasse racinaire la plus élevée a été développée par Tichedrett avec 25,04 g, sous stress hydrique, contrairement à Plaisant/Charan01 qui a développé moins de biomasse racinaire, avec 10,84 g (figure 67). Le rapport racinaire a été important pour Barberousse/Chorokhod 0,275, tandis que Plaisant a présenté un faible rapport racinaire avec 0,126 (figure 68).

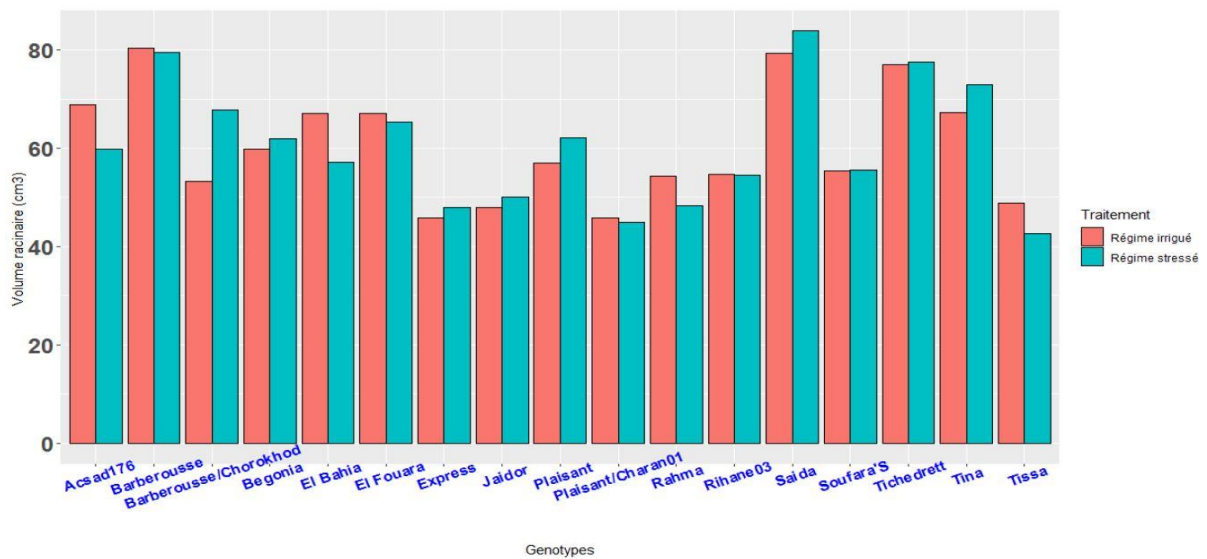


Figure 66. Volume racinaire des génotypes sous les deux traitements.

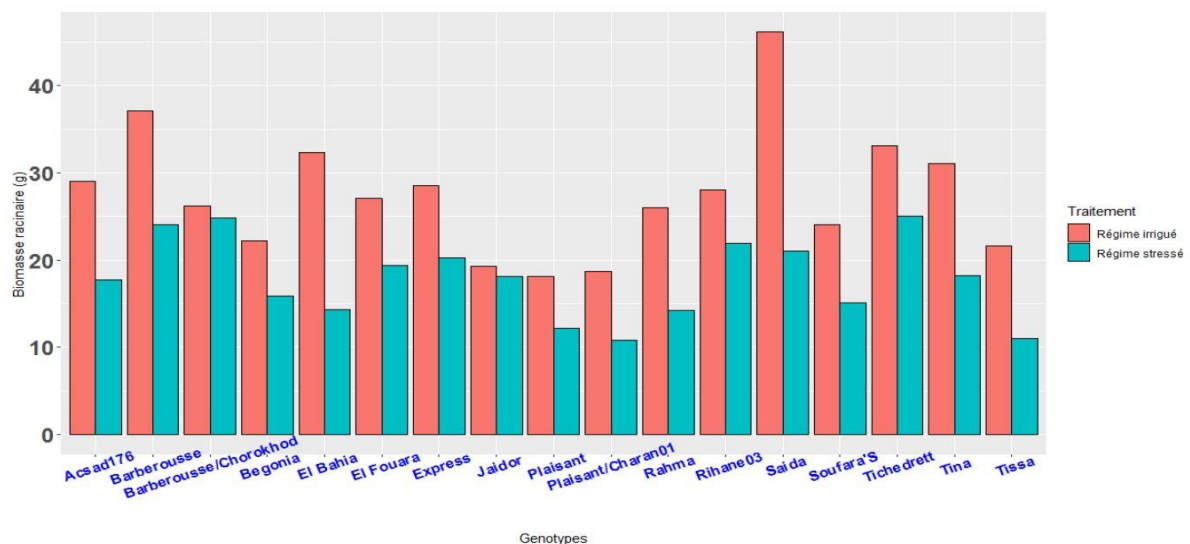


Figure 67. Biomasse racinaire des génotypes sous les deux traitements.

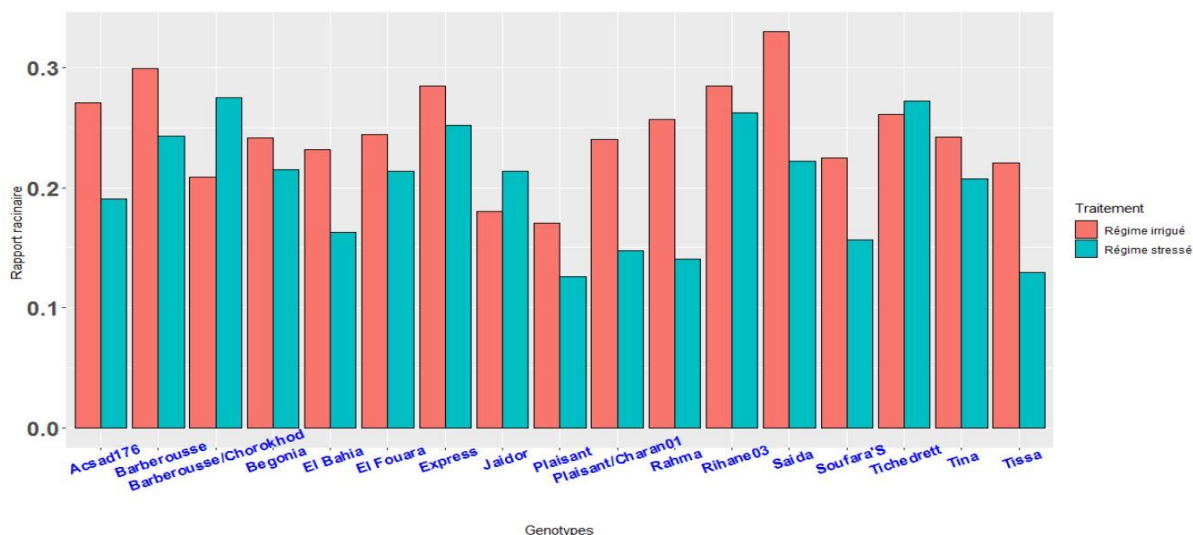


Figure 68. Rapport racinaire des génotypes sous les deux traitements.

### 3.2.1.4. Caractères physiologiques

Le traitement statistique des résultats obtenus a montré l'existence de différences significatives entre les génotypes et entre les traitements hydriques pour l'ensemble des caractères physiologiques étudiés (annexe 5, tableau 1).

#### Régime irrigué

La teneur relative en eau sous régime contrôlé varie de 96,61%, cas de Tina, à 92,29 % d'El Fouara. La stabilité membranaire, sous régime irrigué, a variée de 96,62 % notée chez Barberousse/Chorokhod à 91,06%, enregistré par Barberousse (figures 69 et 70). Ce dernier a réalisé la teneur en chlorophylle *a+b* la plus élevée avec 39,37 mg/g, alors qu'El Fouara a présenté une faible teneur soit 25,73 mg/g de MF (figures 71, 72 et 73).

Barberousse a enregistré une teneur en proline élevée, avec 1,86  $\mu\text{g} / 100 \text{ mg}$  de MF, alors que Barberousse/Chorokhod a donné une faible teneur en proline avec 6,125  $\mu\text{g}/100 \text{ mg}$  de MF. Rahma a présenté une forte teneur en sucres solubles avec 1,43 mg/100 mg de MF, sous régime contrôlé, alors que la plus faible teneur a été enregistrée par Tina avec 0,89 mg/100 mg de MF.

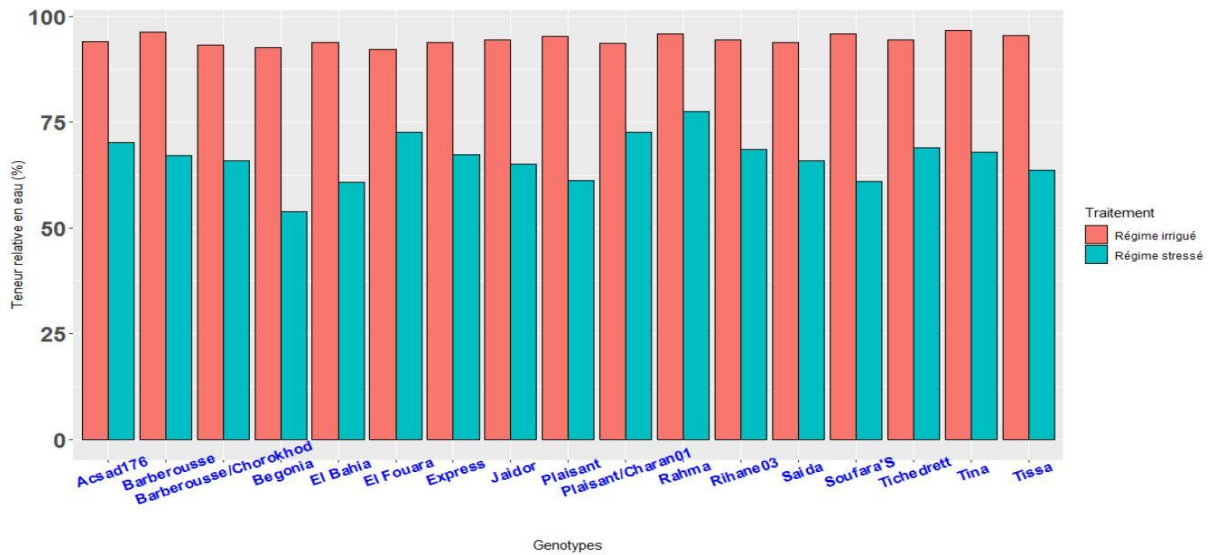


Figure 69. Teneur relative en eau des génotypes sous les deux traitements.

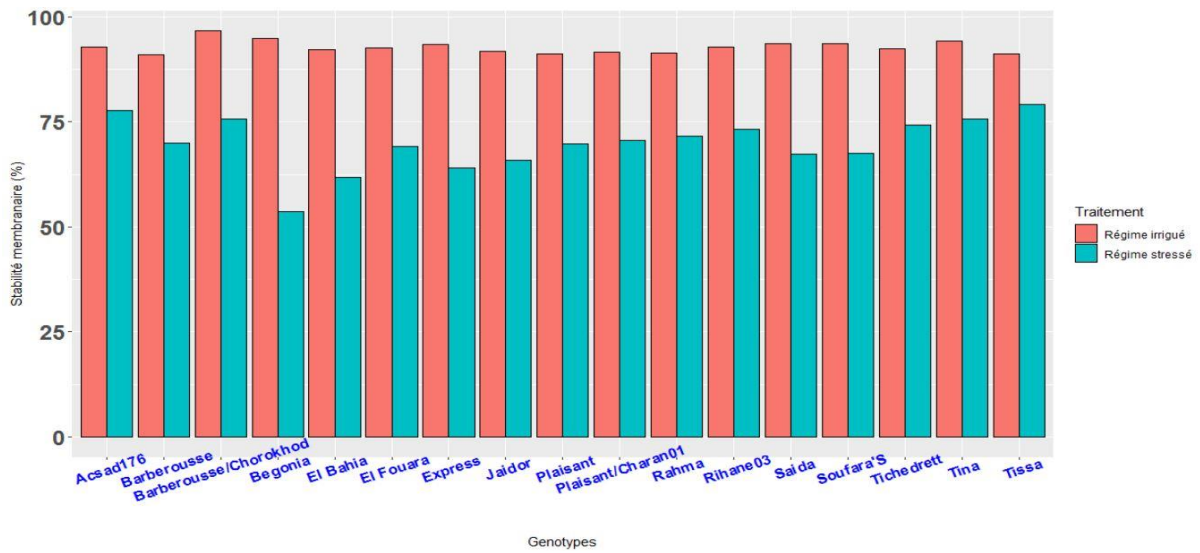


Figure 70. Stabilité membranaire des génotypes sous les deux traitements.

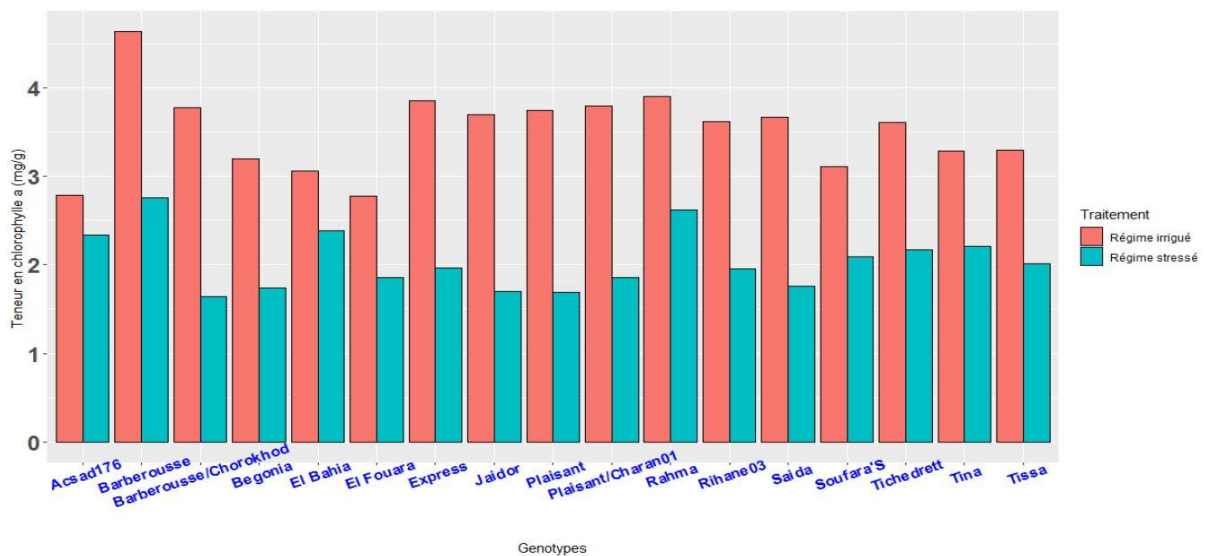


Figure 71. Teneur en chlorophylle a des génotypes sous les deux traitements.

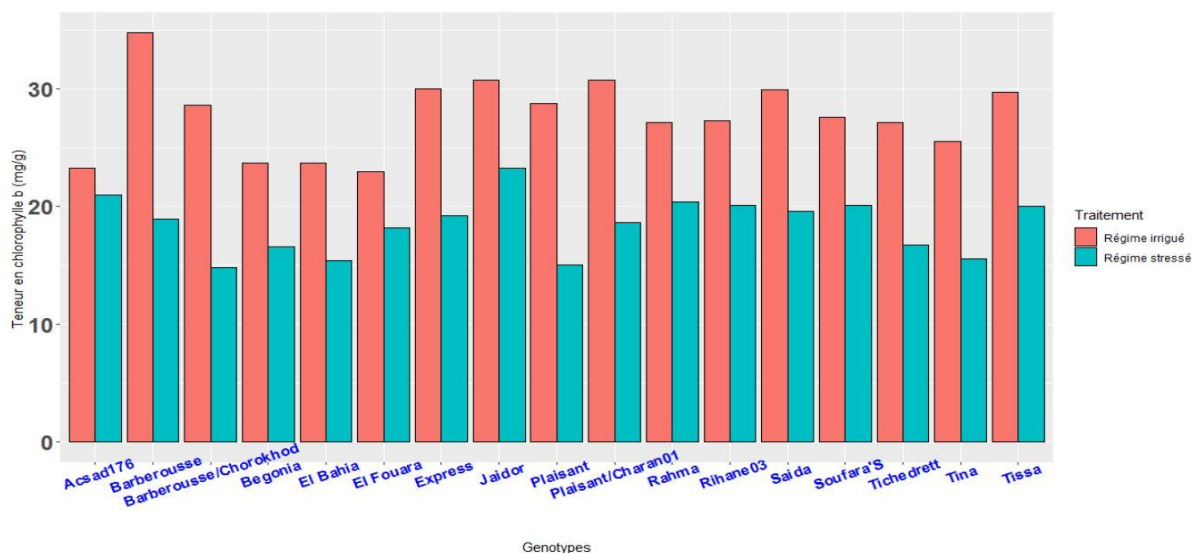


Figure 72. Teneur en chlorophylle *b* des génotypes sous les deux traitements.

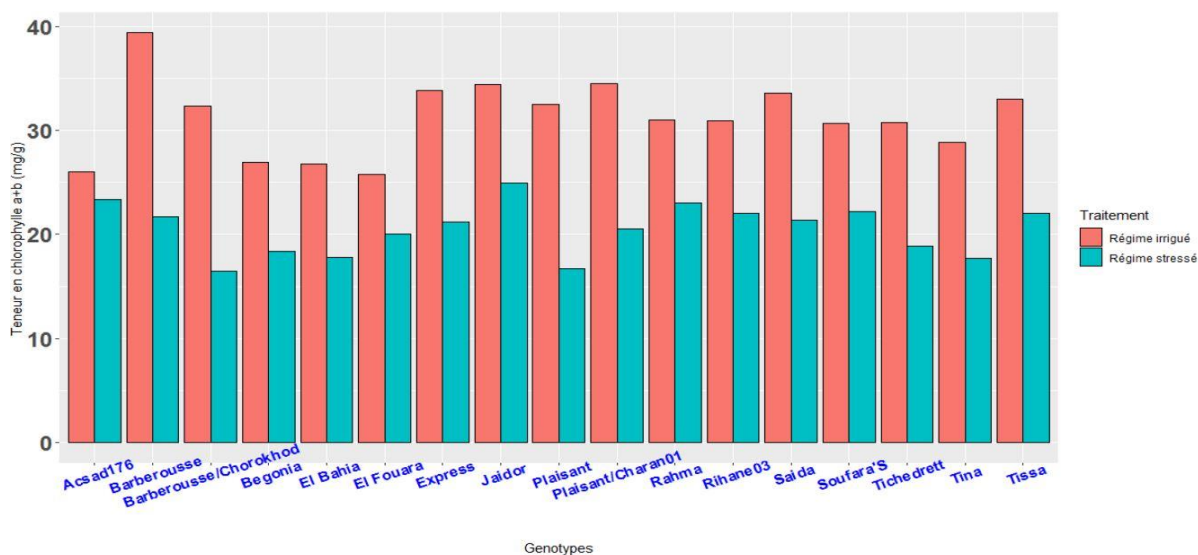


Figure 73. Teneur en chlorophylle *a+b* des génotypes sous les deux traitements.

### Régime stressé

En présence de déficit hydrique, la teneur relative en eau a varié de 77,57 % à 53,86 % enregistrées, respectivement, par Rahma et Begonia. La stabilité membranaire en condition de déficit hydrique a été de 79,14%, obtenue par Tissa, et de 53,59% enregistrée pour Begonia.

Les résultats montrent une forte teneur en chlorophylle *a+b* enregistrée par Jaidor avec 24,98 mg/g, et une très faible teneur réalisée par Barberousse/Chorokhod avec 16,46 mg/g. La teneur en proline sous stress hydrique, a été élevée pour Barberousse/Chorokhod avec 34,61  $\mu\text{g} / 100 \text{ mg}$  de MF, contre une faible teneur obtenue par Plaisant, soit 16,29  $\mu\text{g} / 100 \text{ mg}$  de MF (figure 74).

Le géotype Acsad176 a réagi en réponse au stress hydrique en augmentant sa teneur en sucres solubles, avec une teneur de 1,94 mg /100 mg de MF (figure 75), comme un mécanisme de défense. Tina n'a accumulé que 1,48 mg/100 mg de sucres solubles dans ces feuilles pour faire face au déficit hydrique (annexe 6).

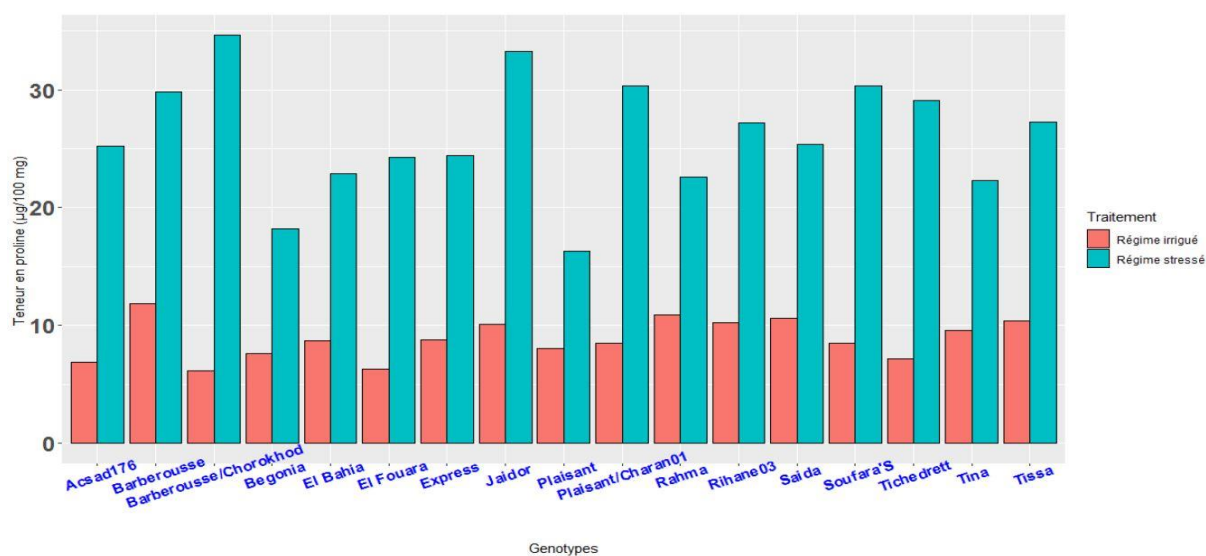


Figure 74. Teneur en proline des géotypes sous les deux traitements.

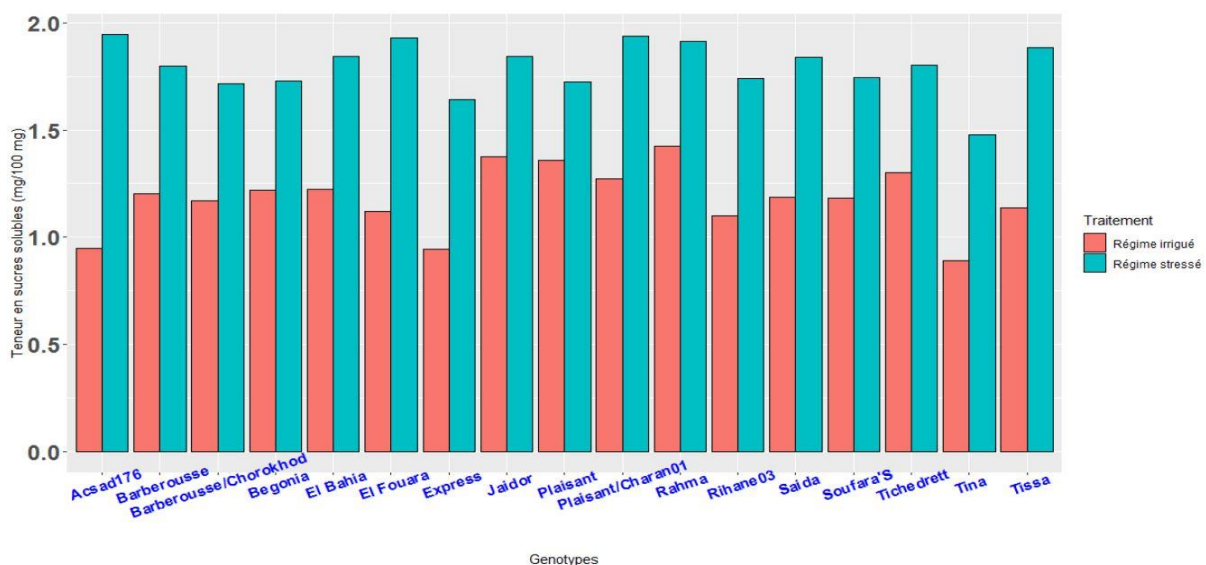


Figure 75. Teneur en sucres solubles des géotypes sous les deux traitements.

### 3.2.2. Estimation des pertes liées au stress hydrique

Le nombre d'épis par pot a connu une forte réduction à cause du stress hydrique appliqué chez Soufara'S et Tissa avec 35,92% et 28,54% respectivement par rapport au

témoin. D'autres génotypes ayant perdu le moins d'épis sont Barberousse/Chorokhod et de Acsad176 avec 2,12 % et 2,22 % de pertes respectivement.

La perte du nombre de grains par épi a été élevée pour Saïda avec 39,34%, suivie par la variété Rihane03 avec 32,96 %. Tandis que Tissa et Plaisant/Charan01 ont perdu moins de grains, après avoir subi un déficit hydrique, soit 7,14 % et 7,46 % respectivement.

Le stress hydrique a provoqué l'avortement des épillets de Soufara'S d'un taux de 141,59 %, favorisant le développement du nombre d'épillets stériles par épi, ainsi, une réduction du nombre de grains par épi. L'avortement des épillets le plus faible a été donné par le génotype Barberousse/Chorokhod ; la perte est estimée à 4,49 %.

Les poids de mille grains d'El Fouara et de Barberousse ont été fortement affectés suite à l'application du stress hydrique soit 20,17% et 19,02% respectivement. Alors que Tissa et Plaisant ont été moins affecté par le stress appliqué et ont réalisé une réduction du poids de mille grains de 0,19 % et 0,52 % respectivement.

Les résultats montrent une réduction élevée du rendement estimé, soit 56,28 % enregistrée par Soufara's, ce qui exprime une nette influence du déficit hydrique sur les composantes du rendement et par conséquent sur le rendement estimé. En revanche, Plaisant/Charan01 a enregistré une faible réduction du rendement estimé, avec 19,36 %.

La variété Saïda a connu une réduction importante du rendement en grain par pot soit 55,75 % par rapport au régime irriguée à l'opposé de Plaisant qui montre 11,21 % de perte.

El Bahia a perdu 38,09 % de sa biomasse aérienne par pot. Tandis que Rahma a été le génotype le moins affecté avec une réduction de 4,20 % de sa biomasse aérienne.

Le poids total des épis chez Saïda a connu une forte réduction de 50,25 %, et celui de Jaidor a été réduit, uniquement, de 15,61 %. Ce dernier génotype a connu une augmentation du nombre de feuilles par tige principale de 10,31 % ; en revanche, le nombre de feuilles de Tichedrett est réduit de 9,71 %.

L'indice de récolte, pour sa part, a connu une réduction chez tous les génotypes, la plus élevée a été de 43,11 % chez Soufara's, alors que la plus faible réduction a été notée chez Plaisant avec 1,54 %.

Les caractères morphologiques ont été affectés par l'application du stress. En effet, la hauteur de la tige a connu une réduction de 0,62 %, enregistré par Plaisant/Charan01, à 34,22 % enregistrée par Saïda. De sa part, Express a enregistré une faible réduction de la longueur

de l'épi ; contrairement à Plaisant qui a réalisé une forte réduction, soit 19,15 %. La longueur des barbes a baissé chez Saïda de 12,84 %, et de 0,12 % chez Jaidor. Comme il a été constaté une réduction de la longueur du dernier entre-noeud chez Tichedrett de 39,96 % contre 2,34 % notée pour Tissa.

Le déficit hydrique a ralenti l'élongation de la feuille conduisant à la réduction de la surface photosynthétique de la plante. La diminution de la longueur de la feuille la plus élevée a été notée chez Plaisant/Charan01 avec 24,26 % et la moins affectée a été Soufara's avec, seulement, une réduction de 0,04 %. La réduction de la largeur des feuilles, a été élevée chez El Fouara avec 19,19 % et a été de 0,73 % chez le génotype Plaisant/Charan01.

L'un des mécanismes de réponse au stress hydrique observé chez certains génotypes est l'enroulement des feuilles, conduisant à une réduction de la surface directement exposée au soleil. C'est le cas du génotype Soufara'S, qui a marqué un taux d'enroulement élevé avec 30,40 %, par contre Acsad176 a été moins affecté par le stress avec 1,15 % d'enroulement.

Le génotype Barberousse/Chorokhod a présenté une forte augmentation du volume racinaire avec 27,24 %, et une faible diminution de la biomasse racinaire. Tandis qu'El Bahia a enregistré une forte diminution du volume racinaire avec 14,74 %, et une forte diminution de la biomasse racinaire avec 55,88 %. Le rapport racinaire a été réduit de 45,35 % chez Rahma, cette valeur est la plus élevée parmi les génotypes testés, cependant, Tichedrett a enregistré une réduction du rapport racinaire de 4,39 %.

Le stress hydrique affecte généralement le statut hydrique de la feuille de la plante en réduisant sa teneur relative en eau, c'est le cas du génotype Begonia, qui s'est démarqué par une diminution de 41,89 %. Rahma a évité la perte d'eau avec une diminution de 19,08 %.

Barberousse/Chorokhod a été le plus affecté par la diminution de la teneur en chlorophylle *a* et *b* avec 56,64 % et 48,13 %, respectivement. Acsad176 a pu garder ses pigments chlorophylliens, malgré le stress hydrique appliqué, avec une diminution de 16,24 % et 9,61 % pour la chlorophylle *a* et la chlorophylle *b* respectivement.

Les résultats montrent une faible augmentation de la proline et des sucres solubles chez Plaisant par rapport aux autres génotypes, avec 103,2 % et 26,93 % respectivement. Cependant, Barberousse/Chorokhod a enregistré un taux d'augmentation de 465,07 % de la proline. Acsad176, pour sa part, a enregistré, en comparant le témoin et le traitement stressé, une augmentation de 105,27 % des sucres solubles.

### 3.2.3. Discussion

L'eau est un facteur déterminant chez les plantes, un manque ou un déficit en eau aura des conséquences graves, aussi bien sur le comportement de la plante que sur sa productivité. La question d'adaptation au déficit hydrique prend, de plus en plus, une place importante en amélioration des plantes et impose aux chercheurs de trouver des alternatives pour y répondre.

Les résultats obtenus, par la présente étude, montrent une importante variabilité génétique entre les génotypes étudiés, cela a été évident à travers l'analyse de la variance qui a été significative pour tous les caractères étudiés. Le stress hydrique a affecté la majorité des génotypes, alors que certains ont été moins affectés.

En présence d'eau Soufara'S donne plus d'épis par pot alors qu'il a subi une forte réduction du nombre d'épis par pot à cause du stress hydrique appliqué. En fait, ce dernier est un génotype à deux rangs qui se caractérise par une forte émission des épis mais en cas de stress hydrique le développement de l'épi est ralenti et provoque son avortement ; cela suppose que le génotype ne dispose pas de mécanismes suffisants pour maintenir la circulation de l'eau vers les épis, dans ce cas-là le génotype n'émet plus d'épis provoquant aussi l'avortement des épillets. Barberousse/Chorokhod a connu une faible réduction de nombre d'épis par mètre carré à cause du stress hydrique ; ce génotype émet moins d'épis par rapport à Soufara'S, malgré le stress hydrique, l'eau continu à circuler vers l'épi pour assurer son développement, cela peut être attribué à la forte augmentation du volume racinaire et de la teneur en proline présentés par ce génotype. Cependant, Rahma a pu garder la circulation de l'eau vers l'épi pour assurer son développement ce qui a donné un nombre élevé d'épis par pot malgré le stress appliqué. Cette stratégie de défense confirme les résultats obtenus par l'étude de l'interaction génotype x environnement indiquant l'adaptation de de Rahma à la région Sétif (semi-aride) plus qu'à Alger.

Sous les deux conditions, Express donne un nombre de grains par épis important indiquant sa tolérance au stress hydrique appliqué et sa capacité de produire des épis même en cas de déficit hydrique ; ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par l'étude de l'interaction génotype x environnement. Le stress hydrique au stade épiaison provoque la stérilité de l'épillet à cause de la réduction de la circulation de l'eau vers les épillets et conduisant à l'augmentation du nombre d'épillets stériles par épi. Saïda est le génotype qui a perdu plus de grains par épi à cause du stress hydrique, ce qui suppose sa faible adaptation à la région semi-s-aride (résultats de l'étude de l'interaction génotype x environnement, annexe 3 tableau 9).



Tissa a été le moins affecté par le stress, il a connu une faible réduction du poids de mille grains contrairement à El Fouara qui a donné un bon remplissage des grains en présence d'eau et beaucoup moins dans une situation de déficit hydrique. En revanche El Bahia a pu assurer un bon remplissage des grains en conditions de stress qui peut être dû à la grande surface foliaire et à la grande longueur des barbes qui lui ont permis de produire plus d'assimilat même en condition de stress. Ce résultat confirme celui obtenu dans la première partie de cette étude (annexe 3, tableau 10). Selon Araus *et al.* (1993) et Bort *et al.* (1994), la présence des barbes aide les épis à maintenir la photosynthèse et l'efficacité d'utilisation de l'eau à un niveau élevé, et limite la perte en eau pendant la période de remplissage du grain (Monneveux et Nemmar, 1986).

Express semble être le génotype le plus stable pour le nombre de grains par épi, ceci peut être dû à l'alimentation hydrique de la partie aérienne de la plante par une biomasse racinaire élevée, assurant, ainsi, le maintien d'un bon statut hydrique dans les épis.

Saïda a subi des pertes massives de rendement en grain suite à l'application du stress hydrique, ceci peut être justifié par le nombre de grains par épi affecté par le stress hydrique, ainsi que par la réduction du poids total des épis, de la hauteur de la tige et de la longueur des barbes, contrairement à Plaisant qui a été moins touché ; ce dernier génotype est plus adapté à la région semi-aride. En présence d'eau, El Bahia semble être plus productif, par contre Acsad176 a montré une adaptation aux conditions de stress. Cette adaptation s'exprime par un bon maintien du statut hydrique des feuilles, une stabilité membranaire importante, une grande synthèse des sucres solubles, une faible réduction de la surface foliaire et des pigments chlorophylliens, ce qui lui a permis de continuer son activité photosynthétique ; ce résultat est en accord avec celui de This *et al.* (2000) et Guo *et al.* (2008).

La précocité à l'épiaison reste un caractère efficace pour échapper au stress de fin cycle. Plaisant/Charan01 figure comme étant le génotype le plus précoce que ce soit en présence d'eau ou en cas de déficit hydrique. Un tel génotype a une vitesse de croissance élevée pour finir son cycle. Vitrakoti *et al.* (2016) ont rapporté que la précocité à l'épiaison est un caractère déterminant du rendement, et la sélection pour ce caractère pourrait être utile dans l'amélioration du rendement en grain. La variété Tichedrett, malgré sa tardiveté, a un comportement de résistance au déficit hydrique intéressant, ainsi qu'un développement racinaire efficace (Khaldoun *et al.*, 1990)

L'accumulation d'une bonne biomasse aérienne constitue un site de stockage avec la tige et le dernier entre-noeud, aussi bien pour l'eau que pour les assimilats, elles contribuent à

l'élaboration du rendement et de ses composantes. C'est le cas d'El Bahia conduit en condition irriguée, alors que Rahma a donné plus de biomasse aérienne en conditions de déficit hydrique, ce génotype a donné aussi une biomasse aérienne importante dans la région de Sétif (annexe 3, tableau 14 a). Kermiche (2000) affirme que la biomasse aérienne explique le plus le rendement, suivie de l'indice de récolte et du nombre d'épis par mètre carré. Le système racinaire constitue aussi un second site de stockage d'eau qui pourra être utile en cas de déficit hydrique, néanmoins certains génotypes ont montré une diminution du volume racinaire par rapport au témoin, d'autres génotypes ont enregistré une augmentation du volume racinaire par rapport au régime contrôlé. C'est résultats sont en accord avec ceux de El Fakhri *et al.* (2010).

D'après ces résultats, on constate que l'accumulation d'une bonne biomasse aérienne permet à la plante de garder un bon statut hydrique des feuilles en cas de stress hydrique. Il a été remarqué que la teneur relative en eau de Rahma était non seulement la moins affectée par le stress par rapport au témoin mais aussi la plus élevée sous stress hydrique. De plus, on a constaté que Plaisant semble ne pas disposer de certains mécanismes de tolérance au stress hydrique tels que l'augmentation de la teneur en proline et en sucres solubles des feuilles pour stabiliser le fonctionnement de la chaîne photosynthétique et sauver la production.

#### **3.2.4. Analyse en composantes principales**

Une analyse multi-variée a été effectuée pour déterminer la répartition des génotypes en fonction des différents caractères afin d'interpréter les résultats obtenus en tenant compte de l'ensemble des caractères étudiés, de leurs relations avec les génotypes étudiés d'identifier les caractères les plus déterminants de la tolérance au stress hydrique. Le premier axe de l'analyse en composantes principales explique 30,2 % de l'information apportées par les résultats, tandis que le deuxième axe explique 24,5 %, soit un total de 54,7 %. L'interprétation est donc expliquée par ces deux premières composantes.

Au niveau de l'axe 1 sont corrélés négativement les variables suivantes : nombre d'épis par mètre carré, nombre d'épis par pot, longueur de l'épi, teneur en chlorophylle *b*, teneur en chlorophylle *a+b* et teneur en sucres solubles. Du côté positif, nous retrouvons les variables : largeur d la feuille la plus large, surface foliaire, nombre d'épillets stériles par épi, longueur des barbes, volume racinaire, poids de l'épi, poids des grains de l'épi, longueur de la feuille la plus longue, biomasse racinaire, rapport racinaire, nombre de grains par épi, biomasse aérienne par pot et nombre de feuilles.

Au niveau de l'axe 2 sont corrélés négativement les variables : précocité à l'épiaison et date de maturité (tableau 6). Cependant, sur le côté positif les caractères rendement réel pot, rendement estimé, poids de mille grains, hauteur de la tige, longueur du dernier entre-noeud, indice de récolte, teneur relative en eau, teneur en proline, stabilité membranaire et teneur en chlorophylle *a* sont très proches .

Le poids de mille grains, la hauteur de la tige et la longueur du dernier entre-noeud sont fortement corrélés positivement avec le rendement réel (figure 76). Cependant, le poids de l'épi, le poids des grains de l'épi, la longueur de la feuille la plus longue, le rendement estimé et la teneur relative en eau sont, aussi, corrélés positivement avec le rendement réel.

Des fortes corrélations positives de la hauteur de la tige et la longueur du dernier entre-noeud avec le poids de mille grains ont été observées. La surface foliaire, le poids de l'épi, le poids des grains de l'épi, la longueur de la feuille présentent des corrélations positives avec le poids de mille grains.

La surface foliaire et la longueur des barbes présentent de fortes corrélations négatives avec le nombre d'épis par mètre carré.

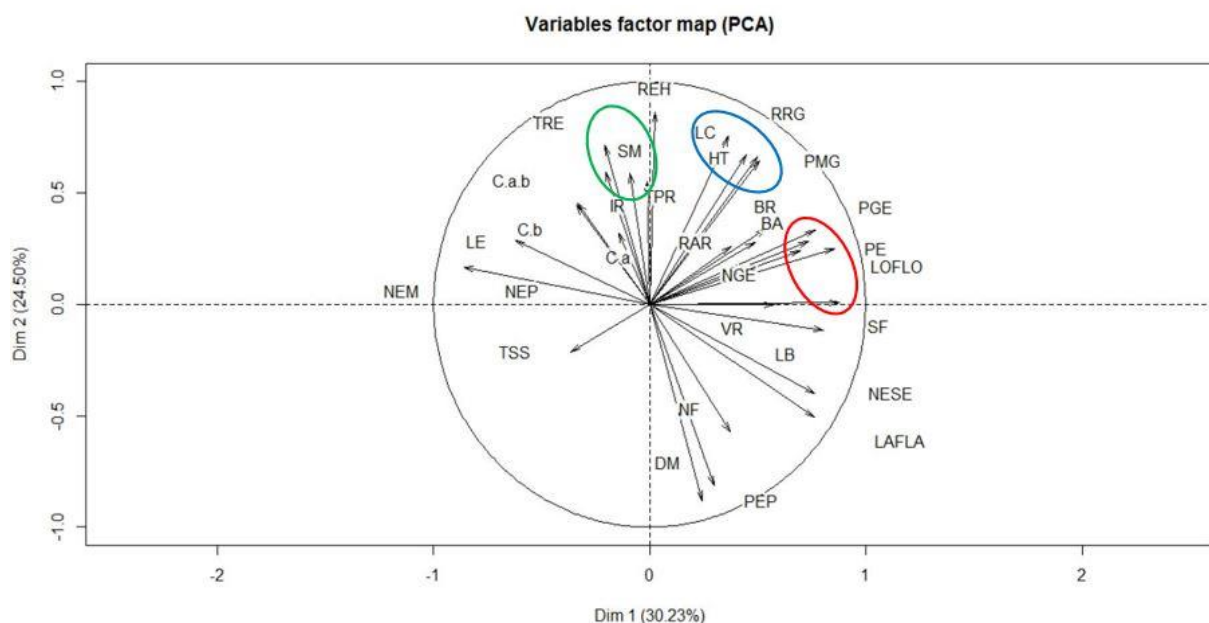


Figure 76. Analyse en composantes principales des variables mesurées.

Une forte corrélation positive entre la longueur des barbes et la surface foliaire est notée. Alors que, la teneur relative en eau est corrélée négativement avec la précocité à l'épiaison et la date de maturité.

La figure 77 montre une répartition des génotypes sur le biplot de l'ACP reflétant la constitution des groupes des génotypes avec des comportements relativement identiques (tableau 7). On voit clairement que les trois génotypes d'orge à deux rangs appartiennent au même groupe et présentent une similitude élevée entre eux par rapport aux autres génotypes. La figure 77 illustre aussi un deuxième groupe qui est formé par Tichedrett, Saïda, El Fouara, El Bahia et Barberousse/Chorokhod. Ces génotypes s'associent par la longueur et la largeur de leurs feuilles et donc une surface foliaire élevée. Ils ont, aussi, formé de longues barbes, un nombre d'épillets stériles par épi et un volume racinaire, ainsi qu'un nombre de grains par épi élevés. Cependant, ces génotypes ont un épi moins long et une faible densité épi (figure 78).

Le troisième groupe comprend les génotypes Acsad176, Barberousse, Rihane03, Jaïdor et Express qui se caractérisent par un rendement réel /ha, un poids de mille grains, une longueur du dernier entre-noeud et une hauteur de la tige élevées.

Plaisant/Charan01 se positionne entre ce groupe et le groupe des génotypes à deux rangs en montrant certains caractères des deux groupes. En revanche, le génotype Tina se trouve entre ce groupe et le groupe du génotype Tichedrett.

Les génotypes Begonia et Plaisant se positionnent en bas du bi-plot de l'ACP et loin des autres groupes. Ces deux génotypes d'hiver diffèrent par leurs comportements des autres groupes de génotypes, notamment Begonia qui a montré une forte exigence au froid au stade végétatif.

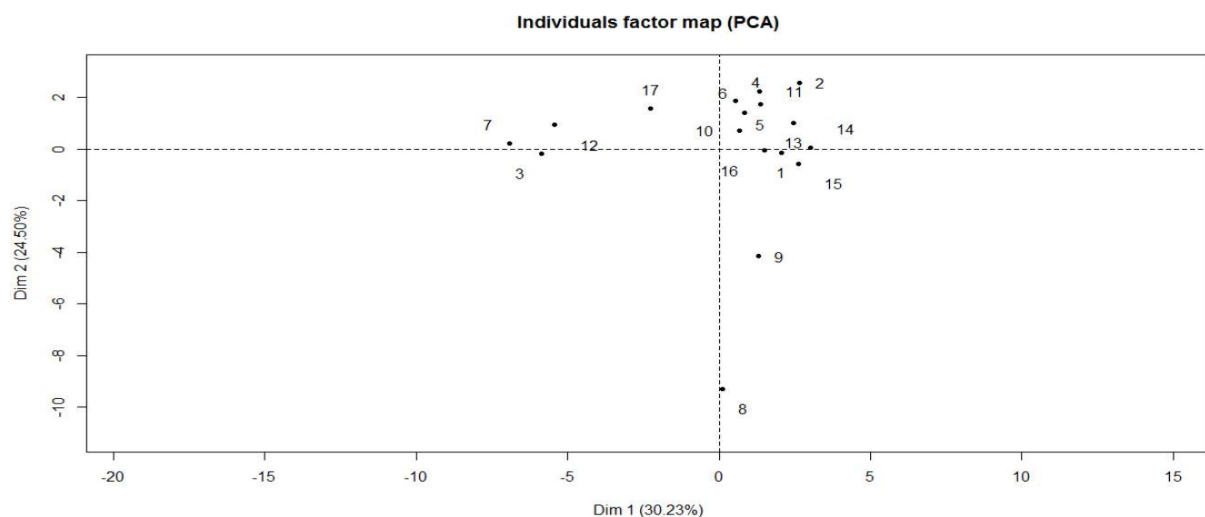


Figure 77. Analyse en composantes principales des génotypes étudiés (1 = Tichedrett ; 2 = Tina ; 3 = Soufara'S ; 4 = Acsad 176 ; 5 = Barberousse ; 6 = Rihane ; 7 = Rahma, 8 = Begonia ; 9 = Plaisant ; 10 = Jaïdor ; 11 = Express ; 12 = Tissa ; 13 = Saïda ; 14 = El Fouara ; 15 = El Bahia ; 16 = Barberousse/Chorokhod ; 17 = Plaisant /Charan01).

Le groupe formé par les géotypes Soufara'S, Rahma, Tissa et Plaisant/Charan01 ont présenté de fortes corrélations positives avec le nombre d'épis par mètre carré et avec la longueur de l'épi, qui est, généralement, le comportement des orges à deux rangs. Ces géotypes sont corrélés négativement avec la surface foliaire et la longueur des barbes. Ils présentent un faible nombre d'épillets stériles par épi et une faible largeur des feuilles.

Le géotype Tina se trouve entre le deuxième et le troisième groupe, donc il se caractérise par un poids de mille grains, une longueur du dernier entre-noeud et une hauteur de la tige élevée, ainsi qu'une biomasse racinaire bien développée.

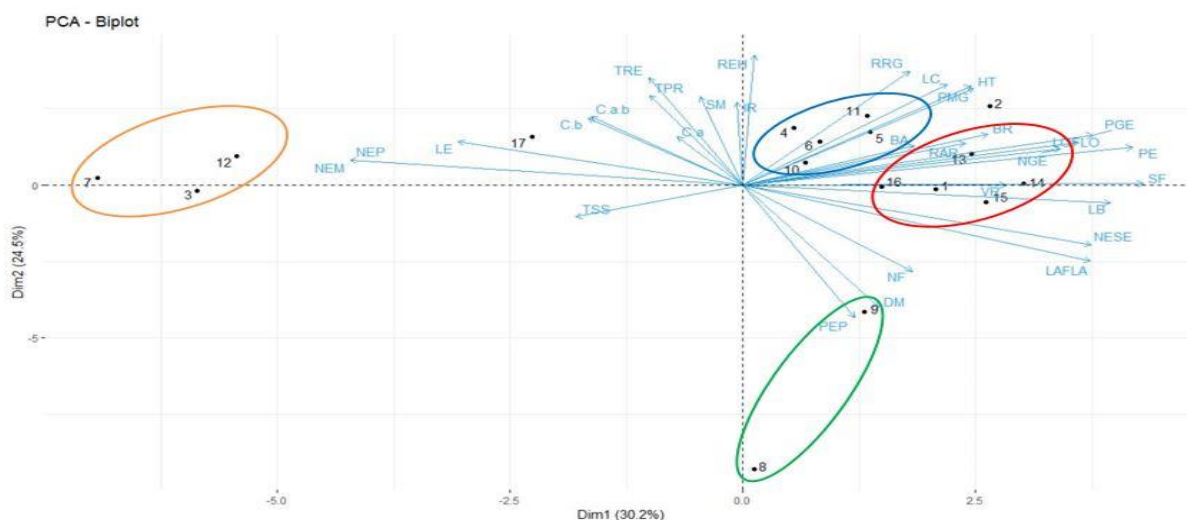


Figure 78. Analyse en composante principale de l'ensemble des variables mesurées et les géotypes testés (1 = Tichedrett ; 2 = Tina ; 3 = Soufara'S ; 4 = Acsad 176 ; 5 = Barberousse ; 6 = Rihane ; 7 = Rahma, 8 = Begonia ; 9 = Plaisant ; 10 = Jaidor ; 11 = Express ; 12 = Tissa ; 13 = Saïda ; 14 = El Fouara ; 15 = El Bahia ; 16 = Barberousse/Chorokhod ; 17 = Plaisant /Charan01).

Les géotypes Begonia et Plaisant sont corrélés positivement avec la précocité à l'épiaison et la date de maturation. Ils sont corrélés négativement avec la teneur relative en eau ce qui montre la sensibilité de l'état hydrique de leurs feuilles au stress hydrique par rapport aux autres géotypes.

Tableau 6. Position et contribution de différents variables sur les deux axes de l'ACP.

Variables	Dim.1	Ctr	Cos <sup>2</sup>	Dim.2	Ctr	Cos <sup>2</sup>
PEP	0,245	0,640	0,060	-0,882	10,251	0,778
DM	0,298	0,947	0,089	-0,814	8,719	0,662
NF	0,371	1,467	0,138	-0,573	4,325	0,328
PE	0,854	7,779	0,729	0,250	0,824	0,063
PGE	0,766	6,262	0,587	0,332	1,455	0,111
HT	0,500	2,670	0,250	0,661	5,756	0,437
LC	0,447	2,131	0,200	0,671	5,933	0,451
LE	-0,623	4,134	0,388	0,287	1,086	0,082
LB	0,804	6,903	0,647	0,118	0,182	0,014
NGE	0,695	5,161	0,484	0,242	0,768	0,058
NESE	0,763	6,214	0,582	-0,399	2,094	0,159
LAFLA	0,761	6,178	0,579	-0,506	3,369	0,256
LOFLO	0,734	5,754	0,539	0,281	1,041	0,079
SF	0,877	8,197	0,768	0,009	0,001	0,000
VR	0,576	3,535	0,331	-0,001	0,000	0,000
BR	0,537	3,079	0,289	0,337	1,493	0,113
RAR	0,487	2,529	0,237	0,280	1,032	0,078
PMG	0,505	2,721	0,255	0,645	5,483	0,416
NEM	-0,859	7,871	0,738	0,167	0,367	0,028
NEP	-0,859	7,870	0,738	0,167	0,368	0,028
REH	0,026	0,007	0,001	0,865	9,841	0,747
RRG	0,365	1,420	0,133	0,755	7,506	0,570
BA	0,375	1,503	0,141	0,262	0,901	0,068
IR	-0,012	0,002	0,000	0,553	4,030	0,306
SM	-0,093	0,092	0,009	0,587	4,535	0,344
TRE	-0,205	0,450	0,042	0,714	6,713	0,510
<i>C a</i>	-0,144	0,220	0,021	0,322	1,366	0,104
<i>C b</i>	-0,338	1,222	0,115	0,444	2,601	0,198

$C_{a+b}$	-0,332	1,176	0,110	0,453	2,701	0,205
TSS	-0,365	1,420	0,133	-0,213	0,598	0,045
TPR	-0,204	0,444	0,042	0,595	4,662	0,354

Dim.1 : position sur la première dimension ; Ctr : contribution dans l'axe :  $\text{Cos}^2$  : cosinus au carré ; Dim.2 : position sur la deuxième dimension.

Tableau 7. Position et contribution de différents génotypes sur les deux axes de l'ACP.

Génotypes	Dim.1	Ctr	$\text{Cos}^2$	Dim.2	Ctr	$\text{Cos}^2$
Tichedrett	2,071	2,691	0,217	-0,127	0,012	0,001
Tina	2,652	4,414	0,220	2,566	5,099	0,206
Soufara's	-5,858	21,538	0,849	-0,177	0,024	0,001
Acsad176	0,547	0,187	0,026	1,865	2,695	0,308
Barberouss	1,371	1,179	0,056	1,730	2,317	0,089
Rihane03	0,832	0,435	0,064	1,424	1,571	0,189
Rahma	-6,928	30,122	0,788	0,230	0,041	0,001
Begonia	0,120	0,009	0,000	-9,293	66,893	0,943
Plaisant	1,307	1,072	0,055	-4,154	13,367	0,552
Jaidor	0,675	0,286	0,024	0,723	0,405	0,028
Express	1,335	1,118	0,083	2,251	3,925	0,237
Tissa	-5,435	18,538	0,816	0,936	0,678	0,024
Saïda	2,458	3,791	0,254	1,026	0,815	0,044
Elfoura	3,022	5,732	0,387	0,056	0,002	0,000
Elbahia	2,610	4,276	0,250	-0,566	0,249	0,012
Barberousse /Chorokhod	1,487	1,388	0,151	-0,056	0,002	0,000
Plaisant / Charan01	-2,266	3,222	0,174	1,568	1,904	0,083

Dim.1 : position sur la première dimension ; Ctr : contribution dans l'axe :  $\text{Cos}^2$  : cosinus au carré ; Dim.2 : position sur la deuxième dimension.

### 3.2.5. Discussion

L'analyse en composantes principales a permis de mettre des liens entre les caractères associés entre eux et cela dans le but d'identifier les caractères les plus déterminants de la tolérance au stress hydrique.

Une bonne teneur relative en eau des feuilles permet de stabiliser les membranes de la cellule, de garder ces pigments chlorophylliens (stay-green) et par conséquent le maintien de fonctionnement des processus physiologiques de la cellule. Ces mécanismes d'adaptation sont souvent associés avec l'augmentation de la synthèse des sucres solubles et/ou avec celle de la proline.

La sélection pour la tolérance à la sécheresse dans les programmes de sélection conventionnels a réalisé des progrès significatifs pour améliorer le rendement et la stabilité du rendement en cas de stress hydrique grâce à la sélection directe ou à la sélection indirecte par la précocité et le stay-green (Li *et al.*, 2007). En fait, la senescence foliaire conduit souvent à une perte massive des produits de la photosynthèse et se traduit par une réduction de la production de rendement. Le phénomène est expliqué par la capacité de maintenir les pigments chlorophylliens sous condition de stress hydrique chez certains génotype représente un caractère important qui peut contribuer dans la réalisation des progrès en amélioration de l'orge.

Les résultats montrent que la longueur des barbes est associée à la surface foliaire ; ces deux caractères sont aussi associés le poids de l'épi et des grains de l'épi et contribuent dans la réalisation de nombre de grains par épi. D'autres part, le volume et la biomasse racinaire permet à la plante d'absorber plus d'eau qui va circuler vers l'épi en assurant le bon déroulement de la fécondation des épillets.

L'analyse en composantes principales indique que la hauteur de la tige et la longueur du dernier entre-noeud caractérisent les génotypes productifs et tolérants au stress hydrique ; ces deux caractères expliquent souvent la réalisation du rendement dans une telle condition par le stockage de l'eau et des assimilats. Cette analyse indique aussi que le poids de mille grains reste un caractère important dans la sélection des génotypes tolérants au stress hydrique car il représente une partie importante de la réalisation du rendement.

Les résultats pourraient suggérer l'exploitation du poids de mille grains et du nombre de grains par épi comme critères de sélection pour le rendement en condition de stress. On



peut dire, aussi, que la précocité à l'épiaison, la surface foliaire et la teneur relative en eau sont des mécanismes de tolérance et d'échappement au stress hydrique, développés par les génotypes étudiés. La teneur relative en eau des feuilles sous condition de sécheresse a été soulignée comme un critère de sélection (Schonfeld *et al.*, 1988).

L'analyse en composantes principales nous a permis aussi de regrouper les génotypes en fonction des caractères qui les relient. Les génotypes à deux rangs et Plaisant/Charan01 se sont caractérisés par un nombre d'épis par pot élevé et un épi plus long mais avec une faible surface foliaire, un faible volume racinaire et des barbes courtes. Par contre, Tichedrett, Saïda, El Fouara, El Bahia et Barberousse/Chorokhod se sont caractérisés par une grande surface foliaire, un volume racinaire important, des barbes longues et un nombre de grains par épi élevé ce qui confirme les résultats obtenus dans l'étude de l'interaction génotype x environnement. Tina, un génotype qui dispose d'une longue tige et une biomasse aérienne importantes se caractérise aussi par un dernier entre-noeud et un poids de mille grains importants.

En mettant le lien entre les deux parties de la présente étude ; nous trouvons que les génotypes qui s'adaptent à Sétif sont ceux qui expriment un besoin élevé en froid avec un cycle long ainsi que les génotypes à deux rangs avec une forte émission des talles et d'épis. En effet, Begonia et Plaisant n'expriment pas une grande adaptation physiologique mesurée par la proline et même la stabilité membranaire pour faire face au déficit hydrique. Ces génotypes ne maintiennent pas une bonne teneur relative en eau qui est un mécanisme primordial dans la tolérance au stress hydrique.

Begonia et Plaisant se positionnent loin des autres génotypes et présentant un cycle plus long et des faibles teneurs relatives en eau, en proline et en chlorophylle  $a+b$  ainsi qu'une faible stabilité membranaire. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus dans la partie de l'étude de l'interaction génotype x environnement (annexe 3, tableau 30) et expliquent la faible tolérance de ces génotypes au stress hydrique. Bien que ces deux génotypes s'adaptent mieux à la région semi-aride de Sétif, ils présentent aussi une certaine sensibilité vis-à-vis du stress hydrique ; cela peut être dû à leurs structures génétiques qui ne disposent pas d'une grande expression durant le déficit hydrique.

D'autre part, les génotypes qui s'adaptent à Alger présentent une biomasse importante à l'épiaison expliquée par un taux de croissance élevé en raison des conditions climatiques plus favorables (faibles amplitudes thermique, précipitations élevées...), cette biomasse

construite essentiellement par la présence d'une surface foliaire importante se traduit par un degré de conversion élevé en rendement réel. La tige et le dernier entre-noeud étant des organes qui font partie de cette biomasse connaissent des modifications lors de l'adaptation à un environnement ou un stress (plus ou moins d'élongation pour le stockage de l'eau et des assimilats) contribuent aussi dans la productivité des génotypes. Le groupe des génotypes Acsad 176, Barberousse, Rihane 03, Jaidor et Express s'est caractérisé aussi par un poids de mille grains élevé avec un col de l'épi bien développé et un rendement souhaitable permettant leur sélection pour la tolérance au stress hydrique. Ce groupe de génotypes s'adapte mieux à Alger grâce à ces mécanismes d'adaptation avec le maintien des pigments chlorophylliens pour assurer le processus de la photosynthèse.

### **3.2.6. Conclusion sur l'étude de l'effet de stress hydrique**

Le présent travail a permis d'étudier le comportement des génotypes testés sous stress hydrique, et de définir les mécanismes mis en œuvre par les génotypes tolérants au déficit hydrique pour les exploiter comme des critères de sélection. En effet, le poids de mille grains, le nombre de grains par épi, la surface foliaire, la biomasse aérienne et la biomasse racinaire peuvent être admis comme critères de sélection pour le stress hydrique. Le maintien d'une bonne teneur relative en eau et en chlorophylle ainsi que la stabilité membranaire de la cellule, restent des mécanismes très utiles chez les génotypes pour garantir la photosynthèse dans le cas d'un stress hydrique de fin cycle.

En présence d'eau, El Bahia semble plus productif du fait de sa biomasse aérienne et racinaire importantes mais aussi de la grande surface foliaire produite. En revanche, Acsad176 est très recommandé pour les régions semi-arides où les précipitations connaissent une grande fluctuation. Cependant, Rahma, Express et Plaisant/Charan01 sont les génotypes les plus stables et tolérants à la sécheresse. Rihane03 et Jaidor sont des génotypes de bon poids de mille grains recommandés pour les futurs programmes d'amélioration. Tichedrett, Soufara'S et Saïda sont classés comme étant les moins stables, alors que Bégonia et Plaisant sont classés comme étant des génotypes tardifs, chose qui n'est pas souhaitable en zone semi-aride à cause de la présence des stress de fin de cycle.

## **Conclusion générale**

L'augmentation de la production de l'orge est un objectif primordial en amélioration des plantes, par le choix de variétés à bon potentiel de production et à stabilité de rendement. L'interaction génotype x environnement présente une importance dont le sélectionneur doit tenir compte. En effet, l'objectif de la sélection pour une région donnée n'est atteint que si les variétés expriment une stabilité à travers les environnements.

Les résultats obtenus ont montré que les génotypes sont significativement différents pour la majorité des caractères étudiés, ce qui explique leur comportement et leurs adaptations aux environnements. Jaidor et Acsad176 sont des génotypes qui ont exprimé une précocité pour les régions d'Alger et de Sétif, respectivement. La précocité est connue comme étant un mécanisme d'adaptation, que certains génotypes développent, pour sauver leurs rendements dans les environnements à sécheresse en fin cycle.

Le rendement en grain étant le paramètre le plus indicateur du potentiel de production d'un génotype, pour cela, Express et Rahma sont très recommandés pour les régions d'Alger et de Sétif, respectivement.

Le modèle AMMI a indiqué que Plaisant/Charan01 peut être considéré comme le plus stable avec un rendement moyen proche de la moyenne générale des génotypes. Rihane et Acsad176, ainsi que Elfouara et Express sont mieux adaptés à la région d'Alger avec des rendements au-dessus de la moyenne générale. Ces génotypes présentent une adaptation aux zones à fort potentiel et peuvent être commercialisés pour les agriculteurs dans cette région.

Tina, Soufara et Rahma, ainsi que Begonia et Plaisant sont, spécifiquement, adaptés à la région de Sétif. En effet, ces deux derniers génotypes sont fortement déconseillés pour les régions à climat doux en raison de leur exigence en froid, et peuvent être introduits dans les futurs programmes d'amélioration pour les régions caractérisées par des hivers froids.

A la lumière de ces résultats on peut dire que les génotypes à deux rangs sont très adaptés aux environnements à faible potentiel de production, là où la culture de blé ne convient pas et l'introduction de ces génotypes dans le marché des semences apportera des résultats intéressants. Tina avec une tige plus longue présente un risque de verse notamment quand les précipitations en fin de cycle sont élevées. El Bahia dispose d'une surface foliaire importante permettant d'augmenter sa capacité photosynthétique surtout dans les régions à fort potentiel de production.

Notre étude montre que les génotypes productifs se caractérisent par un cycle relativement court avec une précocité à l'épiaison leurs permettant d'échapper aux stress de fin cycle, essentiellement le déficit hydrique. Ces génotypes se caractérisent, aussi, par un poids de mille grains et une biomasse aérienne à l'épiaison élevés. Une bonne biomasse aérienne et un bon indice de récolte sont considérés aussi comme des mécanismes d'adaptation notamment en zone semi-aride là où la plante peut stocker l'eau et les photosynthétats. Les résultats obtenus suggèrent, aussi, que la longueur du dernier entrenoeud, le poids de l'épi et le poids des grains de l'épi sont fortement associés au rendement en grain, ainsi qu'à la capacité photosynthétique, qui est représenté par la surface foliaire et la teneur en chlorophylle. L'ensemble de ces caractères peuvent constituer des critères de sélection pour le rendement en zone semi-aride.

L'adaptation de l'orge résulte de sa tolérance aux contraintes biotiques et abiotiques dans un environnement donné. Cette adaptation apparaît par sa phénologie, sa morphologie et même au niveau moléculaire de ces génotypes. Nous avons constaté que le stress hydrique entraînait une réduction du statut hydrique de la plante et par conséquent des pertes de rendement importantes. Barberousse/Chorokhod dispose d'un bon volume racinaire lui permettant d'occuper plus d'espace pour la recherche de l'eau et une faible diminution de la biomasse racinaire. Rahma a montré une bonne teneur relative en eau malgré le stress hydrique appliqué, justifiant sa tolérance au stress hydrique. Express répond mieux en condition de déficit hydrique par rapport aux autres génotypes pour le caractère nombre de grains par épi. Alors qu'El Bahia et Saïda ont été intéressants pour le caractère poids de mille grains en condition de stress hydrique.

Les génotypes adaptés aux environnements fertiles sont El Bahia, Tina et Saïda avec une productivité élevée sans stress hydrique, en revanche Acsad176 et Tina semblent être plus productifs en condition de stress hydrique.

Les résultats montrent des fortes relations entre les différents caractères étudiés qui peuvent être exploités dans les programmes de sélection, notamment lorsqu'il s'agit des paramètres fortement associés au rendement. Le poids de mille grains, la hauteur de la tige et la longueur du col de l'épi, qui pourraient être exploités comme critères de sélection directe pour le rendement. De plus, le poids de l'épi, le poids des grains de l'épi, la longueur de la feuille la plus longue, et la teneur relative sont relativement associés au rendement.

Notre étude a permis la compréhension de certains mécanismes impliqués dans l'adaptation de l'orge dans l'élaboration du rendement en cas de déficit hydrique. L'ensemble de ces génotypes constitue un matériel génétique intéressant pour les futurs programmes d'amélioration pour les régions semi-aride. Ils peuvent être commercialisés et contribuer à l'augmentation de la production de l'orge dans ces régions.

Comme perspectives à cette étude, il est important de réaliser des études complémentaires que ce soit pour la compréhension des mécanismes impliqués en réponse stress qui affectent la culture d'orge ou bien pour les futures programmes d'amélioration par :

- ✓ L'étude de l'aspect moléculaire par l'analyse de l'expression des gènes de tolérance à la sécheresse et des gènes de stay-green sous stress hydrique ;
- ✓ L'étude des gènes de tolérance à d'autres stress tels que le stress thermique, le gel, la salinité ...etc, et les gènes de vernalisation ;
- ✓ L'étude de l'interaction génotype x environnement à travers plus de milieux sur le territoire national et plusieurs années ;
- ✓ La création variétale par des croisements inter et interespécifiques entre les meilleurs génotypes.

## Références bibliographiques

1. Aase J.K., 1978. Relationship between leaf area and dry-matter in winter wheat. *Agronomy journal*, 70, 563–565.
2. Abebe T., Guenzi A.C., Martin B. et Cushman J.C., 2003. Tolerance of mannitol accumulating transgenic wheat to water stress and salinity. *Plant Physiology*, 131: 1748-1755.
3. Acevedo E., Craufurd, P.Q., ustin R.B. et Perez-Marco P., 1991. Traits associated with high yield in low rainfall environments. *Journal of Agricultural Science*, 116: 23–36.
4. Acquaah G., 2012. Principles of Plant Genetics and Breeding. 2ème Edition, John Wiley and sons, USA, 740 p.
5. Adjabi A., Bouzerzour H. et Benmahammed A., 2016. Study of the effects of physiological trait selection on the yield potential in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi-arid conditions. *Advances in Environmental Biology*, 10(5) :153-163.
6. Adjabi A., Bouzerzour H., Lelarge C., Benmahammed A., Makhlof A. et Hannachi A., 2007. Relationships between grains yield performance, temporal stability and carbon isotope discrimination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under Mediterranean conditions. *Journal of Agronomy*, 6(2): 294-301.
7. Ahmadi N., 1983. Variabilité génétique et hérédité de mécanismes de tolérance à la sécheresse chez *Oryza sativa* L. I. Développement racinaire. *Agronomy Tropical*, 38 :118-122.
8. Alam M.Z., Haider S.A. et Paul N.K., 2007. Yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) in relation to sowing times. *Journal of biosciences*, 15: 139-145,
9. Alfian F.H. et Halimatus S., 2016. On The Development of Statistical Modeling in Plant Breeding: An Approach of Row-Column Interaction Models (RCIM) For Generalized AMMI Models with Deviance Analysis. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9 :134 – 145
10. Abd Allah A.A., 2009. Genetic studies on leaf rolling and some root traits under drought conditions in rice (*Oryza sativa* L.). *African Journal Of Biotechnology*, 8 : 6241-6248
11. Alqudah A.M. et Schnurbusch T., 2015. Barley leaf area and leaf growth rates are maximized during the pre-Anthesis phase. *Agronomy*, 5: 107-129.
12. Alzueta I., Abeledo L.G., Mignone C.M. et Miralles D.J., 2012. Differences between wheat and barley in leaf and tillering coordination under contrasting nitrogen and sulfur conditions. *European Journal of Agronomy*, 41: 92– 102.

13. Amer W.M., Hegazy A.K. et Azer S.A., 2013. Taxonomic revision of genus *Hordeum* L. (Gramineae) in Egypt. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 5 (4): 198-208.
14. Annicchiarico P., 2002. Genotype x environment interactions: Challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. FAO Plant Production and Protection Paper No. 174. Food and Agriculture Organization, Rome.
15. Annicchiarico P., F. Bellah et Chiari T., 2006. Repeatable genotype × locations interaction and its exploitation by conventional and GIS based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *European Journal of Agriculture*, 24: 70-81.
16. Araus J.L., Brown R.H., Febrero A., Bort J. et Serret M.D., 1993. Ear photosynthesis, carbon isotope discrimination and the contribution of respiratory CO<sub>2</sub> to differences in grain mass in durum wheat. *Plant, Cell & Environment*, 16 (4):163-169.
17. Araus J.L., Slafer A.G., Reynolds M.P., Royo C., 2004, Physiology of yield and adaptation in wheat and barley breeding. In: Nguyen H.T., Blum A., Physiology and Biotechnology Integration for Plant Breeding, Boca Raton, (eds), CRC Press, pp 700.
18. Araus J.L., Slafer G.A., Royo C. et Serret M.D., 2008. Breeding for Yield Potential and Stress Adaptation in Cereals. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27:377–412.
19. Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenyl peroxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24 (1): 1-15.
20. Backer R.J., 1990. Defferential response to environmental stress. In: Weir B.S. Eisen E.J., Goodman M.M. et Namkoong G., (eds) proceedings of the second international conference on quantitative genetics, Sinauer, Sunderland, Massachussetts, pp. 492-504.
21. Backes G., Orabi J., Fischbeck G. et Jahoor A., 2006. Barley. In: Kole C. (ed), Genome mapping and molecular breeding in plants, cereals and millets. Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg, Vol. 1 : 174-210.
22. Bahlouli F., Bouzerzour H. et Benmahammed A., 2008. Effets de la vitesse et de la durée du remplissage du grain ainsi que de 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. *Biotechnology agronomy and society and environment*, 12(1): 31-39.
23. Baik B.K. et Ullrich S.E., 2008. Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of Cereal Science*, 48: 233–242.

24. Bajji M., Kinet J. et Lutts S., 2002. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regulation*, 36: 61-70.
25. Bajji M., Lutts S. et Kient J.M., 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf aging in three durum wheat (*Triticum durum* Defs.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science*, 160: 669-681.
26. Barrs C. et Weatherley P.E., 1968. A reexamination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. *Australian Journal of Biological Science*, 15 (3): 413-428.
27. Bartels D. et Sunkar R., 2005. Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(1): 23-58.
28. Bates L.S., Waldern R.P. et Teare I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39 (1): 205-207.
29. Bavandpori F., Ahmadi J. et Hossaini S., 2015. Yield Stability Analysis of Bread Wheat Lines using AMMI Model. *Agricultural Communications*, 3: 8-15.
30. Becker H.C et Leon J., 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant breeding*, 101, 1-23.
31. Belhassen E., This D., Monneveux P., 1995. L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. *Cahier d'agriculture*, 1 : 251-261.
32. Belloul A., Bessai D., Djennadi-Ait Abdellah F., Meziani M. et Zeghouane- Boufenar F., 2008. Résultats d'enquête sur le choix des variétés des céréales au niveau agriculteur (blé et orge). *Céréaliculture*, 51 : 22-32.
33. Beltrano J., Ronco M.G. et Arango M.C., 2006. Soil drying and rewatering applied at three grain developmental stages affect differentially growth and grain protein deposition in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18: 341-350.
34. Ben Salem M., Boussen H. et Slama A. 1997. Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotechnologie Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF/UREF), Orsay, 30 juin-3 juillet 1997.
35. Benes J., Salkova T. et Vanecek Z., 2011. Archaeo-botanical insight into the origin and early history of barley (*Hordeum vulgare*) in the Near East. *Kvasny Prumysl*, 57 (5): 121-126.
36. Benmahammed A., 2004. La production de l'orge et possibilité de développement en Algérie. *Céréaliculture*, n° 41, pp. 34-38.



37. Benmahammed A., Kribaa M., Bouzerzour H. et Djekoun A., 2010. Assessment of stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) advanced breeding lines under semi-arid conditions of the eastern high plateaus of Algeria, *Euphytica*, 172 (3): 383-394.
38. Bensemane L., Bouzerzour H., Benmahammed A. et Mimouni H., 2011. Assessment of the Phenotypic Variation Within Two And Six-rowed Barley (*HordeumVulgare* L.) Breeding Lines Grown Under Semi-Arid Conditions. *Advances in Environmental Biology*, 5(7): 1454-1460.
39. Blum A., 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*, 112: 119-123.
40. Blum A. et Ebercon A., 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Science*, 21(1): 43-47.
41. Blum, A., Munns R., Passioura J.B., Turner N.C., Sharp R.E., Boyer J.S., Nguyen H.T. et Hsiao T.C., 1996. Genetically engineered plants resistant to soil drying and salt stress: how to interpret osmotic relations? *Plant Physiology*, 110: 1051–1053
42. Bohnert H.J. et Jensen R.G., 1996. Metabolic engineering for increased salt tolerance: The next step. *Australian Journal of Plant Physiology*, 23: 661-667.
43. Bort J., Febrero A., Amaro T. et Araus J.L., 1994. Role of awn in ear water use efficiency and grain weight in barley. *Agronomy*, 14 (2) :133-139.
44. Boufenar-Zeghouane F. et Zeghouane O., 2006. Guide des principales variétés des céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). ITGC, ICARDA, El-Harrach, Alger, 153p.
45. Boulal H., Zaghouane O., El Mourid M. et Rezgui S., 2007. Guide pratique de conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). ITGC, INRA, ICARDA, Alger, 176 p.
46. Bouzerzour H., Djekoun A., Benmahammed A. et Hassous L., 1998. Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité au rendement en grain de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zones semi arides d'altitudes. *Cahiers Agricultures*, 7: 307-317.
47. Bouzerzour H., Djekoune A. et Benmahammed A., 1996. Analyse du déterminisme génétique de la biomasse et de l'indice de récolte dans un croisement diallèle en orge (*Hordeum vulgare* L.). *Annales Agronomiques de l'I.N.A.*, 17 (1 et 2) : 150-161.
48. Bouzerzour H., et Djekoun A., 1996. Etude de l'interaction génotype x lieu de rendement de l'orge en zone semi aride. *Science et technologies*, 7: 16-28.

49. Bovina R., Talame V., Ferri F., Tuberosa R., Chmielewska B., Szarejko L. et Sanguineti M.C., 2011. Identification of root morphology mutants in barley. *Plant Genetic Resources*, 9(2): 357 – 360
50. Breeze E., Harrison E., McHattie S., Hughes L., Hickman R., Hill C, *et al.* 2011, High resolution temporal profiling of transcripts during Arabidopsis leaf senescence reveals a distinct chronology of processes and regulation. *Plant Cell*, 23(3): 873–94.
51. Castro A., Hayes P.M. et Viegas L., 2007. Analysis of QTLs determining phenology in the BCD47 × Baronesse barley mapping population in Uruguay. pp. 255–265, In: 13th Australian Barley Technical Symposium, Fremantle, August 2007. Promaco Conventions.
52. Cattivelli, L., Baldi, P., Crossati, N., Di Fonzo, N. et Stanca, M., 2002. Chromosome regions and stress related sequences involved in resistance to abiotic stress in Triticeae. *Plant molecular biology*, 48: 649 - 665.
53. Cattivelli L, Rizza F, Badeck F-W, Mazzucotelli E., Mastrangelo A.M., Francia E., Mare C., Tondelli A., et Stanca M., 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, 105:1–14.
54. Ceccarelli S., Grando S., Capettini F. et Baum M., 2007. Barley breeding for sustainable production. In: Kang M.S., Priyadarshan P.M., *Breeding major food staples*. Blackwell Publishing, Iowa, pp. 193-225.
55. Ceccarelli S., Grando S., et Impiglia A., 1998. Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. *Euphytica*, 103: 307–318.
56. Chaves M.M., Flexas J. et Pinheiro C., 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103: 551–560.
57. Chaves, M.M., Pereira, J.S., Maroco, J., Rodrigues, M.L., Ricardo, C.P. P., Osório, M. L., Carvalho, I., Faria, T. et Pinheiro, C., 2002. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 89 : 907-916.
58. Chouaki S., 2006. Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques. INRA, Alger, 92 p.
59. Clavet G. et Viellemin P., 1986. Interprétation des analyses de la terre. IPAS, Centre de recherche S.C.P.A., Aspach le bas, Paris, 15 p.
60. Clément-Grandcourt M. et Prats J., 1971. Les céréales. J-B Bailliere et Fils, Paris, 331 p.
61. Condon A.G., Richards R.A., Rebetzke G.J. et Farquhar G.D., 2002. Improving intrinsic water use efficiency and crop yield. *Crop Science*, 42: 122–131.

62. Conocono E.A., 2002. Improving yield of wheat experiencing postanthesis water deficits through the use of shoot carbohydrate reserves. University of Western Australia.
63. Cooper M., Rajatasereekul S., Immark S., Fukai S. et Basnayake J., 1999. Rainfed lowland rice breeding strategies for northeast Thailand. I. Genotypic variation and genotype environment interactions for grain yield. *Field crop research*, 64: 131-151.
64. Cornic G., Massacci A., 1996. Leaf photosynthesis under drought stress. In: Baker NR, ed. *Photosynthesis and the Environment*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers
65. Cruz R., O'Toole J., 1984. Dryland rice response to an irrigation gradient at flowering stage. *Agronomy Journal*, 76: 178-183.
66. Dahiya I., Dahiya D., Kuhad M. et Karwasra S. 1988. Statistical equations for estimating field capacity, wilting point and available water capacity of soils from their saturation percentage. *The Journal of Agricultural Science*, 110: 515-520.
67. Dai F., Nevo E., Wu D., Comadran J., Zhou M., Qiu L., Chen Z., Beiles A., Chen G. et Zhang G., 2012. Tibet is one of the centers of domestication of cultivated barley. *PNAS*, Vol. 109, n° 42, pp. 16969-16973.
68. De Leonardis A.M., Petrarulo M., De Vita P. et Mastrangelo A.M., 2010. Genetic and molecular aspects of plant response to drought in annual crop species. [www.intechopen.com/download/pdf/35823](http://www.intechopen.com/download/pdf/35823)
69. De Mendiburu F., 2017. *Agricolae: Statistical procedures for agricultural research*. R package version, 1.2-8. Disponible sur <https://tarwi.lamolina.edu.pe/~fmendiburu/>
70. Debaeke P., Cabelguenne M., Casals M.L. et Puech J., 1996. Elaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. II. Mise au point et test d'un modèle de simulation de la culture de blé d'hiver en conditions d'alimentation hydrique et azotée variées : Epicphase-blé. *Agronomie*, n° 16, pp. 25-46.
71. Delphine Ly., 2016. Prédiction génomique des interactions Génotype x Environnement à l'aide d'indicateurs agro-climatiques chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). *Sciences agricoles*. Université Blaise Pascal- Clermont-Ferrand II, 2016. Français thèse doctorat.
72. Denis J.B., 1980. Analyse de la régression factorielle. *Biom Praxim*, 20: 1-34.
73. Denis J.B., Piepho H.P. et Van Eeuwijk F.A., 1996. Mixed model for genotype by environment tables with an emphasis on Heteroscedasticity. Technical report, department de biométrie, laboratoire de biométrie, INRA-Versailles, France, 23 pp.
74. Dickerson G.E., 1992. Implications of genetic environmental interaction in animal breeding. *Animal production*, 4: 47-64.

75. Ding Y., Hayes M.J. et Widhalm M., 2011. Measuring economic impacts of drought: a review and discussion. *Disaster Prevention and Management. An International Journal*, 20: 434-446.
76. Djermoun A., 2009. La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Nature et technologie*, 1 : 45- 53.
77. Doré C. et Varoquaux F., 2006. Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. INRA, Paris, 812 p.
78. Dreier W. et Goring M., 1974. L'influence d'une concentration élevée en sel sur divers paramètres physiologiques des racines de maïs. *Science naturelles*, 23, 641-644
79. Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A. et Smith F., 1956. Colometric method for determination of sugars and related substances. *Annals of chemistry*, 28 (3): 350-356.
80. Dulai S., Molnár I., Prónay J., Csernak A., Tarnai R. et Molnár-Láng M., 2006. Effects of drought on photosynthetic parameters and heat stability of PSII in wheat and in *Aegilops* species originating from dry habitats. *Acta Biologica Szegediensis*, 50, 11-17.
81. Dyulgerova B., 2012. Correlations between grain yield and yield related traits in barley mutant lines. *Agricultural Science And Technology*, 4 (3): 208-210.
82. Ehdaie B., Barnhart D. et Waines J., 2001. Inheritance of root and shoot biomass in a bread wheat cross [*Triticum aestivum* L.]. *Journal of Genetics & Breeding*, 55,
83. Ehdaie B., Whitkus R.W. et Waines J.G. 2003. Root Biomass, Water-Use Efficiency, and Performance of Wheat–Rye Translocations of Chromosomes 1 and 2 in Spring Bread Wheat ‘Pavon’. *Crop Science*, 43: 710-717.
84. Eigenbrode S.D. et Espelie K.E., 1995. Effects of Plant Epicuticular Lipids on Insect Herbivores. *Annual Review of Entomology*, 40: 171-194.
85. Eisemann R.L., Cooper M. et Woodruff, D.R., 1990. Beyond the analytical methodology, better interpretation and exploitation of GE interaction in plant breeding. In: Kang, M.S. (ed.) *Genotype by environment interaction and plant breeding*. Louisiana state University agricultural center, Baton Rouge, Louisiana, pp. 108-117.
86. El Fakhri M., Mahboub M., Benchekroun M. et Nsarellah N., 2010. Effet du stress hydrique sur les caractéristiques d'enracinement du blé dur (*Triticum Durum*. Desf). *Nature et Technologie*, 3 : 06 -12.
87. El Hafid R., Smith D.H., Karrou M. et Samir K., 1998 Morphological attributes associated with early season drought tolerance in spring durum wheat in a Mediterranean environment. *Euphytica*; 101:273–282.

88. Emebiri L.C., 2013. QTL dissection of the loss of green color during post-anthesis grain maturation in two-rowed barley. *TAG Theoretical and applied genetics Theoretische und angewandte Genetik.*; 126 (7):1873–84.
89. Fakhriya Mohammed K., 2017. The influence of exogenously applied "anti-stress" agents in the upregulation of the drought response in Iraqi wheat varieties. These doctorat, University of Plymouth, pp 228.
90. Farshadfar E., Mohammadi R., Aghae M. et Vaisi Z. 2012. GGE biplot analysis of genotype  $\times$  environment interaction in wheat-barley disomic addition lines. *Australian Journal of Crop Science*, 6(6): 1074-1079.
91. Farshadfar E., Mohammadi R., Aghae M. et Vaisi Z., 2011. AMMI stability value and simultaneous estimation of yield and yield stability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 5(13) : 1837–1844.
92. Fazackerley S. et Lawrence R. 2012. Automatic in situ determination of field capacity using soil moisture sensors. *Irrigation and Drainage*, 61: 416-424.
93. Fettell N., Bowden P., Mcnee T. et Border N., 2010. Barley: growth and development. *Procrop. Profitable, sustainable cropping*, Sydney, 72 p.
94. Finlay K.W. et Wilkinson G.N., 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14: 742-754.
95. Fisher R.A. et Mackenzie W.A., 1923. Studies in crop variation. II. The manorial response of different potato varieties. *Journal of agricultural science*. 13(3): 311-320.
96. Fleury D., Jefferies S., Kuchel H. et Langridge P., 2010. Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 61: 3211–3222.
97. Fossati D., 1995. Structures du rendement et croissance des grains de triticales comparaison de géotypes de tailles différentes. Thèse de doctorat. Ecole polytechnique federale de zurich, Zurich.
98. Fowler D.B., Breton G., Limin A.E., Mahfouzi S. et Sarhan F., 2001. Photoperiod and temperature interactions regulate low temperature induced gene expression in barley. *Plant physiology*, 127: 1676-1681.
99. Gabriel K.R., 1978. Least Squares Approximation of Matrices by Additive and Multiplicative Models. *Journal of the royal Statistical Society Series B Statistical Methodology*, 40(2): 186–196.
100. Gahoonia T. S. et Nielsen N.E., 2004. Barley genotypes with long root hairs sustain high grain yields in low-P field. *Plant Soil*, 262:55–62.
101. Gallais A., 1992. Adaptation et adaptabilité en amélioration des plantes. *Sel FR*, 42 : 55-57.

102. Gate P., 1995. Ecophysiologie du blé. Tec Doc. Lavoisier, Paris, 429 p.
103. Gauch H.G., 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics*. 44(3), 705–715.
104. Gauch H.G., 1992. Statistical Analysis of Regional Yield Trials: AMMI Analysis of Factorial Designs, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands,
105. Gauch H.G. et Zobel R.W., 1988. Predictive and post-dictive success of statistical analysis of yield trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 76: 1–10.
106. Gauch H.G., Piepho H.P. et Annicchiarico P., 2008. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. : Further considerations. *Crop Science*, 48(3), 866–889.
107. Gimenez M.J., Gil-Humanes J., Alvarez J.B. et Barro F., 2015. Cereals Taxonomy: The Role of Domestication and Breeding on Gluten Intolerance. In: Arranz E., Fernandez-Banares F., Rosell C.M., Rodrigo L. et Pena A.S. (Eds.), *Advances in the Understanding of Gluten Related Pathology and the Evolution of Gluten-Free Foods*. Omnia Science, Barcelona, Spain, pp. 493-526.
108. Grant R.H., Jenks M.A., Rich P.J., Peters P.J. et Ashworth E.N., 1995. Scattering of ultraviolet and photosynthetically active radiation by sorghum bicolor: influence of epicuticular wax. *Agricultural and Forest Meteorology*, 75: 263-281.
109. Guo P, Baum M, Varshney RK, Graner A, Grando S. et Ceccarelli S., 2008. QTLs for chlorophyll and chlorophyll fluorescence parameters in barley under post-flowering drought. *Euphytica* 163, 203–214.
110. Guo G., Ge P., Ma C., Li X., Lv D., Wang S., *et al.*, 2012. Comparative proteomic analysis of salt response proteins in seedling roots of two wheat varieties. *Journal of Proteomics*, 75 (6): 1867-1885.
111. Gurel F., Ozturk Z.N., Uçarli C. et Rosellini D., 2016. Barley Genes as Tools to Confer Abiotic Stress Tolerance in Crops. *Frontiers in Plant Science*. 7:1137.
112. Hadjichistodoulou A., 1985. Stability performance of cereals in low rainfall areas as related to adaptative traits. In: Srivastava J.P., Porceddu E., Acevodo E., Varma S. (éd), : *Drought tolerance in winter cereals*. John Wiley and sons, UK, pp. 191 -200.
113. Halimatus S., et Alfian, F. H., 2016. AMMI Model for Yield Estimation in Multi-Environment Trials: A Comparison to BLUP. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9(1): 163–169
114. Hanifi -Mekliche L. et Touadi S., 1998. Etude du comportement de quelques lignées DH et F8 d'orge en zone méditerranéenne subhumide. *Annales de l'institut national agronomique-El Harrach*, 19(1 et 2) :135-143.

115. Hanifi Mekliche L., 1996. Corrélations phénotypiques, génotypiques et environnementales de deux populations hybrides F1 et leurs lignées parentales d'orge. *Annales Agronomiques de l'INA*, 17(1, 2) : 97-108.
116. Hanifi-mekliche L., Mekliche A. et Monneveux P., 2011. Genotype × environment interaction and stability analysis on barley (*Hordeum vulgare* L.) Lines in Algeria. *Acta Agronomica Hungarica*, 59(4), 325–336.
117. Hare P.D. et Cress W.A. 1997. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regulation*, 21:79–102.
118. Hénin S., Gras R. et Monnier G., 1969. Le profil cultural. 2<sup>ème</sup> édition, Masson, Paris, 323 p.
119. Hopkins W.G., 2003. Physiologie végétale. De Boeck, Bruxelles. 513p.
120. Horsley R.D., Franckowiak J.D. et Schwarz P.B., 2009. Barley. In: Carena M.J. (Ed.), *Handbook of Plant Breeding*. Vol. 3, Cereals. Springer Science, LLC, USA, pp. 227-250.
121. Hörtensteiner S., 2006. Chlorophyll degradation during senescence. *Annual Review of Plant Biology*, 57: 55–77.
122. Huang B., Duncan R.R. et Carrow R.N. 1997. Drought-resistance mechanisms of seven warm-season turf grasses under surface soil drying .2. Root aspects. *Crop science*, 37: 1863-1869.
123. Hulmel B.M., Biarnès-Dumoulin V. et Denis J.B., 1997. Points de repère dans l'analyse de la stabilité et de l'interaction génotype-milieu en amélioration des plantes. *Agronomie*, 17 : 219-246.
124. Hurd E.A., 1976. Plant breeding for drought resistance in water deficits and plant growth. Academic Press, New York, 4: 317-353.
125. INA-PG, 2003. Les céréales. INRA, Ager, 86 p.
126. ITGC, 2013. La culture de l'orge (*Hordeum vulgare* L.). ITGC, El Harrach, Alger, 5 p.
127. ITGC, 2020. Bulletin mensuel d'informations climatologiques.
128. Janiak A., Kwasniewski M., Sowa M., Gajek K., Zmuda K., Kos cielniak J. et Szarejko I., 2018. No time to waste: transcriptome study reveals that drought tolerance in barley may be attributed to stressed-like expression patterns that exist before the occurrence of stress. *Frontiers in Plant Science*, 8 (2212): 1-25.
129. Jefferson P.G., 1994. Genetic-variation for epicuticular wax production in altai wildrye populations that differ in glaucousness. *Crop science*, 34: 367-371.
130. Jestin L., 1992. L'orge. In : Gallais A. et Bannerot H., *Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection*. INRA, Paris, pp. 55-70.

131. Jordan W.R., Shouse P.J., Blum A., Miller F.R. et Monk R.L., 1984. Environmental physiology of sorghum. II. Epicuticular wax load and cuticular transpiration. *Crop Science*, 24: 1168-1173.
132. Kadioglu A. et Terzi R., 2007. A dehydration avoidance mechanism: leaf rolling. *Botanical Review*, 73: 290-302.
133. Kameli A. et Losel D.M., 1996. Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. *New Phytologist*, 132: 57-62.
134. Kamoshita A., Chandra Babu R., Manikanda Boopathi N. et Fukai, S., 2008. Phenotypic and genotypic analysis of drought-resistance traits for development of rice cultivars adapted to rainfed environments, *Field Crops Research*, 109: 1- 23.
135. Kang M.S., 1998. Using genotype x environment interaction for crop cultivar development. *Advances in agronomy*, 62:199-252.
136. Kang M.S., 2002. Genotype x environment interaction: progress and prospects. In: Kang M.S., Quantitative genetics, genomics and plant breeding. CABI, New York, pp. 432.
137. Kano M., Inukai Y., Kitano H., Yamauchi A., 2011. Root plasticity as the key root trait for adaptation to various intensities of drought stress in rice. *Plant and Soil*, 342: 117-128.
138. Kempton, R.A. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *Journal of Agricultural Science*, 103(1): 123–135.
139. Kendal E. et Tekdal S., 2016. Application of AMMI model for evaluation spring barley genotypes in multi-environment trials. *Bangladesh Journal of Botany*, 45(3): 613-620.
140. Keneni G., Bekele E., Imtiaz M., Dagne K. et Alemaw G., 2017. Challenges Associated with Crop Breeding for Adaptation to Drought-Prone Environments. *Ethiopian Journal of Agricultural Science*, 27(1) 1-24.
141. Kent N.L. et Evers A.D., 1994. Technology of cereals an introduction for students of food science and agriculture. 4 ème édition, Elsevier science Ltd, Great Britain, 352 p.
142. Kermiche A., 2000. Sélection mono et multi caractères chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride. Thèse Magister, INA, Alger, 51p.
143. Khaldoun A., Chery J. et Monneveux P., 1990. Étude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Agronomie*, 10 : 369-379.
144. Kishor, P.K., Sangam, S., Amrutha, R.N., Laxmi, P.S., Naidu, K.R., Rao, K., Rao, S., Reddy, K.J., Theriappan, P., et Sreenivasulu, N., 2005. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science*, 88: 424–438.



145. Kishore N., Kumar V. et Verma R.P.S., 2016. Barley. In: Singh M. et Kumar S. (Eds.), Broadening the genetic base of grain cereals. Springer, India, pp. 89-125.
146. Lecoeur J., Wery J., Ture O. et Tardieu F., 1995. Expansion of pea leaves subjected to short water deficit: cell number and cell size are sensitive to stress at different periods of leaf development. *Journal of Experimental Botany*, 46 : 1093-1101.
147. Lecomte C., 2005. L'évaluation expérimentale des innovations variétales. Proposition d'outils d'analyse de l'interaction génotype milieu adaptés à la diversité des besoins et des contraintes des acteurs de la filière semences. UR LEG INRA. Paris, AgroParisTech. Thèse de doctorat : 262p.
148. Letta T., 2009. Genotype environment interactions and correlation among stability parameters yield in durum wheat (*Triticum durum* Desf) genotypes grown in south east Ethiopia. *African Crop Science Proceedings*, 8: 693-698.
149. Lev-Yadun S., Gopher A. et Abbo S., 2000. The cradle of agriculture. *Science*, 288: 1602–1603.
150. Li C., Zhang G. et Lance R., 2007. Recent advances in breeding barley for drought and saline stress tolerance. In: Jenks M.A., Hasegawa P.M., Jain S.M. (eds.), *Advances in Molecular Breeding Toward Drought*, Dordrecht, The Netherlands, Springer pp 831.
151. Li Y., Chen W., Chen J. et Shi H., 2016. Vulnerability to drought-induced cavitation in shoots of two typical shrubs in the southern Mu Us Sandy Land, *China journal of Arid Land*, 8:125-137.
152. Li Z.K., Shashidhar H.E., Zhuang J.Y., Zheng K.L., Singh V.P., Sidhu J.S., Srivantaneeyakul S., Khush G.S., Yu S.B., Lafitte H.R., Huang N., Courtois B., Hittalmani S., Vijayakumar C.H.M., Liu G.F. et Wang G.C., 2003. QTL x environment interactions in rice. I. heading date and plant height. TAG. Theoretical and applied genetics. *Theoretische und angewandte Genetik*, 108: 141-153.
153. Ludlow M.M. et Muchow R.C., 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water limited environments. *Advances in Agronomy*, 43: 107-153.
154. MacRobbie E.A.C., 1981. Effects of ABA on "isolated" guard cells of *Commelina communis* L. *Journal of Experimental of Botany*, 32: 563-572.
155. Malosetti M., Ribaut J.M., et van Eeuwijk F.A., 2013. The statistical analysis of multi-environment data: Modeling genotype by environment interaction and its genetic basis. *Frontiers in Physiology*, 4: 44.

156. Mamnouie E., Fotouhi Ghazvini R., Esfahany M. et Nakhoda B., 2006. The Effects of Water Deficit on Crop Yield and the Physiological Characteristics of Barley (*Hordeum vulgare* L.) Varieties. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 8: 211-219.
157. McWilliam J.R., 1989. The dimensions of drought. In Baker F.W.G. Drought resistance in Cereals. ICSU, Paris, pp. 1-11.
158. Mefti M., Abdelguerfi A. et Chebouti A., 2001. Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula* (L.) Gaertn...In: Delgado I.(ed.), Lloveras J.(Ed.). Quality in lucerne and medics for animal production. Zaragoza : CIHEAM, 2001. pp. 173-176 (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; n°45).
159. Mekhlouf A. et Bouzerzour H., 2000. Déterminisme génétique et associations entre le rendement et quelques caractères à variation continue chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf.). *Recherche Agronomique*, 7 : 37-49.
160. Mekhlouf A., Bouzerzour H., Benmahammed A., Hadj Sahraoui A. et Harkati N., 2006. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse*, 17(4) : 507-13.
161. Mekhlouf A., Makhlouf M., Achiri A., Ait Ouali A. et Kourougli S., 2011. Étude comparative de l'effet des systèmes de travail du sol et des précédents culturaux sur le sol et le comportement du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) En conditions semi-arides. *Agriculture*, 2 : 52-65.
162. Mekliche A., Boukecha D. et Hanifi-Mekliche L., 2003. Etude de la tolérance à la sécheresse de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). I. effet de l'irrigation de complément sur les caractères phénologiques, morphologiques et physiologiques. *Annales de l'Institut National Agronomique- El-Harrach*, 24 (1 et 2) : 97-110.
163. Menad A., Meziani N., Bouzerzour H. et Benmahammed A., 2011. Analyse de l'interaction génotype × milieu du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) : application des modèles AMMI et la régression conjointe. *Nature et Technologie*, (5) : 99-106.
164. Meziani N., Bouzerzour H., Benmahammed A., Menad A. et Benbelkacem A., 2011. Performance and adaptation of Barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) to diverse locations. *Advances in Environmental Biology*, 5: 1465-1472.
165. Milan M., Przulj N. et Canak P., 2014. Analysis of new experimental barley genotype performance for grain yield using AMMI biplot. *Selekcija i semenarstvo*, 20(1): 27–36.
166. Mishra A. K. et Singh V.P., 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391: 202-216.

167. Mitra J., 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science*. 80: 758–763
168. Moayedi A.A., Nasrulhaq-Boyce A. et Tavakoli H., 2011. Application of physiological and biochemical indices for screening and assessment of drought tolerance in durum wheat genotypes. *Australian Journal Of Crop Science*, 5: 1014-1018.
169. Mohammadi M., Karimizadeh R., Noorinia A.A., Ghojogh H., Hosseinpour T., Khalilzadeh G.R., Mehraban A., Roustaii M. et Hasanpor H.M., 2013. Analysis of yield stability in multi-environment trials of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes using AMMI model. *Current Opinion in Agriculture*, 2(1): 20–24.
170. Mohanty, P. et Matysik, J., 2001. Effect of proline on the production of singlet oxygen. *Amino Acids*, 21: 195–200.
171. Molina-Cano J.L., Igartua E., Casas A.M. et Moralejo M., 2002. New views on the origin of cultivated barley. In: Slafer G.A., Molina-Cano J.L., Savin R., Araus J.L. et Romagosa I. (Eds.), *Barley Science: Recent Advances from Molecular Biology to Agronomy of Yield and Quality*. The Haworth Press, Binghamton, New York. pp. 14- 30.
172. Monneveux P., 1992. Croissance et développement du blé. Document interne, 38 p.
173. Monneveux P. et Nemmar M., 1986. Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) : Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, 6 (6) : 583-590.
174. Monneveux P. et This D., 1997. La génétique aux problèmes de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoir et difficultés. *Secheresse*, 1(8) : 29-37.
175. Monneveux P., Rekika D., Acevedo E. et Merah O., 2006. Effect of drought on leaf gas exchange, carbon isotope discrimination, transpiration efficiency and productivity in field grown durum wheat genotypes. *Plant Science*, 170:867–872.
176. Morris P.C. et Bryce J.H., 2000. *Cereal biotechnology*. CRC Press, Washington DC, 252 p.
177. Moule C., 1971. *Céréales. La maison rustique*, Paris, France, 318 p.
178. Moule C., 1980. *Les fourrages. La maison rustique*, paris. 190 p.
179. Mossab M., 2007. Contribution à l'étude de l'exploitation à double fin de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zones semi-arides d'altitude. Thèse de Magistère, El Harrach, Alger, 126 p.
180. Mulatu B. et Grando S., 2011. Barley Research and Development in Ethiopia. Proceedings of the 2nd National Barley Research and Development Review Workshop

- (eds). 28-30 November 2006, HARC, Holetta, Ethiopia. ICARDA, PO Box 5466, Aleppo, Syria. pp 391.
181. Munne-Bosch S., Alegre L. et Let live D., 2004: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. *Functional Plant Biology*, 31: 203–16.
182. Murray G.A. et Robertson L.D., 2003. Spring barley growth and development. In: Robertson L.D. et Stark J.C. (Eds.), Idaho Spring Barley Production Guide. University of Idaho, Idaho, pp. 6-8.
183. Nar H., Saglam A., Terzi R., Várkonyi Z. et Kadioglu A., 2009. Leaf rolling and photosystem II efficiency in *Ctenanthe setosa* exposed to drought stress. *Photosynthetica* 47: 429-436.
184. Naz, A.A., Ehl A., Pillen K. et Leon J., 2012. Validation for root-related quantitative trait locus effects of wild origin in the cultivated background of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Breeding*, 131:392–398.
185. Nevo E. et Chen G., 2010. Drought and salt tolerances in wild relatives for wheat and barley improvement. *Plant, Cell and Environment*, 33, 670–685.
186. Newman R.K. et Newman W.C., 2008. Barley for food and health: science, technology and products. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, 245 p.
187. Nezhadahmadi A., Proadhan Z.H. et Faruq G., 2013. Drought tolerance in wheat. *The Scientific World Journal*, 2013: 610-721.
188. OGTR, 2008. The Biology of *Hordeum vulgare* L. (barley), <http://www.ogtr.gov.au>
189. ONFAA, 2015. Bilan de la campagne céréalière 2014/2015, 11 p.
190. Osiru M.O., Olanya O.M., Adipala E., Kapinga R. et Lemaga B., 2009. Yield stability analysis of *Ipomoea batatas* L. cultivars in diverse environments. *Australian Journal of Crop Science*, 3(4): 213-220.
191. Oukarroum A., 2007. Vitalité des plantes d’orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne, Université De Genève. These de doctorat, pp. 195.
192. Paje M., Ludlow M. et Lawn R., 1988. Variation among soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) accessions in epidermal conductance of leaves. *Crop and Pasture Science*, 39: 363-373.
193. Passioura J.B., 1981. The collection of water by roots. In: The Physiological and biochemical basis of drought resistance (Paley, Aspinall, eds) Academic Press, New York, 149-163

194. Pecina M., Ikic I., Tomasovic S., Mlinar R. et Janjecic Z., 2008. Targeting genotypes onto winter wheat growing environments using AMMI model analysis. *Cereal Research Communications*, 36: 1603-1606.
195. Peyman S., Hashem A., Rahman E., Ali M. et Abouzar A., 2017. Evaluation of Genotype  $\times$  Environment Interaction in Rice Based on AMMI Model in Iran. *Rice Science*, 24(3): 173-180.
196. Pourkheirandish M. et Komatsuda T., 2007. The Importance of Barley Genetics and Domestication in a Global Perspective. *Annals of Botany*, 100: 999–1008.
197. Prasad P.V.V. et Staggenborg S.A., 2008. Impacts of drought and/or heat stress on physiological, developmental, growth, and yield processes of crop plants. In: Response of crops to limited water: understanding and modeling water stress effects on plant growth processes, vol 1, Advances in agricultural systems modeling series. Soil Science Society of America, Madison, pp 301–355
198. Purchase J.L. Hatting H. et Vandeventer C.S., 2000. Genotype  $\times$  environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil*, 17(3): 101–107.
199. Purchase R.L., 1997. Parametric analysis to describe genotype by environment interaction and yield stability in winter wheat. These de doctorat, Department d’Agronomy, Faculty d’Agriculture de l’université de la Free State, Bloemfontein, sud Afrique.
200. Qu Y., Mu P., Zhang H., Chen C.Y., Gao Y., Tian Y., Wen F. et Li Z., 2008. Mapping QTLs of root morphological traits at different growth stages in rice. *Genetica*, 133: 187-200.
201. Rahal-Bouziane H., Berkani S., Merdas S., Nait Merzoug S. et Abdelguerfi A., 2015. Genetic diversity of traditional genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) in Algeria by pheno-morphological and agronomic traits. *African Journal of Agricultural Research*, 10 (31) : 3041-3048.
202. Ram H., Singh B. et Sharma A., 2010. Effect of time of sowing on the field performance of barley (*Hordeum vulgare* L.) in Punjab. *J. Res. Punjab agric. Univ.*, 47, (3 et 4) 132-35.
203. Ray J.D., Yu L., McCouch S.R., Champoux M.C., Wang G. et Nguyen H.T. 1996. Mapping quantitative trait loci associated with root penetration ability in rice (*Oryza sativa* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 92: 627-636.

204. Rebetzke G.J., Richards R. A., Fettel N.A., Long M., Condon A.G., Forrester R.I. et Botwright T.L., 2007. Genotype increases in coleoptile's length improves stand establishment, vigor and grain yield of deep sown wheat. *Field Crops Research*, 100: 10 – 23
205. Reguieg M.M., Labdi M., Benbelkacem A., Hamou M., Maatougui M.E.H., Grando S. et Ceccarelli S., 2013. First experience on participatory barley breeding in Algeria. *Journal of Crop Improvement*, 27: 469-486.
206. Reinheimer J.L., Barr A.R. et Eglinton J.K., 2004. QTL mapping of chromosomal regions conferring reproductive frost tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Theoretical and applied genetics*, 109: 1267-1274.
207. Reynolds M., Manes Y., Izanloo A. et Langridge P., 2009. Phenotyping approaches for physiological breeding and gene discovery in wheat. *Annals of Applied Biology*, 155: 309-309.
208. Reynolds MP., Mujeeb-Kazi A. et Sawkins M., 2005. Prospects for utilizing plant adaptive mechanisms to improve wheat and other crops in drought-and salinity prone environments. *Annals of Applied Biology*, 146: 239–259.
209. Rhodes D. et Hanson A.D., 1993. Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. *Annual Review in Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 44: 357-384.
210. Richards R.A., Rebetzke G.J., Watt M., Condon A.G., Spielmeier W. et Dolferus R., 2010. Breeding for improved water productivity in temperate cereals: Phenotyping, quantitative trait loci, markers and the selection environment. *Functional Plant Biology*, 37: 85–97.
211. Romagosa I. et Fox P.N., 1993. Genotype x environment interaction and adaptation. In: Hayward M.D., Bosemark N.O. et Romagosa I., (eds). *Plant breeding principles and prospects*. 373-390.
212. Roy S.J., Tucker E.J. et Tester M., 2011. Genetic analysis of abiotic stress tolerance in crops. *Current opinion in plant biology*, 14:232–9.
213. Sabaghnia N., Sabaghpour S.H. et Dehghani H., 2008. The use of an AMMI model and its parameters to analyse yield stability in multi-environment trials. *Journal of Agricultural Science*, 146 : 571–581.
214. Sarwat M, Naqvi AR, Ahmad P, Ashraf M. et Akram NA., 2013. Phytohormones and microRNAs as sensors and regulators of leaf senescence: assigning macro roles to small molecules. *Biotechnology Advances*, 31(8): 1153-71.

- 215.Schonfeld M.A., Johnson R.C., Carver B.F. et Mornhinweg D.W., 1988. Water Relations in Winter Wheat as Drought Resistance Indicators. *Crop Science*, 28, 526-531.
- 216.Schulze E.D., et Beck E. et Müller-Hohenstein K., 2005. Plant ecology. Springer, Berlin: pp. 117-143.
- 217.Shafii B. et Price W., 1998. Analysis of genotype by environment interaction using the additive main effects and multiplicative interaction model and stability estimates. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 3:335–345.
- 218.Shakeel A., Hakoomat A., Atique ur R., Rana Jahan Z., Waqas A., Zartash F., Ghulam A., Muhammad I., Hina A., Muhammad A. et Mirza H., 2015. Measuring Leaf Area of Winter Cereals by Different Techniques: A Comparison. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, 13 (2) : 117-125.
- 219.Shakhatreh Y., Haddad N., Alrababah M., Grando S. et Ceccarelli S., 2010. Phenotypic diversity in wild barley (*Hordeum vulgare* L. ssp. *spontaneum* (C. Koch) Thell.) accessions collected in Jordan. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57: 131–146.
- 220.Shao Q. et Li A., 1987. Unity of genetic population for wild barley and cultivated barley in Himalaya area. In: Yasuda S. et Konishi T. (Eds.), *Barley Genetics V. Proceeding of the Fifth International Barley Genetics Symposium*. Sanyo Press, Okayama, Japan, pp. 35-41.
- 221.Shearman V.J., Sylvester-Bradley R., Scott R.K. et Foulkes M.J., 2005. Physiological processes associated with wheat yield progress in the UK. *Crop science*, 45: 175-185.
- 222.Silvey V., 1981. The contribution of new wheat, barley and oat varieties to increasing yield in England and wales 1947-1978. *Journal of the national institute of agricultural botany*, 15: 399-412.
- 223.Simmonds N.W., 1981. Genotype (G), environment (E) and GE components of crop yields. *Experimental agriculture*, 17: 355-362.
- 224.Simmons S.R., Rasmusson D.C. et Wiersma J.V., 1982. Tillering in Barley: Genotype, row spacing, and seeding rate effects. *Crop Science*, 22:801–805.
- 225.Simon H., Codaccioni P. et Lecoeur X., 1989. Produire des céréales à paille. Technique et documentation-Lavoisier, Paris, 333 p.
- 226.Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M. et Zid E., 2005. Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse*, 16(3): 225-229.
- 227.Soltner D., 2005. Phytotechnie spéciale : Les grandes productions végétales : céréales - plantes sarclées - prairies. Collection sciences et techniques agricoles. 20<sup>ème</sup> édition, Bressuire, Paris, 472 p.

228. Souty N., 1987. Aspect mécanique de la croissance des racines. I. Mesure de la force de pénétration. *Agronomie*, 7 : 623-630.
229. Stanca A.M., Romagosa I., Takeda K., Lundborg T., Terzi V. et Catfivelli L., 2003. Diversity in abiotic stress tolerances. In: Von Bothmer R., Van Hintum Th., Kniipffer H. et Sato K. (Eds.), *Diversity in Barley (Hordeum vulgare)*. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands, 7: 179-199.
230. Subashri M., Robin S., Vinod K.K., Rajeswari S., Mohanasundaram K. et Raveendran T.S., 2009. Trait identification and QTL validation for reproductive stage drought resistance in rice using selective genotyping of near flowering RILs. *Euphytica*, 166: 291-305.
231. Szabados L., et Savoure A., 2010. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*, 15: 89–97.
232. Tambussi E.A., Bort J., Gulamet J.J., Nogues S. et Araus J.L., 2007. The photosynthetic role of ears in C3 Cereals: metabolism, water use efficiency and contribution to grain yield. *Critical Review of Plant Sciences*, 26: 1-16.
233. Tardieu F., 2003. Virtual plants: modeling as a tool for the genomic of tolerance to water deficit, *Trends in Plant Sciences*, 8: 9 -14.
234. Temesgen, B. et al. 2015. Genotype X Environment Interaction and Yield Stability of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) genotype in ethiopia using the AMMI Analysis. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(11): 129–139.
235. Teulat-Merah B., Zoumarou W., Douimi R., Ben Salem M., Bahri H. et This D. (2001). Etude de la tolérance à la sécheresse chez les céréales : l'orge comme modèle biologique, approche QTL. In : Hamon Serge (ed.). *Des modèles biologiques à l'amélioration des plantes*. Paris (FRA) ; Montréal : IRD ; AUF, 493-516. (Colloques et Séminaires). Journées Scientifiques du Réseau AUF : Biotechnologies Végétales : Amélioration des Plantes et Sécurité Alimentaire, 7, Montpellier (FRA), 2000/07/03-05. ISBN 2-7099-1472-7
236. Thameur A., Ferchichi A. et López-Carbonell M., 2011. Quantification of free and conjugated abscisic acid in five genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) under water stress conditions. *South African Journal of Botany*, 77: 222-228.
237. This D, Borries C, Souyris I et Teulat B., 2000. QTL study of chlorophyll content as a genetic parameter of drought tolerance in barley. *Barley Genetics Newsletter*, 30: 20–23.
238. Triboï E., 1990. Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre. *Agronomie*, n° 10, pp. 191-200.



239. Trolls W. et Lindsley J., 1955. A photometric method for the determination of proline. *Journal of Biological Chemistry*, 215 (2): 655-660.
240. Tuberosa R., 2012. Phenotyping for drought tolerance of crops in the genomics era. *Frontiers in Physiology*, 3:347.
241. Ullrich S.E., 2011. Barley: Production, Improvement and Uses. Wiley-Blackwell, Ames, USA, 500 p.
242. USSLS, 1954. Diagnostic and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A. Handbook, 60 : 160 p.
243. Van Oosterom E.J. et Acevedo E. 1992. Adaptation of barley (*Hordeum vulgare* L.) to harsh Mediterranean environments Morphological traits. *Euphytica*, 62: 1–14.
244. Verbruggen N., Hua X.J., May M. et Van Montagu M., 1996. Environmental and developmental signals modulate proline homeostasis: evidence for a negative transcriptional regulator. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United State of America*, 93: 8787–8791.
245. Verma A., Verma R.P.S., Jogendra S., Vishnu K., Ravish C., Kharub A.S. et Indu S., 2016a. AMMI Analysis of Barley Coordinated Trials. *Agricultural science digest- A research journal*, 35 (1): 1-56.
246. Verma R.P.S., Kharab A.S., Kumar Vishnu et Verma A., 2016b. GxE evaluation of salinity tolerant barley genotypes by AMMI model. *Agricultural science digest*, 36 (3) : 191-196.
247. Verma V., Foulkes M.J., Worland A.J., Sylvester-Bradley R., Caligari P.D.S. et Snape J.W., 2004. Mapping quantitative trait loci for flag leaf senescence as a yield determinant in winter wheat under optimal and drought stressed environments. *Euphytica*, 135:255–63.
248. Vitrakoti D., Aryal S., Rasaily S., Ojha B.R., Kharel R. et Sapkota M., 2016. Study on genotypic response and correlation analysis of the yield and yield attributing traits of different barley (*Hordeum vulgare*) genotypes. *International journal of applied Science and Biotechnoly*, 4 (4): 529-536.
249. Von Alexandra B., 2015. Plant parameters for the marker and trait assisted selection of drought stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* ssp. vulgare), these de doctorat, Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, pp. 248.
250. Wang A., Yu Z. et Ding Y., 2008. Genetic diversity analysis of wild close relatives of barley from Tibet and the Middle East by ISSR and SSR markers. *Comptes Rendus Biologies*, pp. 1-11.

251. Wang G., Schmalenbach I., Von Korff M., Le' on J., Kilian B., Rode J. et Pillen K., 2010. Association of barley photoperiod and vernalization genes with QTLs for flowering time and agronomic traits in a BC2DH population and a set of wild barley introgression lines. *Theory Applied Genetics*, 120:1559–1574.
252. Wang W., Vinocur B. et Altman A., 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance. *Current Opinion in Biotechnology*, 12: 144–149.
253. Wang Y., Ren X., Sun D. et Sun G., 2015. Origin of worldwide cultivated barley revealed by *NAM-1* gene and grain protein content. *Frontiers in Plant Science*, 6 (803): 1-12.
254. Whitmore A. et Whalley W., 2009. Physical effects of soil drying on roots and crop growth. *Journal of Experimental Botany*, 60:2845–2857.
255. Winch T., 2006. Growing food a guide to food production. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 333 p.
256. Witcombe J.R., Hollington P.A., Howarth C.J., Reader S. et Steel K.A., 2009. Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture. *Philosophical Transaction of the Royal Society B: biological sciences*, 363: 703-716.
257. Yang J., Wang J., Jia Q. et Zhu J., 2010. Barley breeding and production in China. In: He Z. et Alain Bonjean P.A. (Eds.), *Cereals in China*. CIMMYT, Mexico, pp. 69-78.
258. Zadoks, J.C. et al. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6) : 415–421.
259. Zeybek A., Khan M.k., Pandey A., Gunel A., Erdogan O. et Akkaya M.S., 2017. Genetic structure of powdery mildew disease pathogen *Blumeria graminis* f. Sp. *Hordei* in the barley fields of Cukurova in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 26, n° 1a, pp. 906-912.
260. Zhang B., Ye W., Ren D., Tian P., Peng Y., Gao Y., Ruan B., Wang L., Zhang G., Guo L., Qian Q. et Gao Z., 2015. Genetic analysis of flag leaf size and candidate genes determination of a major QTL for flag leaf width in rice. *Rice*, 8 (1): 39.
261. Zhang G.H., Xu Q., Zhu X.D., Qian Q. et Xue H.W., 2009. SHALLOT-LIKE1 Is a KANADI Transcription Factor That Modulates Rice Leaf Rolling by Regulating Leaf Abaxial Cell Development. *The Plant Cell*, 21: 719-735.
262. Zohary D., Hopf M. et Weiss E., 2012. Domestication of Plants in the Old World: The Origin and Spread of Domesticated Plants in Southwest Asia, Europe, and the Mediterranean Basin. Oxford University Press, New York, 280 p.

## Annexe 1

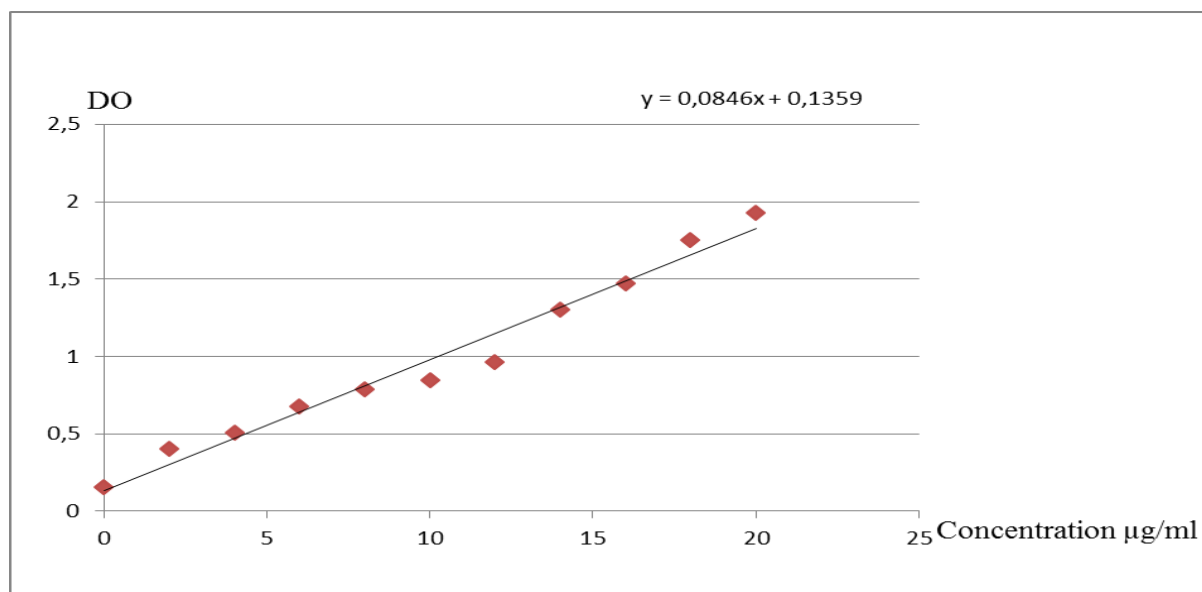


Figure 1. Courbe de la gamme étalon de Proline.

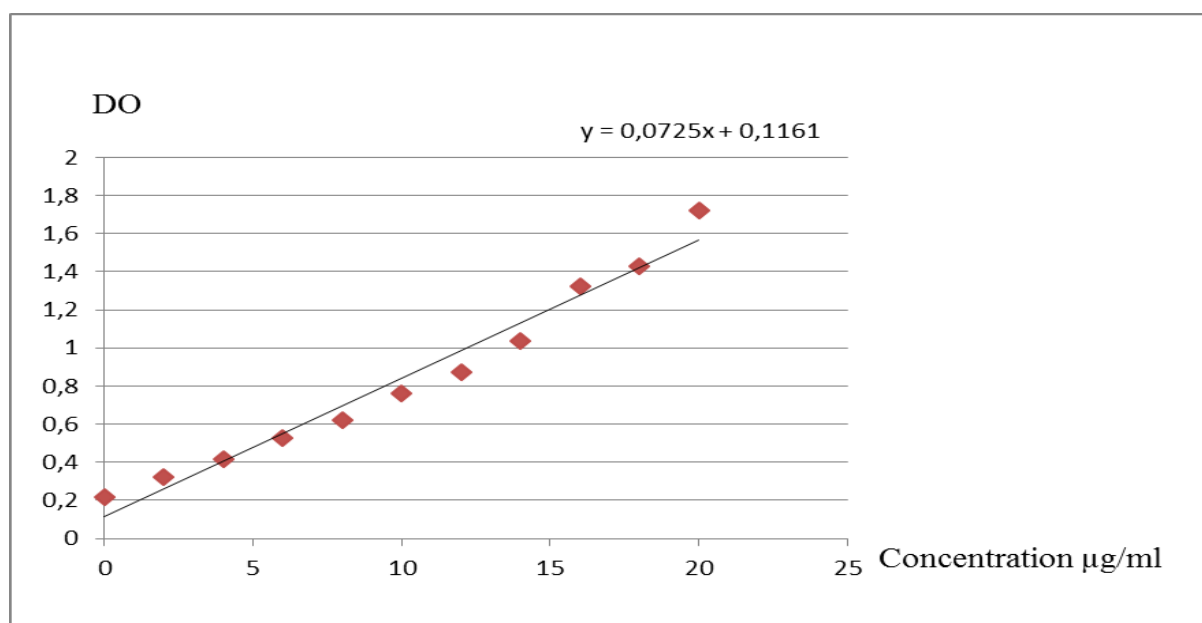


Figure 2. Courbe de la gamme étalon des sucres solubles.

## Annexe 2

Tableau 1. Analyse de la variance des caractères étudiés dans les deux sites.

Caractères Sources de variation	CM							CV%
	G (16)	E (3)	B (3)	G x E (48)	G x B (48)	E x B (9)	Résiduel	
PEP	415,5***	7904,0***	30,9** *	82,3* **	4,0	70,4** *	4,6	10,60
DM	253,5***	15707,5** *	111,8* **	29,1* **	4,0	165,2* **	4,5	8,89
NPM	1603***	61211***	6915** *	885**	422	4168** *	509	30,59
NTM	77944** *	573456** *	92196* **	24879 ***	5988	41395* **	8229	31,42
NTP	3,95***	14,54***	1,85	1,194 7***	0,78	4,23** *	0,9400	29,48
PTF	580,2***	1094,49** *	511,33 **	308,7 8***	147,8 2*	145,44	100,46	18,09
NEM	77746** *	309240** *	22392* **	7034* **	2578	12433* **	2678	29,90
NEP	3,45***	5,67***	3,04** *	0,39	0,34	2,60** *	0,42	28,45
NGE	1423,1** *	3432,5***	48,9* **	77,9* **	12,6	48,9**	15,2	27,03
NESE	71,48***	93,24***	4,41	7,49* **	3,03	8,37**	2,603	55,73
PMG	229,16** *	2441,48** *	4,37	23,54 ***	7,30	38,06* **	8,66	15,73
RE	1739,5** *	26503,2** *	1012,3 ***	637,2 ***	179,4	976,8* **	156,2	35,61
RR	612,12** *	2364,34** *	223,10 ***	167,6 2***	25,21	59,06* **	27,56	22,39
BA	1457,6** *	11946,2** *	855,9* **	528,3 ***	101,0	823,2* **	95,4	19,90
IR	0,02***	0,04***	0,015* *	0,01* **	0,004	0,016* **	0,004	18,00
BTE	300,7***	6949,9***	497,3* **	104,8 ***	30,0	270,6* **	30,0	35,83
BFE	32,14***	845,00***	13,06	19,59 ***	6,28	26,88* **	5,67	39,71
BEE	112,04** *	694,11***	105,96 ***	21,58 ***	8,41	98,34* **	8,09	51,91

BE	704,89** *	2420,78** *	177,36 ***	177,3 6***	80,01	832,24 ***	72,26	25,01
HT	819,9***	4790,2***	105,2*	130,9 ***	34,5	172,4* **	28,8	15,42
LE	22,270** *	89,416***	0,098	0,792 ***	3,63	0,319	0,362	25,88
LB	32,561** *	10,638***	2,69*	2,197 ***	0,716	3,18** *	0,826	15,32
LC	145,45** *	1604,19** *	44,57* **	32,07 ***	5,54	74,36* **	7,13	27,23
PE	5,568***	35,560***	0,14	0,419 ***	0,154	0,507* *	0,172	36,55
PGE	4,2264** *	21,2053** *	0,13	0,276 6***	0,10	0,47** *	0,1121	35,25
NF	0,624***	1,283***	1,22** *	0,293 ***	0,13	0,50** *	0,124	8,22
SF	200,57** *	1090,04** *	24,19*	14,92 **	5,57	25,69* *	8,39	26,18
CA	2,721	195,59***	25,99* **	2,047	1,65	21,405 ***	2,010	43,68
CB	51,5	5190,5***	73,5	22,0	31,6	110,2* **	30,2	33,52
CAB	72,4*	3915,4***	179,9* *	28,2	39,5	199,4* **	40,8	28,28

G : Génotype ; E : Environnement ; B : Bloc ; CM : Carrée moyen ; CV : coefficient de variation.

### Annexe 3

Tableau 1a. Valeurs moyennes de la précocité à l'épiaison (jours) des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Begonia	120,875	A	Begonia	121,750	A
Tina	109,250	B	Tina	120,625	AB
Plaisant	106,375	C	Rahma	119,500	B
Tichedrett	105,375	CD	Plaisant	118,250	C
Soufara'S	105,250	CD	Tichedrett	118,125	C
Rahma	104,250	CD	Tissa	117,125	CD
Barberousse/Ch orokhod	103,250	DE	Barberousse/Ch orokhod	116,625	DE
Saïda	103,000	DE	El Bahia	116,625	DE
Barberousse	101,125	E	Soufara'S	116,625	DE
El Bahia	101,125	E	Express	116,125	DEF
El Fouara	93,500	F	Rihane03	116,000	DEF
Tissa	93,500	F	Saïda	115,750	EFG
Rihane03	92,250	F	El Fouara	115,625	EFG
Acsad176	91,500	FG	Jaidor	115,625	EFG
Plaisant/Charan 01	91,125	FG	Barberousse	115,125	FG
Express	91,000	FG	Plaisant/Charan 01	115,125	FG
Jaidor	89,250	G	Acsad176	114,625	G

Tableau 1b. Moyennes de la précocité à l'épiaison (jours) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Sétif	117,0147	A
Alger	100,1176	B

Tableau 2 a. Valeurs moyennes de la date de maturité (jours) des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Begonia	164,625	A	Begonia	175,750	A
Plaisant	156,750	B	Plaisant	175,500	A
Barberousse/Chorokhod	155,000	BC	Barberousse/Chorokhod	173,250	B
Tichedrett	153,750	C	Barberousse	173,125	B
Saïda	153,500	C	El Bahia	172,250	C
Tina	153,000	C	Tina	172,125	C
Barberousse	152,875	C	El Fouara	171,250	D
Acsad176	149,500	D	Express	170,500	E
Jaidor	149,000	D	Saïda	170,375	E
El Fouara	148,125	DE	Tichedrett	170,250	E
El Bahia	146,875	DEF	Rihane03	169,250	F
Rahma	146,750	DEF	Acsad176	169,125	F
Express	146,625	DEF	Jaidor	169,125	F
Rihane03	146,625	DEF	Tissa	168,375	G
Soufara'S	145,625	EF	Rahma	168,000	G
Tissa	144,500	FG	Soufara'S	166,750	H
Plaisant/Charan01	142,500	G	Plaisant/Charan01	165,875	I

Tableau 2 b. Moyennes de la date de maturité (jours) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Sétif	170,64	A
Alger	150,33	B

Tableau 3 a. Valeurs moyennes du nombre de plantes par mètre carré des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Tissa	130,94	A	Tissa	162,50	A
El Fouara	130,31	AB	Soufara'S	160,63	AB
Express	123,75	AB	Jaidor	153,13	ABC
Rihane03	123,13	AB	Rihane03	152,50	ABC
Rahma	122,50	AB	Rahma	150,63	ABC
Jaidor	110,94	ABC	Express	149,06	ABC
Plaisant/Charan01	108,44	BC	Plaisant	148,75	ABC
Tichedrett	99,38	CD	Acsad176	147,50	ABC
Barberousse	99,06	CD	Tichedrett	146,56	ABCD
Begonia	98,75	CD	Plaisant/Charan 01	146,25	ABCD
Plaisant	97,81	CD	Tina	145,31	ABCD
Barberousse/Chorokhod	96,56	CD	Saïda	145,00	ABCD
Soufara'S	95,31	CD	El Fouara	142,19	ABCD
El Bahia	93,44	CD	Begonia	139,69	BCD
Tina	92,50	CD	Barberousse/Chorokhod	139,06	CD
Acsad176	89,69	CD	El Bahia	137,19	CD
Saïda	84,06	D	Barberousse	125,63	D

Tableau 3 b. Moyennes du nombre de plantes par mètre carré des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Sétif	146,56	A
Alger	105,68	B



Tableau 4 a. Valeurs moyennes du nombre de talles par mètre carré des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Rahma	605,00	A	Soufara'S	675,94	A
Tissa	604,69	A	Rahma	672,81	A
Begonia	555,94	AB	Tissa	651,88	A
Soufara'S	478,44	BC	Tina	543,44	B
El Fouara	454,06	CD	Plaisant/Charan01	534,06	BC
Barberousse	452,50	CD	Barberousse	527,19	BC
Plaisant	444,06	CD	Tichedrett	526,25	BC
Tina	431,88	CD	Acsad176	524,06	BC
Jaidor	425,00	CDE	Plaisant	509,69	BCD
Rihane03	403,75	CDE	Jaidor	509,38	BCD
Barberousse/Chorokhod	402,19	CDE	Rihane03	498,75	BCD
Express	395,94	CDE	Begonia	489,38	BCD
Tichedrett	395,31	CDE	Express	474,69	BCD
Acsad176	388,13	CDE	Saïda	464,38	CD
Plaisant/Charan01	385,94	CDE	Barberousse/Chorokhod	462,50	CD
El Bahia	375,94	DE	El Bahia	446,56	D
Saïda	326,25	E	El Fouara	438,75	D

Tableau 4 b. Moyennes du nombre de talles par mètre carré des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Sétif	526,45	A
Alger	442,65	B

Tableau 5 a. Valeurs moyennes du nombre de talles par plante des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Begonia	5,53	A	Rahma	4,44	A
Soufara'S	5,48	A	Soufara'S	4,25	AB
Rahma	5,08	AB	Barberousse	4,23	AB
Tina	5,08	AB	Tissa	4,02	ABC
Tissa	4,90	AB	Tina	3,85	BCD
Acsad176	4,81	ABC	Plaisant/Charan01	3,71	BCDE
Barberousse	4,69	ABC	Tichedrett	3,62	CDEF
Plaisant	4,67	ABC	Begonia	3,56	CDEF
Barberousse/Chor okhod	4,41	ABCD	Acsad176	3,54	CDEF
El Bahia	4,13	BCD	Barberousse/Chor okhod	3,43	DEF
Saïda	4,11	BCD	Jaidor	3,43	DEF
Tichedrett	4,00	BCD	Plaisant	3,41	DEF
Jaidor	3,91	BCD	Rihane03	3,40	DEF
El Fouara	3,65	CD	El Bahia	3,26	EF
Plaisant/Charan01	3,63	CD	Saïda	3,25	EF
Rihane03	3,43	D	Express	3,19	EF
Express	3,43	D	El Fouara	3,12	F

Tableau 5 b. Moyennes du nombre de talles par plante des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	4,41	A
Sétif	3,63	B

Tableau 6 a. Valeurs moyennes du pourcentage de talles fertiles des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Express	86,87	A	Tissa	86,86	A
Soufara'S	86,24	AB	Rahma	85,30	AB
Plaisant/Charan01	81,92	ABC	Soufara'S	84,63	ABC
El Bahia	81,56	ABC	Barberousse/Chorokhod	82,32	ABCD
Rihane03	79,77	ABCD	Express	82,07	ABCD
Barberousse/Chorokhod	79,70	ABCD	Tina	81,47	ABCDE
El Fouara	78,90	ABCD	Begonia	80,72	ABCDE
Rahma	78,30	ABCD	Acsad176	79,81	ABCDEF
Jaidor	77,34	ABCD	El Fouara	79,18	ABCDEFG
Saïda	76,02	BCD	Jaidor	76,76	BCDEFG
Acsad176	75,42	CD	Saïda	76,09	BCDEFG
Tissa	75,34	CD	El Bahia	75,66	CDEFG
Barberousse	72,12	CDE	Rihane03	72,96	DEFG
Tichedrett	69,52	DE	Plaisant	72,41	EFG
Tina	63,16	EF	Plaisant/Charan01	71,28	FG
Plaisant	54,19	FG	Tichedrett	71,13	FG
Begonia	52,67	G	Barberousse	70,20	G

Tableau 6 b. Moyennes du pourcentage de talles fertiles des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Sétif	78,17	A
Alger	74,65	B

Tableau 7 a. Valeurs moyennes du nombre d'épis par mètre carré des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Tissa	460,63	A	Soufara'S	561,88	A
Rahma	459,06	A	Tissa	561,56	A
Soufara'S	413,13	A	Rahma	560,63	A
El Fouara	345,63	B	Tina	436,56	B
Express	341,25	B	Acsad176	403,44	BC
Barberousse	324,69	BC	Begonia	385,31	CD
Jaidor	324,69	BC	Jaidor	384,38	CD
Barberousse/Chorokhod	321,25	BC	Express	381,88	CD
Plaisant/Charan01	318,75	BC	Barberousse/Chorokhod	377,19	CD
Rihane03	318,13	BC	Plaisant/Charan01	366,88	CDE
El Bahia	304,69	BC	Tichedrett	366,88	CDE
Acsad176	290,63	BCD	Barberousse	362,50	DE
Tichedrett	267,50	CDE	Rihane03	359,69	DE
Tina	267,19	CDE	Plaisant	356,25	DE
Saïda	243,75	DE	Saïda	351,56	DE
Begonia	232,19	DE	El Fouara	339,38	E
Plaisant	228,75	E	El Bahia	330,94	E

Tableau 7 b. Moyennes du nombre d'épis par mètre carré des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Sétif	405,11	A
Alger	321,29	B

Tableau 8 a. Valeurs moyennes du nombre d'épis par plante des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Soufara'S	4,60	A	Rahma	3,74	A
Tissa	3,96	AB	Soufara'S	3,58	A
Rahma	3,94	AB	Tissa	3,47	AB
Acsad176	3,52	BC	Tina	3,12	BC
Barberousse/Chorokhod	3,50	BC	Barberousse	2,98	CD
El Bahia	3,40	BCD	Begonia	2,82	CDE
Barberousse	3,32	BCD	Barberousse/Chorokhod	2,82	CDE
Tina	3,16	BCDE	Acsad176	2,77	CDE
Saïda	3,13	CDE	Express	2,59	DE
Jaidor	3,04	CDE	Jaidor	2,59	DE
Express	2,96	CDE	Tichedrett	2,56	E
Plaisant/Charan01	2,93	CDE	Plaisant/Charan01	2,55	E
El Fouara	2,80	CDE	Rihane03	2,47	E
Tichedrett	2,79	CDE	Saïda	2,47	E
Rihane03	2,73	CDE	El Fouara	2,44	E
Begonia	2,64	DE	Plaisant	2,43	E
Plaisant	2,50	E	El Bahia	2,43	E

Tableau 8 b. Moyennes du nombre d'épis par plante des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	3,23	A
Sétif	2,81	B

Tableau 9 a. Valeurs moyennes du nombre de grains par épi des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Express	55,23	A	Begonia	55,11	A
Jaidor	55,00	A	Plaisant	54,15	A
Acsad176	54,32	A	Jaidor	52,31	AB
El Bahia	54,03	AB	Express	51,82	ABC
Barberousse	53,26	ABC	El Bahia	48,64	BCD
Rihane03	52,58	ABCD	Saïda	48,58	CDE
Barberousse/Chorokhod	52,53	ABCD	Rihane03	48,16	CDE
Tichedrett	49,82	BCD	El Fouara	47,30	DE
Tina	49,07	CD	Barberousse	45,13	DEF
Plaisant/Charan01	48,93	CD	Plaisant/Charan01	44,93	EF
El Fouara	48,93	CD	Tichedrett	43,30	F
Saïda	48,67	D	Acsad176	43,00	F
Plaisant	48,56	D	Barberousse/Chorokhod	42,16	F
Begonia	43,93	E	Tina	35,32	G
Soufara'S	28,44	F	Soufara'S	26,92	H
Rahma	26,43	F	Rahma	25,58	H
Tissa	25,93	F	Tissa	23,48	H

Tableau 9 b. Moyennes du nombre de grains par épis des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	46,80	A
Sétif	43,29	B

Tableau 10 a. Valeurs moyennes du poids de mille grains (g) des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Saïda	58,81	a	Saïda	49,62	A
El Bahia	54,05	b	El Bahia	47,48	A
El Fouara	53,62	b	Tichedrett	44,66	B
Tissa	53,30	b	El Fouara	44,00	B
Jaidor	52,82	bc	Barberousse/Chorokhod	43,58	BC
Tichedrett	51,96	bcd	Jaidor	42,55	BCD
Soufara'S	51,15	bcde	Rahma	42,47	BCD
Rahma	49,78	cdef	Barberousse	42,05	BCDE
Plaisant/Charan01	49,11	def	Plaisant/Charan01	41,22	CDE
Express	49,09	def	Tissa	41,10	CDE
Barberousse/Chorokhod	48,77	def	Express	40,93	CDE
Acsad176	48,77	def	Rihane03	40,74	DEF
Rihane03	48,26	efg	Plaisant	40,62	DEF
Barberousse	46,62	fgh	Acsad176	40,32	DEF
Plaisant	45,03	gh	Tina	39,30	EF
Tina	43,82	h	Soufara'S	38,12	FG
Begonia	37,46	i	Begonia	36,49	G

Tableau 10 b. Moyennes du poids de mille grains (g) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	49,55	A
Sétif	42,07	B

Tableau 11 a. Valeurs moyennes du nombre d'épillets stériles par épi des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Begonia	12,89	A	Tina	6,99	A
Plaisant	9,16	B	Begonia	6,91	A
El Bahia	8,68	BC	El Bahia	6,29	AB
Barberousse	7,89	BCD	Plaisant	6,25	AB
Barberousse/Chorokhod	7,38	BCD	Tichedrett	6,01	ABC
Tina	6,70	CDE	Barberousse	5,59	BCD
Tichedrett	6,53	DE	Barberousse/Chorokhod	5,35	BCDE
Saïda	6,51	DE	Acsad176	5,15	CDEF
Express	4,84	EF	Express	5,05	CDEF
Jaidor	4,71	EF	Jaidor	4,64	DEF
Acsad176	4,69	EF	Rihane03	4,59	EF
Rihane03	4,30	FG	El Fouara	4,50	EF
Plaisant/Charan01	4,12	FG	Saïda	4,34	F
El Fouara	3,90	FG	Plaisant/Charan01	4,27	F
Soufara'S	2,75	FG	Rahma	2,07	G
Tissa	2,43	G	Tissa	1,82	G
Rahma	2,33	G	Soufara'S	1,61	G

Tableau 11 b. Moyennes du nombre d'épillets stériles par épi des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	5,87	A
Sétif	4,79	B



Tableau 12. Valeurs moyennes du rendement estimé (q/ha) des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Jaidor	96,72	A	Jaidor	84,48	A
Express	94,09	A	Saïda	83,70	A
El Fouara	92,64	AB	Express	80,17	AB
El Bahia	92,10	AB	Plaisant	77,69	ABC
Barberousse/Chorokhod	85,04	ABC	Begonia	76,85	ABC
Rihane03	83,47	ABC	El Bahia	74,93	ABC
Barberousse	82,88	ABC	Tichedrett	71,16	BCD
Plaisant/Charan01	79,49	BC	El Fouara	70,21	BCD
Acsad176	79,20	BC	Rihane03	70,00	BCD
Saïda	74,32	CD	Barberousse/Chorokhod	68,93	BCDE
Tichedrett	73,94	CD	Acsad176	68,60	CDE
Tissa	64,56	DE	Barberousse	67,90	CDE
Rahma	63,18	DEF	Plaisant/Charan01	67,71	CDE
Soufara'S	63,15	DEF	Tina	60,66	DEF
Tina	58,46	EF	Rahma	60,64	DEF
Plaisant	49,56	FG	Soufara'S	57,76	EF
Begonia	38,00	G	Tissa	54,04	F

Tableau 12 b. Moyennes du rendement estimé (q/ha) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	74,75	A
Sétif	70,32	B

Tableau 13 a. Valeurs moyennes du rendement réel (q/ha) des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Express	59,26	A	Rahma	57,11	A
El Bahia	58,12	AB	Express	52,46	AB
Rihane03	56,68	ABC	Rihane03	51,43	ABC
El Fouara	55,38	ABCD	El Fouara	50,43	BCD
Jaidor	54,89	ABCD	Tissa	50,02	BCD
Saïda	53,00	BCDE	Soufara'S	50,01	BCD
Barberousse	52,30	CDE	Plaisant/Charan01	49,85	BCD
Acsad176	51,87	CDE	Barberousse	49,51	BCD
Plaisant/Charan01	51,20	DE	Begonia	48,41	BCD
Rahma	50,81	DE	Plaisant	47,33	BCDE
Barberousse/Chor okhod	50,41	DE	Barberousse/Chor okhod	46,82	BCDE
Tissa	49,07	EF	El Bahia	45,95	CDE
Soufara'S	45,22	FG	Jaidor	45,63	DE
Tichedrett	42,52	G	Acsad176	45,57	DE
Plaisant	31,65	H	Saïda	42,49	EF
Tina	29,88	H	Tichedrett	42,45	EF
Begonia	24,17	I	Tina	39,72	F

Tableau 13 b. Moyennes du rendement réel (q/ha) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	48,03	A
Sétif	47,95	A

Tableau 14 a. Valeurs moyennes de la biomasse aérienne (q/ha) des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Saïda	122,82	A	El Fouara	114,54	A
El Bahia	121,27	AB	Saïda	108,76	AB
Rihane03	118,33	AB	Jaidor	106,18	ABC
El Fouara	116,50	ABC	Tichedrett	105,82	ABC
Barberousse	114,74	ABC	Express	104,00	ABCD
Jaidor	113,96	BC	Rahma	103,68	ABCD
Express	112,97	BC	Barberousse/Chorokhod	103,44	ABCD
Barberousse/Chorokhod	112,82	BC	Rihane03	103,37	ABCD
Tissa	108,79	CD	Plaisant	101,95	BCDE
Acsad176	103,86	DE	Plaisant/Charan01	100,65	BCDE
Rahma	102,49	DE	El Bahia	100,39	BCDE
Soufara'S	101,33	DE	Soufara'S	96,04	CDE
Plaisant/Charan01	98,88	E	Barberousse	94,29	CDE
Tichedrett	96,54	E	Tina	94,29	CDE
Plaisant	79,91	F	Begonia	92,74	DE
Tina	78,64	F	Tissa	92,69	DE
Begonia	72,25	F	Acsad176	91,08	E

Tableau 14 b. Moyennes de la biomasse aérienne (q/ha) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	104,48	A
Sétif	100,82	A

Tableau 15 a. Valeurs moyennes de l'indice de récolte des géotypes.

Alger			Sétif		
Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Express	0,53	A	Rahma	0,57	A
Plaisant/Charan01	0,52	AB	Tissa	0,54	AB
Acsad176	0,51	ABC	Begonia	0,53	AB
Rahma	0,50	ABCD	Barberousse	0,53	ABC
Jaidor	0,49	BCDE	Soufara'S	0,52	ABCD
El Bahia	0,48	BCDEF	Express	0,51	ABCDE
Rihane03	0,48	CDEFG	Rihane03	0,51	ABCDE
El Fouara	0,48	CDEFG	Acsad176	0,50	ABCDE
Barberousse	0,46	DEFGH	Plaisant/Charan01	0,50	ABCDE
Tissa	0,45	EFGH	Plaisant	0,48	ABCDEF
Barberousse/Chorokhod	0,45	FGH	El Bahia	0,46	BCDEFG
Soufara'S	0,45	FGH	Barberousse/Chorokhod	0,46	BCDEFG
Tichedrett	0,45	GH	El Fouara	0,45	CDEFG
Saïda	0,43	H	Tina	0,44	DEFG
Plaisant	0,39	I	Jaidor	0,43	EFG
Tina	0,38	I	Tichedrett	0,41	FG
Begonia	0,33	J	Saïda	0,39	G

Tableau 15 b. Moyennes de l'indice de récolte des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Sétif	0,48	A
Alger	0,46	B

Tableau 16 a. Valeurs moyennes de la biomasse des tiges à l'épiaison (q/ha) des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Soufara'S	37,18	A	El Fouara	46,58	A
Saïda	37,16	A	El Bahia	43,61	AB
Rahma	33,81	AB	Barberousse	43,45	AB
El Bahia	33,78	AB	Tissa	42,14	AB
Barberousse	33,51	AB	Saïda	41,59	AB
Tissa	33,38	AB	Jaidor	40,48	BC
Barberousse/Chorokhod	32,85	AB	Barberousse/Chorokhod	39,37	BCD
Acsad176	32,79	AB	Tichedrett	39,03	BCD
Rihane03	32,07	BC	Plaisant/Charan01	35,14	CDE
Plaisant/Charan01	32,00	BC	Rihane03	34,57	DE
El Fouara	31,94	BC	Tina	34,33	DE
Tichedrett	31,28	BC	Rahma	33,50	EF
Jaidor	30,53	BC	Begonia	32,50	EF
Express	27,56	CD	Acsad176	32,31	EF
Tina	27,38	CD	Soufara'S	32,15	EF
Plaisant	24,31	D	Plaisant	31,09	EF
Begonia	16,21	E	Express	28,79	F

Tableau 16 b. Moyennes de la biomasse des tiges à l'épiaison (q/ha) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Sétif	37,10	A
Alger	31,04	B

Tableau 17 a. Valeurs moyennes de la biomasse des feuilles à l'épiaison (q/ha) des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Barberousse/Choro khod	16,55	A	Saïda	11,07	A
Saïda	16,18	AB	El Bahia	10,73	AB
El Bahia	15,95	AB	Tichedrett	10,58	AB
Begonia	14,40	ABC	Begonia	10,50	AB
Tichedrett	13,98	ABCD	Barberousse/Chorok hod	10,49	AB
Soufara'S	13,79	ABCD	Jaidor	10,27	ABC
Plaisant	13,68	BCD	Tissa	10,17	ABC
Tissa	13,52	BCDE	Barberousse	9,96	ABCD
Plaisant/Charan01	13,09	CDEF	Rihane03	9,81	ABCD
Tina	12,51	CDEFG	Plaisant/Charan01	9,71	ABCD
Jaidor	12,07	CDEFG	Tina	9,49	ABCD
El Fouara	11,60	CDEFG	El Fouara	8,84	BCDE
Acsad176	11,48	DEFG	Acsad176	8,72	BCDE
Rahma	11,19	DEFG	Express	8,43	CDE
Barberousse	10,72	EFG	Plaisant	7,92	DE
Express	10,37	FG	Soufara'S	7,13	E
Rihane03	9,82	G	Rahma	7,05	E

Tableau 17 b. Moyennes de la biomasse des feuilles à l'épiaison (q/ha) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	12,99	A
Sétif	9,46	B

Tableau 18. Valeurs moyennes de la biomasse des épis à l'épiaison (q/ha) des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Rihane03	16,26	A	Rihane03	11,57	A
Plaisant/Charan01	15,59	A	Plaisant/Charan01	11,17	AB
Jaidor	15,55	A	Tissa	10,28	AB
Barberousse	15,34	A	El Fouara	10,15	AB
Acsad176	14,63	AB	Acsad176	10,04	AB
Express	14,42	AB	Jaidor	10,00	AB
Saïda	14,33	AB	El Bahia	9,86	ABC
El Bahia	14,23	AB	Barberousse	9,71	ABC
El Fouara	13,07	ABC	Saïda	9,36	ABCD
Barberousse/Chorokhod	11,69	BCD	Barberousse/Chorokhod	9,09	BCD
Tichedrett	9,81	CDE	Tichedrett	7,71	CDE
Soufara'S	9,01	DE	Soufara'S	7,62	CDEF
Tina	8,88	DE	Express	7,43	DEFG
Rahma	8,88	DE	Rahma	5,90	EFGH
Tissa	8,61	DE	Tina	5,36	FGH
Plaisant	7,64	EF	Begonia	5,30	GH
Begonia	5,19	F	Plaisant	5,05	H

Tableau 18 b. Moyennes de la biomasse des épis à l'épiaison (q/ha) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	11,95	A
Sétif	8,56	B

Tableau 19 a. Valeurs moyennes de la biomasse totale à l'épiaison (q/ha) des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Saïda	67,67	A	El Fouara	65,57	A
El Bahia	63,96	AB	El Bahia	64,20	AB
Barberousse/Chorokhod	61,09	ABC	Barberousse	63,12	ABC
Plaisant/Charan01	60,67	ABC	Tissa	62,59	ABC
Soufara'S	59,98	ABC	Saïda	62,02	ABC
Barberousse	59,58	ABC	Jaidor	60,75	ABC
Acsad176	58,90	ABC	Barberousse/Chorokhod	58,95	ABC
Rihane03	58,15	BC	Tichedrett	57,33	BCD
Jaidor	58,15	BC	Plaisant/Charan01	56,02	CDE
El Fouara	56,60	BCD	Rihane03	55,95	CDE
Tissa	55,52	BCD	Acsad176	51,07	DEF
Tichedrett	55,06	BCD	Tina	49,17	EF
Rahma	53,88	CDE	Begonia	48,30	F
Express	52,35	CDE	Soufara'S	46,90	F
Tina	48,78	DE	Rahma	46,45	F
Plaisant	45,63	E	Express	44,65	F
Begonia	35,80	F	Plaisant	44,06	F

Tableau 19 b. Moyennes de la biomasse totale à l'épiaison (q/ha) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	55,99	A
Sétif	55,12	A



Tableau 20 a. Valeurs moyennes de la hauteur de la tige (cm) des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Tina	98,27	A	Tina	96,40	A
Barberousse/Chorokhod	88,81	B	Saïda	91,08	AB
Saïda	88,10	B	Tichedrett	86,92	BC
El Fouara	86,19	BC	Barberousse/Chorokhod	85,06	CD
Tichedrett	85,98	BC	Barberousse	82,38	CDE
Acsad176	85,22	BCD	Plaisant/Charan01	81,90	CDE
Barberousse	83,44	CDE	Rihane03	79,63	DEF
Rihane03	82,50	CDEF	El Bahia	79,88	DEF
El Bahia	81,36	DEF	Begonia	79,45	DEF
Soufara'S	80,89	DEFG	Plaisant	77,45	EF
Tissa	79,49	EFGH	Jaidor	77,06	EFG
Express	79,49	EFGH	Acsad176	75,59	FGH
Jaidor	78,22	FGHI	El Fouara	75,57	FGH
Plaisant	76,84	GHI	Express	71,65	GHI
Plaisant/Charan01	75,29	HI	Soufara'S	70,53	HI
Rahma	74,63	I	Tissa	68,33	I
Begonia	56,07	J	Rahma	66,68	I

Tableau 20 b. Moyennes de la hauteur de la tige (cm) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	81,22	A
Sétif	79,13	A

Tableau 21 a. Valeurs moyennes de la longueur du dernier entre-noeud (cm) des géotypes.

Alger			Sétif		
Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Tina	36,75	A	Express	22,02	A
Acsad176	32,73	B	Rihane03	21,27	A
Tichedrett	30,66	BC	Jaidor	20,98	AB
Barberousse/Choro khod	29,55	CD	Acsad176	20,77	AB
Rihane03	29,27	CD	Tina	20,56	AB
Jaidor	28,90	CDE	Plaisant/Charan01	20,42	AB
Express	28,52	CDE	Barberousse	20,38	AB
Saïda	28,12	DEF	Saïda	20,06	ABC
El Fouara	28,10	DEF	Plaisant	20,03	ABC
Barberousse	26,63	EFG	Tichedrett	19,81	ABC
Plaisant/Charan01	25,87	FGH	Barberousse/Chor okhod	19,27	ABC
El Bahia	25,28	GH	El Bahia	18,24	BCD
Tissa	24,73	GHI	Begonia	18,17	BCD
Soufara'S	24,13	HI	El Fouara	18,16	BCD
Plaisant	22,78	IJ	Tissa	17,19	CD
Rahma	20,50	J		15,83	D
Begonia	15,75	K		15,79	D

Tableau 21 b. Moyennes de la longueur du dernier entre-noeud (cm) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	26,96	A
Sétif	19,35	B

Tableau 22 a. Valeurs moyennes de la longueur de l'épi (cm) des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Soufara'S	9,18	A	Rahma	7,71	A
Rahma	9,16	A	El Bahia	7,29	AB
Tissa	8,80	A	Soufara'S	6,98	BC
El Bahia	8,51	A	Tissa	6,68	C
Saïda	7,75	B	Plaisant	6,56	CD
Plaisant	7,69	B	Saïda	6,17	DE
El Fouara	7,37	BC	Plaisant/Charan01	5,94	EF
Tina	7,27	BCD	El Fouara	5,85	EF
Plaisant/Charan01	7,20	BCD	Tina	5,48	FG
Barberousse	6,64	CDE	Express	5,10	GH
Acsad176	6,53	DE	Begonia	5,06	GH
Barberousse/Choro khod	5,95	EF	Acsad176	4,97	HI
Begonia	5,64	F	Barberousse	4,84	HI
Jaidor	5,56	F	Jaidor	4,75	HI
Tichedrett	5,47	F	Rihane03	4,67	HIJ
Express	5,42	F	Tichedrett	4,50	IJ
Rihane03	5,38	F	Barberousse/Chor okhod	4,26	J

Tableau 22 b. Moyennes de la longueur de l'épi (cm) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	7,03	A
Sétif	5,70	B

Tableau 23. Valeurs moyennes de la longueur des barbes (cm) des géotypes.

Alger			Sétif		
Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Tichedrett	15,55	A	Barberousse/Chorokhod	13,79	A
Barberousse/Chorokhod	14,09	B	Barberousse	13,24	AB
Barberousse	13,25	BC	Saïda	12,64	BC
Jaidor	12,72	CD	Tichedrett	12,62	BC
Saïda	12,49	CDE	El Fouara	12,04	CD
El Fouara	12,07	DEF	Express	11,84	D
El Bahia	11,99	DEFG	Jaidor	11,82	D
Plaisant	11,95	DEFG	Plaisant	11,67	D
Rihane03	11,73	DEFG	Begonia	11,43	DE
Express	11,62	EFGH	El Bahia	10,91	EF
Plaisant/Charan01	11,46	FGHI	Rihane03	10,73	EF
Acsad176	11,12	FGHIJ	Plaisant/Charan01	10,53	F
Begonia	11,01	GHIJ	Tina	10,47	F
Tissa	10,66	HIJ	Acsad176	10,37	F
Tina	10,47	IJK	Soufara'S	9,43	G
Soufara'S	10,23	JK	Tissa	8,64	H
Rahma	9,57	K	Rahma	8,34	H

Tableau 23 b. Moyennes de la longueur des barbes (cm) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	11,88	A
Sétif	11,21	B

Tableau 24 a. Valeurs moyennes du poids de l'épi (cm) des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
El Bahia	4,05	A	Saïda	3,07	A
Saïda	3,90	AB	El Bahia	2,91	AB
Jaidor	3,50	BC	Express	2,79	ABC
Tichedrett	3,45	CD	Jaidor	2,78	ABC
El Fouara	3,44	CD	Plaisant	2,61	BCD
Barberousse/Chorokhod	3,35	CD	Barberousse	2,48	CD
Acsad176	3,32	CDE	Begonia	2,48	CD
Express	3,31	CDE	Tichedrett	2,43	CD
Barberousse	3,21	CDEF	El Fouara	2,43	CD
Rihane03	3,15	CDEF	Rihane03	2,35	DE
Plaisant	3,05	DEF	Barberousse/Chorokhod	2,28	DE
Plaisant/Charan01	2,90	EF	Plaisant/Charan01	2,25	DE
Tina	2,79	F	Acsad176	2,01	EF
Begonia	2,24	G	Tina	1,71	FG
Soufara'S	2,06	GH	Rahma	1,40	GH
Tissa	1,82	GH	Soufara'S	1,35	GH
Rahma	1,78	H	Tissa	1,25	H

Tableau 24 b. Moyennes du poids de l'épi (cm) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	3,02	A
Sétif	2,27	B

Tableau 25 a. Valeurs moyennes du poids de grains de l'épi (g) des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
El Bahia	3,30	A	Saïda	2,63	A
Jaidor	3,08	AB	El Bahia	2,53	AB
Saïda	3,05	AB	Jaidor	2,46	ABC
Express	2,92	BC	Express	2,45	ABC
Acsad176	2,91	BC	Plaisant	2,23	BCD
El Fouara	2,89	BC	Barberousse	2,18	CD
Tichedrett	2,82	BC	Begonia	2,14	CD
Barberousse/Chorokhod	2,78	BCD	Tichedrett	2,13	CD
Rihane03	2,76	BCD	El Fouara	2,09	DE
Barberousse	2,66	CD	Rihane03	2,09	DE
Plaisant/Charan01	2,49	DE	Barberousse/Chorokhod	2,04	DE
Plaisant	2,47	DE	Plaisant/Charan01	1,99	DE
Tina	2,31	E	Acsad176	1,78	EF
Begonia	1,72	F	Tina	1,51	FG
Soufara'S	1,64	F	Rahma	1,21	GH
Tissa	1,48	F	Soufara'S	1,14	H
Rahma	1,44	F	Tissa	1,07	H

Tableau 25 b. Moyennes du poids de grains de l'épi (g) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Sétif	2,51	A
Alger	1,98	B

Tableau 26 a. Valeurs moyennes du nombre de feuilles par tige principale des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
El Bahia	6,21	A	Barberousse	5,93	A
Begonia	6,14	AB	Tichedrett	5,92	A
Saïda	6,14	AB	Saïda	5,83	AB
Plaisant	6,09	ABC	Tina	5,82	ABC
El Fouara	6,09	ABC	Jaidor	5,81	ABC
Tissa	6,08	ABC	Barberousse/Chorokhod	5,66	ABC
Barberousse	6,03	ABC	El Fouara	5,62	ABCD
Rahma	5,94	ABCD	Rahma	5,62	ABCD
Soufara'S	5,85	BCD	Tissa	5,61	ABCD
Barberousse/Chorokhod	5,83	BCD	Soufara'S	5,60	ABCD
Tichedrett	5,83	BCD	El Bahia	5,56	BCDE
Plaisant/Charan01	5,80	BCD	Begonia	5,08	BCDE
Tina	5,78	CD	Plaisant/Charan01	5,51	BCDE
Jaidor	5,62	DE	Rihane03	5,50	BCDE
Acsad176	5,43	EF	Express	5,48	CDE
Rihane03	5,28	EF	Acsad176	5,32	DE
Express	5,20	F	Plaisant	5,25	E

Tableau 26 b. Moyennes du nombre de feuilles par tige principale des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	5,84	A
Sétif	5,62	B

Tableau 27 a. Valeurs moyennes de la surface foliaire (cm<sup>2</sup>) des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
El Bahia	29,13	A	El Bahia	24,49	A
Tichedrett	29,10	A	Barberousse/Chorokhod	22,55	AB
Barberousse/Chorokhod	28,43	AB	Saïda	22,35	ABC
El Fouara	28,41	AB	Tichedrett	21,52	BCD
Saïda	27,42	ABC	El Fouara	21,07	BCDE
Plaisant	27,10	ABC	Barberousse	20,90	BCDE
Jaidor	26,17	ABCD	Jaidor	20,28	CDEF
Express	26,14	ABCD	Plaisant/Charan01	19,92	DEF
Rihane03	26,07	ABCD	Begonia	19,77	DEF
Barberousse	25,42	BCD	Plaisant	19,30	EF
Plaisant/Charan01	25,33	BCD	Rihane03	19,28	EF
Tina	25,15	CD	Tina	18,36	FG
Acsad176	23,95	DE	Express	18,25	FG
Tissa	21,46	EF	Acsad176	16,64	GH
Begonia	20,01	F	Tissa	14,55	HI
Soufara'S	18,48	FG	Soufara'S	12,95	IJ
Rahma	15,56	G	Rahma	11,66	J

Tableau 27 b. Moyennes de la surface foliaire (cm<sup>2</sup>) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	24,90	A
Sétif	19,05	B



Tableau 28 a. Valeurs moyennes de la teneur en chlorophylle *a* (mg/g) des génotypes.

Alger			Sétif		
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Express	4,66	A	Begonia	7,39	A
Acsad176	4,64	A	Rahma	7,27	AB
Rahma	4,56	AB	El Fouara	7,01	ABC
Tina	4,43	ABC	Plaisant/Charan01	6,95	ABC
El Bahia	4,41	ABC	Soufara'S	6,63	ABC
Barberousse	4,26	ABCD	Acsad176	6,48	ABC
Tissa	4,19	ABCDE	Tina	6,44	ABC
Begonia	4,02	ABCDE	Rihane03	6,38	ABC
Plaisant	3,93	ABCDE	Plaisant	6,28	ABC
Soufara'S	3,81	ABCDE	Barberousse/Chorokhod	6,22	ABC
Plaisant/Charan01	3,81	ABCDE	Tissa	6,21	ABC
Rihane03	3,58	BCDE	Barberousse	6,08	ABC
Saïda	3,48	CDE	Saïda	6,05	ABC
El Fouara	3,42	CDE	El Bahia	5,85	ABC
Jaidor	3,38	DE	Express	5,59	ABC
Tichedrett	3,36	DE	Jaidor	5,59	ABC
Barberousse/Chorokhod	3,22	E	Tichedrett	5,26	BC

Tableau 28 b. Moyennes de la teneur en chlorophylle *a* (mg/g) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Sétif	6,34	A
Alger	3,95	B

Tableau 29 a. Valeurs moyennes de la teneur en chlorophylle *b* (mg/g) des géotypes.

Alger			Sétif		
Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Acsad176	35,22	A	Acsad176	28,40	A
Rahma	34,25	AB	Tina	27,90	AB
Tina	33,57	ABC	El Bahia	27,78	AB
Tissa	32,34	ABC	Plaisant/Charan01	27,50	AB
Barberousse	32,32	ABC	Soufara'S	27,48	AB
El Bahia	31,13	ABCD	Rihane03	27,45	AB
Express	31,06	ABCD	Begonia	26,13	AB
Plaisant/Charan01	30,91	ABCD	Barberousse/Chorokhod	26,09	AB
Plaisant	30,81	ABCD	Rahma	26,09	AB
Begonia	30,79	ABCD	Tissa	26,05	AB
Soufara'S	30,62	ABCD	Express	25,95	AB
Rihane03	29,53	ABCD	Barberousse	25,29	AB
Jaidor	28,55	BCD	Jaidor	25,00	AB
Saïda	28,22	BCD	Saïda	24,99	AB
El Fouara	27,90	CD	Plaisant	24,83	AB
Barberousse/Chorokhod	27,51	CD	El Fouara	23,99	B
Tichedrett	25,60	D	Tichedrett	23,86	B

Tableau 29 b. Moyennes de la teneur en chlorophylle *b* (mg/g) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	30,61	A
Sétif	26,16	B

Tableau 30 a. Valeurs moyennes de la teneur en chlorophylle  $a+b$  (mg/g) des géotypes.

Alger			Sétif		
Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes
Acsad176	39,86	A	Acsad176	34,88	A
Rahma	38,82	A	Plaisant/Charan01	34,45	AB
Tina	38,00	AB	Tina	34,35	AB
Barberousse	36,59	ABC	Soufara'S	34,11	AB
Tissa	36,53	ABC	Rihane03	33,83	AB
Express	35,72	ABCD	El Bahia	33,63	AB
El Bahia	35,54	ABCD	Begonia	33,52	AB
Begonia	34,81	ABCD	Rahma	33,36	AB
Plaisant	34,75	ABCD	Barberousse/Chorokhod	32,31	AB
Plaisant/Charan01	34,71	ABCD	Tissa	32,56	AB
Soufara'S	34,43	ABCD	Express	31,41	AB
Rihane03	33,11	ABCD	Barberousse	31,37	AB
Jaidor	31,93	BCD	Plaisant	31,11	AB
Saïda	31,70	BCD	Saïda	31,04	AB
El Fouara	31,32	BCD	El Fouara	31,01	AB
Barberousse/Chorokhod	30,73	CD	Jaidor	30,58	AB
Tichedrett	28,96	D	Tichedrett	29,13	B

Tableau 30 b. Moyennes de la teneur en chlorophylle  $a+b$  (mg/g) des deux sites.

Sites	Moyennes	Groupes homogènes
Alger	34,56	A
Sétif	32,50	A

## Annexe 4

Tableau 1 : corrélations entre les caractères mesurés à Alger.

	PEP	DM	NPM	NTM	NEM	NESE	NGE	PMG	BTE	BFE	BEE	BE	BA	RR	IR
PEP															
DM	0,690 ***														
NPM	0,055	0,323 ***													
NTM	0,302 ***	0,429 ***	0,721 ***												
NEM	0,038	0,256 **	0,673 ***	0,736 ***											
NESE	0,170 *	- 0,023	- 0,403 ***	- 0,342 ***	- 0,585 ***										
NGE	0,149	0,584 ***	0,315 ***	0,198 *	0,147	0,022									
PMG	- 0,316 ***	- 0,273 **	0,015	- 0,126	0,099	- 0,271* *	- 0,122								
BTE	- 0,234 **	- 0,322 ***	0,170 *	0,048	0,313 ***	- 0,288* **	- 0,042	0,370 ***							
BFE	0,392 ***	0,489 ***	0,313 ***	0,311 ***	0,299 ***	-0,111	0,324 ***	0,033	0,193 *						
BEE	- 0,611 ***	- 0,547 ***	- 0,034	- 0,208 *	- 0,058	-0,023	0,088	0,204 *	0,555 ***	- 0,212 *					
BE	- 0,287 ***	- 0,280 **	0,197 *	0,028	0,25* *	-0,218*	0,133	0,371 ***	0,896 ***	0,371 ***	0,693 ***				
BA	- 0,527 ***	- 0,458 ***	- 0,127	- 0,263 **	- 0,038	-0,079	- 0,126	0,517 ***	0,327 ***	- 0,162	0,503 ***	0,384 ***			
RR	- 0,582 ****	- 0,348 ***	0,021	- 0,199 *	0,084	-0,207*	0,025	0,415 ***	0,262 **	- 0,136	0,482 ***	0,325 ***	0,811 ***		
IR	- 0,247 **	0,079	0,252 **	0,069	0,393 ***	- 0,436* **	0,236 **	0,109	0,157	0,043	0,133	0,136	0,000 4	0,496 ***	
RE	0,014	0,460 ***	0,623 ***	0,532 ***	0,718 ***	- 0,394* *	0,714 ***	0,216 *	0,226 **	0,418 ***	0,085	0,329 ***	0,054	0,225 **	0,4 40* **
NTP	0,311 ***	0,127	- 0,432 ***	0,214 *	- 0,022	0,090	- 0,234 **	0,161	- 0,264 **	- 0,055	- 0,295 ***	- 0,336 ***	- 0,108	- 0,207 *	- 0,2 45* *
NEP	- 0,004	- 0,121	- 0,530 ***	- 0,135	0,188 *	-0,093	- 0,287 ***	0,108	0,034	- 0,095	- 0,073	- 0,061	0,161	0,091	0,0 49
PTF	- 0,279 **	- 0,200 *	- 0,099	- 0,372 ***	0,262 **	- 0,224* *	- 0,057	0,239 **	0,256 **	- 0,036	0,138	0,209 *	0,215 *	0,273 **	0,3 06* **
HT	0,249 **	0,450 ***	0,470 ***	0,414 ***	0,443 ***	-0,198*	0,539 ***	0,136	0,198 *	0,410 ***	- 0,040	0,240 **	- 0,044	- 0,034	0,1 48
LC	0,036	0,251 **	0,281 ***	0,117	0,246 **	-0,190*	0,507 ***	0,121	0,174 *	0,249 **	0,105	0,224 **	- 0,038	0,062 *	0,2 59* *
LB	- 0,025	0,102	- 0,188 *	- 0,252 **	- 0,232 **	0,342* **	0,329 ***	0,204 *	- 0,040	0,036	0,092	0,030	0,203 *	0,097	- 0,0 48
LE	0,391 ***	0,394 ***	0,306 ***	0,436 ***	0,510 ***	- 0,386* **	0,093	0,145	0,135	0,423 ***	- 0,307 ***	0,092	- 0,189 *	- 0,149	0,1 67
NF	0,204 *	- 0,003	0,174 *	0,226 **	0,105	0,064	- 0,029	0,130	0,171 *	0,298 ***	- 0,018	0,218 *	- 0,045	- 0,186 *	- 0,2 07* *
PE	0,142	0,560 ***	0,378 ***	0,224 **	0,236 **	-0,080	0,909 ***	0,183 *	0,081	0,421 ***	0,076	0,242 **	- 0,002	0,120	0,2 60* *
PGE	0,062	0,510 ***	0,341 ***	0,190 *	0,228 **	-0,118	0,919 ***	0,191 *	0,105	0,373 ***	0,133	0,268 **	0,031	0,169 *	0,3 04* **
SF	- 0,312 ***	- 0,342 ***	- 0,367 ***	- 0,499 ***	- 0,438 ***	0,353* **	0,058	0,226 **	0,069	- 0,182 *	0,34* **	0,143	0,378 ***	0,285 ***	- 0,1 59
C a	- 0,226	- 0,425	- 0,227	- 0,174	- 0,238	0,130	- 0,326	- 0,065	0,026	- 0,281	0,174 *	- 0,025	0,136	0,091	- 0,1

	**	***	**	*	**		***			***					00
C b	0,054	0,036	0,041	0,144	0,074	-0,108	-0,031	-0,099	-0,071	0,019	-0,067	-0,091	-0,087	-0,056	0,028
C a+b	0,026	-0,015	0,013	0,113	0,038	-0,083	-0,061	-0,098	-0,063	-0,010	-0,041	-0,085	-0,068	-0,044	0,016

Suite de Tableau 1 : corrélations entre les caractères mesurés à Alger.

	RE	NTP	NEP	PTF	HT	LC	LB	LE	LN	SW	PGE	LA	C a	C b	C a+b
PEP															
DM															
NPM															
NTM															
NEM															
NES															
E															
NGE															
PMG															
BTE															
BFE															
BEE															
BE															
BA															
RR															
IR															
RE															
NTP	-0,209*														
NEP	-0,050	0,623***													
PTF	0,174*	-0,349***	0,404***												
HT	0,671***	-0,113	-0,125	-0,084											
LC	0,540***	-0,217*	-0,117	0,045	0,730***										
LB	0,162	-0,080	-0,041	0,027	0,109	0,190*									
LE	0,368***	0,133	0,194*	0,077	0,369***	0,006	-0,349***								
SF	0,062	-0,006	-0,127	-0,156	0,151	-0,107	-0,092	0,325***							
PE	0,798***	-0,235**	-0,215*	0,005	0,613***	0,524***	0,393***	0,251**	0,048						
PGE	0,807***	-0,277**	-0,230**	0,021	0,609***	0,552***	0,376***	0,202*	0,004	0,986***					
SF	-0,111	-0,115	-0,001	0,034	-0,068	0,078	0,425***	-0,455***	-0,085	0,099	0,117				
C a	-0,391***	0,092	0,037	-0,093	-0,355***	0,241**	0,153	0,167	0,057	-0,397***	0,366***	0,073			
C b	-0,046	0,150	0,044	-0,122	-0,044	0,001	-0,261**	0,181*	-0,015	-0,071	-0,064	0,175*	0,641***		
C a+b	-0,085	0,145	0,036	-0,129	-0,079	-0,024	-0,255**	0,143	-0,021	-0,107	-0,097	-0,148	0,717***	0,996***	

Tableau 2 : corrélations entre les caractères mesurés à Sétif.

	PEP	DM	NPM	NTM	NEM	NESE	NGE	PMG	BTE	BFE	BEE	BE	BA	RR	IR
PEP															
DM	0,481 ***														
NPM	-0,123	-0,143													
NTM	-0,033	-0,261 **	0,434 ***												
NEM	0,184 *	-0,201 *	0,283 ***	0,609 ***											
NESE	0,027	0,367 ***	-0,103	-0,094	-0,273**										
NGE	0,004	0,399 ***	-0,090	-0,39* **	-0,456** *	0,374 ***									
PMG	-0,409 ***	-0,241 **	-0,099	-0,032	-0,341** *	-0,044	0,144								
BTE	-0,427 ***	-0,248 **	0,123	0,055	-0,233**	-0,014	0,244 **	0,763 ***							
BFE	0,291 ***	0,226 **	-0,156	-0,288 ***	-0,084	0,134	0,294 ***	-0,485 ***	-0,408 ***						
BEE	-0,100	-0,154	-0,046	-0,132	-0,047	-0,004	0,145	-0,264 **	-0,150	0,495 ***					
BE	-0,394 ***	-0,218 *	-0,160	-0,054	-0,237**	0,051	-0,146	0,57* **	0,847 ***	0,002	0,238 **				
BA	-0,284 ***	-0,134	-0,017	-0,045	-0,244**	-0,096	-0,153	0,700 ***	0,699 ***	-0,487 ***	-0,254 **	0,555 ***			
RR	-0,306 ***	-0,246 **	0,148	0,201 *	-0,010	-0,182 *	-0,264 **	0,551 ***	0,541 ***	-0,631 ***	-0,3* **	0,327 ***	0,563 ***		
IR	-0,089	-0,177 *	0,189 *	0,256 **	0,237**	-0,136	0,136	-0,085	-0,121	-0,213 *	-0,088	-0,211 *	-0,369 ***	0,504 ***	
RE	-0,231 **	0,080	-0,019	-0,02	-0,043	0,221 **	0,579 ***	0,406 ***	0,215 *	-0,113	-0,046	0,197 *	0,217 *	0,116	0,196
NTP	0,038	-0,198 *	-0,306 ***	0,668	0,441** *	-0,094	-0,355 ***	0,040	0,179 *	-0,185 *	-0,100	0,097	-0,013	0,118	0,144
NEP	0,206 *	-0,143	-0,472 ***	0,289 **	0,651** *	-0,238 **	0,380 ***	0,173 *	-0,044	-0,015	-0,018	-0,043	-0,169 *	-0,053	0,111
PTF	0,187 *	0,008	-0,218 *	-0,494 ***	0,318** *	-0,274 **	0,093	-0,302 ***	-0,276 **	0,245 **	0,157	-0,160	-0,232 **	-0,249 **	0,025
HT	-0,235 **	0,065	-0,148	-0,075	-0,429** *	0,231 **	-0,055	0,628 ***	0,602 ***	-0,299 ***	-0,261 **	0,490 ***	0,567 ***	0,281 ***	-0,229 **
LC	-0,366 ***	-0,159	-0,119	-0,207 *	-0,343** *	0,275 **	0,103	0,359 ***	0,423 ***	-0,130	-0,034	0,422 ***	0,326 ***	0,202 *	-0,098
LB	-0,053	0,417 ***	-0,222 **	-0,371 ***	-0,497** *	0,385 ***	0,438 ***	0,195 *	0,170 *	0,213 *	0,08	0,251 **	0,150	-0,165	-0,319 ***
LE	0,196 *	-0,125	0,072	0,163	0,276**	-0,378 ***	0,103	-0,162	-0,217 *	0,059	0,079	-0,289 ***	-0,195 *	-0,149	0,042
NF	-0,023	0,013	-0,058	0,105	-0,041	0,028	-0,151	0,125	0,233 **	0,018	0,03	0,249 **	0,164	0,008	-0,184 *
PE	-0,283 ***	0,184 *	-0,155	-0,343 ***	-0,615** *	0,269 **	0,625 ***	0,583 ***	0,347 ***	-0,068	-0,042	0,308 ***	0,345 ***	0,155	-0,165
PGE	-0,300 ***	0,158	-0,164	-0,343 ***	-0,613** *	0,271 **	0,632 ***	0,571 ***	0,331 ***	-0,050	-0,028	0,302 ***	0,320 ***	0,136	-0,159
SF	-0,146	0,356 ***	-0,078	-0,346 ***	-0,527** *	0,352 ***	0,360 ***	0,337 ***	0,282 ***	0,008	0,015	0,304 ***	0,343 ***	0,068	-0,273 **
C a	-0,260 **	-0,302 ***	-0,019	-0,115	0,035	-0,063	-0,275 **	0,385 ***	0,507 ***	-0,352 ***	-0,249 **	0,395 ***	0,428 ***	0,384 ***	-0,012
C b	0,244 **	0,098	-0,006	-0,101	0,193* *	0,040	0,238 **	-0,742	-0,658	0,594 ***	0,432 ***	-0,430	-0,679	-0,681	0,080

C	0,226	0,057	-	-	0,199*	0,013	0,215	***	***	0,569	0,427	***	***	***	-
a+b	**		0,014	0,102			*	-	-	***	***	-	-	-	-
								0,703	0,621			0,397	0,665	0,654	0,062
								***	***			***	***	***	

Suite de tableau 2 : corrélations entre les caractères mesurés à Sétif.

	RE	NTP	NEP	PTF	HT	LC	LB	LE	NF	PE	PGE	SF	C a	C b	C a+b
PEP															
DM															
NPM															
NT															
M															
NE															
M															
NES															
E															
NGE															
PMG															
BTE															
BFE															
BEE															
BE															
BA															
RR															
IR															
RE															
NTP	0,00 4														
NEP	- 0,04 7	0,68 3***													
PTF	- 0,08 6	- 0,27 6**	0,46 3***												
HT	0,19 6*	- 0,03 7	- 0,31 2***	- 0,41 5***											
LC	0,17 9*	- 0,12 3	- 0,19 4*	- 0,13 2	0,44 3***										
LB	0,31 1***	- 0,21 4*	- 0,30 8***	- 0,15 1	0,29 2***	0,21 8*									
LE	- 0,11 2	0,13 0	0,23 2**	0,20 5*	- 0,41 1***	- 0,38 7***	- 0,43 5***								
NF	- 0,04 6	0,09	- 0,00 6	- 0,13 4	0,23 0**	0,06 6	0,13 9	- 0,17 2*							
PE	0,72 6***	- 0,26 9**	- 0,45 9***	- 0,28 6***	0,47 7***	0,28 4***	0,54 3***	- 0,22 7**	0,07 4						
PGE	0,72 5***	- 0,26 2**	- 0,45 0***	- 0,28 6***	0,47 3***	0,29 7***	0,52 3***	- 0,24 **	0,06 6	0,99 1***					
SF	0,35 5***	- 0,33 4***	- 0,46 3***	- 0,21 3*	0,51 1***	0,22 3**	0,58 0***	- 0,28 6**	0,17 6*	0,61 3***	0,59 1***				
C a	0,04 0	0,16 7	0,12 1	- 0,04 2	0,27 1**	0,41 7***	- 0,05 9	- 0,00 1	0,01 2	0,00 4	- 0,00 7	- 0,04 5			
C b	- 0,19 4*	- 0,08 6	0,13 4	0,31 7***	- 0,56 7***	- 0,22 7**	-0,06	0,27 9**	- 0,11 5	- 0,34 6***	- 0,32 0***	- 0,22 9**	- 0,27 3**		
C a+b	- 0,18 1*	- 0,08 2	0,15 2	0,33 7***	- 0,56 4***	- 0,19 6*	- 0,08 1	0,29 4***	- 0,11 2	- 0,34 3***	- 0,31 7***	- 0,23 9**	- 0,16 9*	0,98 2***	

Tableau 3 : Etude des corrélations entre les paramètres étudiés pour l'ensemble des environnements.

	PEP	DM	NPM	NTM	NEM	NESE	NGE	PMG	BTE	BFE	BEE	BE	BA	RR	IR
PEP															
DM	0,859* **														
NPM	0,397* **	0,466* **													
NTM	0,36** *	0,333* **	0,626* **												
NEM	0,333* **	0,304* **	0,586* **	0,709* **											
NESE	-0,005	0,047	-0,288* **	-0,252* **	-0,468* **										
NGE	-0,043	0,206* **	0,028	-0,095	-0,167* *	0,185* *									
PMG	-0,653* **	-0,588* **	-0,332* **	-0,272* *	-0,285* **	-0,081	-0,007								
BTE	-0,149* *	-0,092	0,099	0,107	0,117	-0,160* *	-0,128*	0,429* **							
BFE	-0,092	-0,090	-0,118	-0,062	-0,010	0,013	0,324* **	0,049	-0,184* *						
BEE	-0,432* **	-0,409* **	-0,183* *	-0,240* **	-0,151* *	0,012	0,143*	0,164* *	0,098	0,203* **					
BE	-0,302* **	-0,222* **	-0,018	-0,027	0,008	-0,094	0,045	0,460* **	0,849* **	0,199* *	0,459* **				
BA	-0,380* **	-0,299* **	-0,102	-0,175* *	-0,131* *	-0,086	-0,093	0,584* **	0,552* **	-0,233* **	0,162* *	0,504* **			
RR	-0,353* **	-0,265* **	0,073	-0,026	0,047	-0,200* **	-0,094	0,453* **	0,459* **	-0,340* **	0,114	0,355* **	0,701 ***		
IR	-0,024	0,029	0,259* **	0,184* *	0,344* **	-0,288* **	0,023	-0,059	0,043	-0,125* *	-0,008	-0,034	-0,198 **	0,483* **	
RE	-0,101	0,119* *	0,281* **	0,274* **	0,390* **	-0,204* **	0,653* **	0,281* **	0,252* **	0,198* *	0,047	0,301* **	0,164* **	0,209* **	0,210* **
NTP	-0,123* **	-0,249* **	-0,475* **	0,279* **	0,041	0,055	-0,221* **	0,107	-0,063	0,024	-0,098	-0,094	-0,022	-0,044	-0,092
NEP	-0,157* *	0,280* **	0,536* **	-0,042	0,271* **	-0,139* **	-0,295* **	0,103	-0,024	0,034	0,026	-0,034	0,045	0,049	0,055
PTF	0,006	-0,014	-0,077	-0,391* **	0,282* **	-0,250* **	-0,097	-0,064	-0,027	0,047	0,110	0,006	-0,008	0,027	0,142*
HT	-0,105	0,033	0,061	0,122* *	-0,005	0,007	0,291* **	0,394* **	0,439* **	0,095	-0,096	0,405* **	0,308* **	0,156* *	-0,074
LC	-0,606* **	-0,501* **	-0,291* **	-0,293* **	-0,233* **	0,053	0,342* **	0,550* **	0,208* **	0,277* **	0,234* **	0,346* **	0,269* **	0,195* **	-0,021
LB	-0,214* **	-0,008	-0,268* **	-0,346* **	-0,384* **	0,364* **	0,380* **	0,292* **	0,047	0,162* *	0,148* *	0,169* *	0,198* *	-0,023	-0,209* **
LE	-0,131* *	-0,220* **	-0,068	0,139* *	0,199* *	-0,310* *	0,069	0,215* **	-0,087	0,369* **	-0,017	-0,036	-0,099	-0,103	0,026
NF	-0,118	-0,170* *	-0,090	0,081	-0,060	0,081	-0,028	0,211* **	0,140*	0,264* **	0,064	0,238* **	0,086	-0,100	-0,232* **
PE	-0,310* **	-0,082	-0,124* *	-0,157* *	-0,263* **	0,109	0,786* **	0,494* **	0,172* *	0,276* **	0,138* **	0,300* **	0,222* **	0,168* **	-0,015
PGE	-0,293* **	-0,049	-0,087	-0,157* *	-0,244* **	0,082	0,809* **	0,466* **	0,188* *	0,245* **	0,160* *	0,315* **	0,218* **	0,179* *	0,017
SF	-0,541* **	-0,430* **	-0,477* **	-0,528* **	-0,587* **	0,362* **	0,247* **	0,503* **	0,056	0,093	0,281* **	0,169* **	0,352* **	0,156* **	-0,262* **
C a	0,332* **	0,276* **	0,267* **	0,172* *	0,168* *	-0,044	-0,332* **	-0,230* **	0,300* **	-0,450* **	-0,177* *	0,085	0,122* *	0,142* *	0,035
C b	-0,005	-0,062	-0,074	0,045	0,058	-0,023	0,125* *	-0,279* **	-0,53** *	0,399* **	0,249* **	-0,305* **	-0,427* **	-0,418* **	-0,042
C a+b	0,057	-0,014	-0,024	-0,011	0,093	-0,027	0,071	-0,317* **	-0,468* **	0,317* **	0,218* **	-0,284* **	-0,415* **	-0,396* **	-0,024



Suite de tableau 3 : Etude des corrélations entre les paramètres étudiés pour l'ensemble des environnements.

	RE	NTP	NEP	PTF	HT	LC	LB	LE	NF	PE	PGE	SF	C a	C b	C a+b
PEP															
DM															
NPM															
NTM															
NEM															
NESE															
NGE															
PMG															
BTE															
BFE															
BEE															
BE															
BA															
RR															
IR															
RE															
NTP	-0,117														
NEP	-0,027	0,666***													
PTF	0,076	-0,330***	0,400***												
HT	0,484***	-0,036	-0,172**	-0,251***											
LC	0,376***	0,068	0,055	-0,072	0,543***										
LB	0,204***	-0,072	-0,119	-0,068	0,222***	0,285***									
LE	0,199***	0,227***	0,271***	0,085	0,046	0,119	-0,283***								
NF	0,11	0,125*	-0,019	-0,172**	0,232***	0,124*	0,066	0,214***							
PE	0,703***	-0,103	-0,212***	-0,153*	0,532***	0,547***	0,478***	0,175**	0,129*						
PGE	0,724***	-0,150*	-0,239***	-0,140*	0,539***	0,535***	0,465***	0,126*	0,092	0,987***					
SF	0,053	-0,072	-0,031	-0,110	0,247***	0,446***	0,526***	-0,088	0,148*	0,451***	0,431***				
C a	-0,208***	-0,113	-0,080	0,015	-0,107	-0,323***	-0,190**	-0,288***	-0,189**	-0,374***	-0,337***	-0,301***			
C b	-0,096	0,045	0,113	0,118	-0,345***	-0,035	-0,096	0,266***	-0,029	-0,136*	-0,132*	-0,083	-0,053		
C a+b	-0,119*	0,029	0,099	0,121*	-0,354***	-0,088	-0,131*	0,223***	-0,049	-0,195**	-0,184**	-0,133*	0,121*	0,975***	

## Annexe 5

Tableau 1. Analyse de la variance des caractères mesurés sous les deux régimes.

Caractères Sources de variation	CM								CV% 1	CV% 2
	R (1)	B (3)	Erreur 1 (3)	Total R	G (16)	G x R (16)	Erreur 2 (96)	Total (135)		
PEP	330,47 **	16,37	4,099	55,98* **	2035,41 ***	10,8	9,527	252,19 1	1,91	2,92
DM	181,24 ***	7,438	1,008	29,511	524,172 ***	9,79**	3,499	67,303	0,65	1,20
NEM	278887 ,5*	68442	21885	78552, 64***	197791, 5***	18642, 73	11373,1 3	37812, 12	26,54	19,14
NEP	1390,0 82*	341,14 3	109,08 3	391,53 7***	985,862 ***	92,921	56,688	188,46 9	26,54	19,14
NGE	1730,5 5**	22,78	28,05	269,00 ***	261,52* **	26,94* *	9,644	54,994	17,58	10,30
NESE	409,62 ***	17,02*	1,528	66,47* **	53,93** *	6,12	3,887	13,327	13,52	21,56
PMG	675,95 **	111,67 *	8,185	147,93 ***	256,93* **	26,10	29,33	62,07	6,01	11,37
PTE	12157, 36*	532,1	408,3	2139,8 1	263,12* **	121,34 *	59,953	199,15 2	43,39	16,63
NGP	283498 2*	24873 6	13079 3,3	56765 2,9***	34679,9 7***	29053, 73***	12780,4 4	46075, 79	47,66	14,90
RE	45212, 67**	1056,5 44	705,43	7214,0 9***	1378,9* **	371,16 9	303,067	796,99 3	34,10	22,35
RR	9916,7 1**	364,97 3	291,05	1697,8 3***	171,78* **	99,28* **	34,43	144,64 5	47,10	16,20
BA	20216, 23*	4279,1 33	1368,2 11	5308,3 23	966,506 ***	449,08 6	222,284	601,08 9	36,31	14,64
IR	0,22** *	0,01	0,001	0,04** *	0,02***	0,005	0,003	0,007	9,49	15,87
HT	4695,5 4***	75,283	34,294	717,75 3	277,39* **	100,77 3***	34,545	106,60 2	10,36	10,40
LE	6,28*	0,305	0,631	1,30** *	6,67***	0,32	0,234	1,062	14,00	8,51

LB	12,73	1,148	0,524	2,54** *	17,28** *	0,57	0,454	2,569	6,64	6,18
LC	843,11 **	13,607	6,719	129,15 6	84,95** *	21,93* **	6,412	23,925	14,33	14,00
LAFLA	0,10**	0,001	0,003	0,015	0,16***	0,009	0,013	0,03	6,27	13,92
LAFLO	50,128	9,133	9,039	14,95* *	41,03** *	3,504	3,892	8,82	16,19	10,63
PE	6,017* *	0,258	0,138	1,029* **	0,787** *	0,101	0,072	0,21	24,33	17,54
PGE	4,809* *	0,144	0,147	0,812* **	0,589** *	0,078	0,053	0,159	30,52	18,30
NF	0,095	0,245	0,298	0,247	0,964** *	0,15	0,14	0,244	0,105	0,072
SF	265,83 *	49,68	15,40	65,87* **	107,22* **	3,859	4,422	19,725	21,71	11,64
VR	0,566	233,27 3	167,83 7	171,98 6	1073,79 ***	70,573	128,933	236,23 2	21,36	18,72
BR	3191,2 4**	50,431	84,394	513,67 ***	224,28* **	65,99* **	12,755	70,108	40,43	15,72
RAR	0,068	0,019	0,009	0,022* **	0,012** *	0,005* *	0,002	0,005	42,34	20,13
C a	73,68* *	0,174	1,967	11,44* **	0,76***	0,53** *	0,184	0,878	50,45	15,43
C b	2930,7 4**	11,012	23,454	433,45 ***	40,66** *	23,53* **	4,304	33,143	20,97	8,98
C a+b	3933,7 9**	13,37	38,91	584,38 ***	47,32** *	29,21* **	4,858	42,825	24,11	8,52
SM	17930, 05***	135,53 1	50,719	2641,2 6***	78,88**	90,04* **	29,839	178,19 3	8,76	6,72
TRE	26612, 33***	34,285	27,282	3828,1 5***	66,72**	61,06* *	27,498	233,19 5	6,49	6,52
PRO	10120, 93***	6,416	5,134	1450,8 0***	55,87** *	52,88* **	4,767	91,505	12,98	12,51
TSS	12,84* **	0,01	0,04	1,85** *	0,11***	0,04**	0,017	0,126	12,53	8,80

G : Génotype ; R : Régime ; B : Bloc ; CM : Carrée moyen ; CV : coefficient de variation.

## Annexe 6

Tableau 1 a. Moyennes de la précocité à l'épiaison (jours) des géotypes sous les deux régimes.

Géotypes	Régime irrigué	Régime stressé
Tichedrett	108,5	114,5
Tina	102,25	103,5
Soufara's	92,25	96,5
Acsad176	95,25	99,25
Barberousse	107,25	110,25
Rihane03	94,75	101,75
Rahma	101	108,5
Begonia	148,75	150,5
Plaisant	137,5	138
Jaidor	96	99,25
Express	90,5	95
Tissa	92,75	93
Saïda	108,5	112
Elfoura	96,25	98,75
Elbahia	104,5	108
Barberousse /Chorokhod	108,25	109
Plaisant / Charan01	88,25	87,75

Tableau 1 b. Moyennes de la précocité à l'épiaison (jours) des deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime Stressé	107,382	A	
Régime irrigué	104,265		B

Tableau 2 a. Moyenne de la date de maturité (jours) des génotypes sous régime irrigué et sous stress hydrique.

Régime irrigué					Régime stressé												
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes					Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes								
Begonia	175,75	A					Begonia	178,25	A								
Plaisant	172,25		B				Plaisant	173,75		B							
Barberouss	157,5			C			Barberousse /Chorokhod	162,25			C						
Barberousse /Chorokhod	154,75			C	D		Barberouss	160			C	D					
Tichedrett	154,5			C	D		Tichedrett	159,25			C	D					
Saïda	153,75				D		Saïda	157,5			D	E					
Tina	153				D	E	Acsad176	155,25					E	F			
Jaidor	152,25				D	E	Jaidor	154,25						F	G		
Elbahia	151,5				D	E	Rihane03	153,75						F	G		
Elfoura	151				D	E	Tina	153,5						F	G		
Rihane03	150,5				D	E	Elbahia	153						F	G		
Acsad176	150,5				D	E	Rahma	152,25						F	G		
Express	150,5				D	E	Express	152						F	G		
Rahma	149,5					E	F	Soufara's	150,75						G	H	
Soufara's	149,25					E	F	Elfoura	150,25						G	H	
Tissa	149					E	F	Plaisant / Charan01	148,25							H	I
Plaisant / Charan01	146,25						F	Tissa	146,75								I

Tableau 2 b. Moyennes de la date de maturité (jours) des deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime stressé	156,529	A	
Régime irrigué	154,221		B

Tableau 3 a. Moyennes de nombre d'épis par pot des géotypes sous les deux régimes.

Géotypes	Régime irrigué	Régime stressé
Tichedrett	42,173	39,183
Tina	41,731	35,562
Soufara's	74,804	47,938
Acsad176	38,625	37,769
Barberousse	38,884	36,353
Rihane03	33,447	30,551
Rahma	74	60,692
Begonia	33,942	29,633
Plaisant	31,154	28,274
Jaidor	31,077	28,414
Express	35,184	32,161
Tissa	61,029	43,614
Saïda	38,813	34,75
Elfoura	30,541	22,442
Elbahia	37,067	31,962
Barberousse /Chorokhod	40,866	40
Plaisant / Charan01	39,911	35,25

Tableau 3 b. Moyennes du nombre d'épis par pots de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	42,544	A	
Régime stressé	36,15		B

Tableau 4 a. Moyennes du nombre d'épis par mètre carré des géotypes sous les deux régimes.

Géotypes	Régime irrigué	Régime stressé
Tichedrett	597,352	554,996
Tina	591,087	503,709
Soufara's	1059,541	679,002
Acsad176	547,096	534,975
Barberousse	550,764	514,915
Rihane03	473,745	432,731
Rahma	1048,159	859,664
Begonia	480,769	419,725
Plaisant	441,273	400,483
Jaidor	440,183	402,457
Express	498,358	455,535
Tissa	864,431	617,762
Saïda	549,752	492,21
Elfoura	432,595	317,88
Elbahia	525,033	452,713
Barberousse /Chorokhod	578,83	566,572
Plaisant / Charan01	565,308	499,292

Tableau 4 b. Moyennes du nombre d'épis par mètre carré de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	602,604	A	
Régime stressé	512,036		B

Tableau 5 a. Moyennes du nombre de grains par épi des génotypes sous les deux régimes.

Régime irrigué							Régime stressé									
Genotypes	Moyennes	Groupes homogènes					Genotypes	Moyennes	Groupes homogènes							
Express	43,65	A					Express	36,4	A							
Rihane03	42,25	A	B				Acsad176	35	A	B						
Jaidor	39,2	A	B	C			Elfoura	31,475	A	B	C					
Acsad176	38,25	A	B	C			Plaisant / Charan01	31	A	B	C					
Elfoura	36,8		B	C			Tina	30,7	A	B	C					
Barberouss	36,6		B	C			Elbahia	29,075		B	C	D				
Elbahia	36,5		B	C			Barberouss	28,875		B	C	D				
Saïda	36		B	C	D		Jaidor	28,475		B	C	D	E			
Plaisant	35,108			C	D	E	Rihane03	28,325		B	C	D	E			
Tina	34			C	D	E	Plaisant	25,3			C	D	E	F		
Plaisant / Charan01	33,5			C	D	E	Begonia	23,675				D	E	F	G	
Begonia	33,1			C	D	E	Tichedrett	23,5				D	E	F	G	
Tichedrett	29,75				D	E	F	Barberousse /Chorokhod	22,75				D	E	F	G
Barberousse /Chorokhod	29,25					E	F	Saida	21,875					E	F	G
Rahma	26						F	G	Tissa	19,5					F	G
Soufara's	22							G	Rahma	18,25						G
Tissa	21							G	Soufara's	17,5						G

Tableau 5 b. Moyennes du nombre de grains par épi de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	33,703	A	
Régime stressé	26,569		B



Tableau 6 a. Moyennes du nombre de grains par pot des géotypes sous les deux régimes.

Régime irrigué					Régime stressé				
Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes				Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes	
Tina	1094,625	A				Plaisant	755,404	A	
Elbahia	1067,957	A	B			Acsad176	740,789	A	
Soufara's	1022,804	A	B	C		Plaisant / Charan01	691	A	B
Express	970,284	A	B	C	D	Tina	667,429	A	B
Rahma	965,286	A	B	C	D	Express	657,089	A	B
Acsad176	945,768	A	B	C	D	Tissa	644,103	A	B
Rihane03	926,197	A	B	C	D	Rihane03	617,646	A	B
Barberouss	913,018	A	B	C	D	Begonia	605,859	A	B
Saïda	883,866	A	B	C	D	Barberouss	600,127	A	B
Tissa	881,043	A	B	C	D	Jaidor	599,099	A	B
Tichedrett	862,673	A	B	C	D	Elbahia	598,683	A	B
Plaisant	850,116	A	B	C	D	Elfoura	597,135	A	B
Plaisant / Charan01	831,107	A	B	C	D	Barberousse /Chorokhod	580,625	A	B
Jaidor	826,539	A	B	C	D	Rahma	573,923	A	B
Barberousse/Chorokhod	805,322		B	C	D	Soufara's	572,125	A	B
Begonia	780,923			C	D	Tichedrett	488,36	A	B
Elfoura	726,562				D	Saïda	455,789		B

Tableau 6 b. Moyennes du nombre de grains par pot de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	903,182	A	
Régime stressé	614,423		B

Tableau 7 a. Moyennes du nombre d'épillets stériles par épi des géotypes sous les deux régimes.

Géotypes	Régime irrigué	Régime stressé
Tichedrett	9,425	11,225
Tina	5,7	8,434
Soufara's	2,825	6,825
Acsad176	7,973	10,65
Barberousse	7,925	12,975
Rihane03	6,575	13,525
Rahma	3,5	5,725
Begonia	11,625	12,6
Plaisant	9,975	14,975
Jaidor	7,45	11,575
Express	6,525	12,25
Tissa	2,975	4,5
Saïda	7,225	11,25
Elfoura	8,65	12,021
Elbahia	9,8	14,075
Barberousse /Chorokhod	9,475	9,9
Plaisant / Charan01	8,325	12,45

Tableau 7 b. Moyennes du nombre d'épillets stériles par épi de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime stressé	10,88	A	
Régime irrigué	7,409		B

Tableau 8 a. Moyennes du poids de mille grains (g) des génotypes sous les deux régimes.

Génotypes	Régime irrigué	Régime stressé
Tichedrett	54,337	47,438
Tina	50,659	49,764
Soufara's	44,867	39,029
Acsad176	48,948	45,267
Barberousse	49,743	40,28
Rihane03	51,112	46,744
Rahma	43,304	41,295
Begonia	34,374	32,837
Plaisant	41,952	41,734
Jaidor	53,502	47,408
Express	52,082	46,623
Tissa	47,359	47,269
Saïda	59,985	51,616
Elfoura	63,62	50,789
Elbahia	53,09	51,942
Barberousse /Chorokhod	51,665	46,1
Plaisant / Charan01	46,893	45,555

Tableau 8 b. Moyennes du poids de mille grains (g) de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	49,852	A	
Régime stressé	45,393		B

Tableau 9 a. Moyennes du rendement réel (g) par pot des géotypes sous les deux régimes.

Régime irrigué						Régime stressé			
Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes				Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes	
Elbahia	56,656	A				Acsad176	33,451	A	
Tina	54,703	A	B			Tina	33,124	A	
Saïda	52,751	A	B	C		Plaisant	31,583	A	
Express	50,225	A	B	C		Plaisant / Charan01	31,573	A	
Rihane03	47,368	A	B	C	D	Elbahia	30,962	A	
Tichedrett	47,064	A	B	C	D	Express	30,532	A	
Acsad176	45,99	A	B	C	D	Tissa	30,435	A	
Soufara's	45,872	A	B	C	D	Elfoura	29,747	A	
Barberouss	45,051	A	B	C	D	Rihane03	28,488	A	
Jaidor	44,181	A	B	C	D	Jaidor	27,444	A	
Elfoura	43,894	A	B	C	D	Barberousse /Chorokhod	26,821	A	
Barberousse /Chorokhod	42,194		B	C	D	Barberouss	24,728	A	
Rahma	41,744		B	C	D	Rahma	23,677	A	
Tissa	41,506		B	C	D	Saïda	23,345	A	
Plaisant / Charan01	38,839			C	D	Tichedrett	23,037	A	
Plaisant	35,571				D	E	Soufara's	21,781	A
Begonia	27,363					E	Begonia	19,916	A

Tableau 9 b. Moyennes du rendement réel (g) par pot de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	44,763	A	
Régime stressé	27,685		B

Tableau 10 a. Moyennes de la biomasse aérienne (g) par pot des génotypes sous les deux régimes.

Régime irrigué						Régime stressé			
Génotypes	moyennes	Groupes homogènes				Génotypes	moyennes	Groupes homogènes	
Elbahia	142,765	A				Rahma	101,443	A	
Saïda	141,518	A	B			Barberouss	99,09	A	
Tina	133,87	A	B	C		Plaisant	97,348	A	
Tichedrett	132,885	A	B	C		Saïda	94,705	A	
Barberousse / Chorokhod	126,298	A	B	C	D	Soufara's	94,375	A	
Barberouss	123,973	A	B	C	D	Acsad176	93,846	A	
Elfoura	112,28	A	B	C	D	E	Tichedrett	92,892	A
Acsad176	111,786	A	B	C	D	E	Elfoura	91,827	A
Jaidor	109,423	A	B	C	D	E	Barberousse /Chorokhod	91,338	A
Soufara's	108,929	A	B	C	D	E	Elbahia	88,39	A
Plaisant	107,831		B	C	D	E	Jaidor	88,173	A
Rahma	105,893			C	D	E	Tina	86,319	A
Tissa	105,361			C	D	E	Rihane03	85,536	A
Rihane03	102,545			C	D	E	Express	84,777	A
Express	102,497			C	D	E	Tissa	84,506	A
Begonia	92,039				D	E	Begonia	76,242	A
Plaisant / Charan01	79,197					E	Plaisant / Charan01	73,75	A

Tableau 10 b. Moyennes de la biomasse aérienne (g) de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	114,064	A	
Régime stressé	89,68		B

Tableau 11 a. Moyennes du rendement estimé (q/ha) par hectare des génotypes.

Génotypes	Régime irrigué	Régime stressé
Tichedrett	94,246	59,842
Tina	102,373	77,829
Soufara's	103,561	45,272
Acsad176	102,417	82,122
Barberousse	99,823	61,029
Rihane03	102,227	56,739
Rahma	117,077	65,511
Begonia	55,493	32,127
Plaisant	66,106	43,816
Jaidor	92,296	50,722
Express	112,605	77,837
Tissa	86,516	57,38
Saïda	117,798	55,402
Elfoura	102,355	51,016
Elbahia	101,851	67,914
Barberousse /Chorokhod	90,167	59,302
Plaisant / Charan01	87,188	70,313

Tableau 11 b. Moyennes du rendement estimé (g) de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	96,123	A	
Régime stressé	59,657		B

Tableau 12 a. Moyennes de l'indice de récolte des génotypes.

Génotypes	Régime irrigué	Régime stressé
Tichedrett	0,35	0,258
Tina	0,411	0,391
Soufara's	0,428	0,244
Acsad176	0,416	0,368
Barberouss	0,364	0,247
Rihane03	0,464	0,341
Rahma	0,397	0,236
Begonia	0,292	0,273
Plaisant	0,331	0,326
Jaidor	0,411	0,336
Express	0,489	0,364
Tissa	0,401	0,358
Saïda	0,37	0,248
Elfoura	0,393	0,325
Elbahia	0,404	0,35
Barberousse /Chorokhod	0,329	0,293
Plaisant / Charan01	0,496	0,427

Tableau 12 b. Moyennes de l'indice de récolte de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	0,397	A	
Régime stressé	0,317		B

Tableau 13 a. Moyennes de la hauteur de la tige (cm) des génotypes sous les deux régimes.

Régime irrigué						Régime stressé					
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes				Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes			
Saïda	76,575	A				Tina	65,725	A			
Tina	72,613	A	B			Plaisant / Charan01	57,363		B		
Tichedrett	67,285	A	B	C		Express	54,788		B		
Elbahia	66,35	A	B	C	D	Elfoura	53,713		B		
Barberouss	65,765	A	B	C	D	Tissa	53,563		B		
Barberousse /Chorokhod	65,587	A	B	C	D	Jaidor	52,638		B		
Plaisant	65,408	A	B	C	D	Plaisant	52,295		B		
Jaidor	65,025	A	B	C	D	Acsad176	51,225		B		
Express	64,963	A	B	C	D	Saïda	50,375		B	C	
Acsad176	64,925	A	B	C	D	Soufara's	49,763		B	C	
Elfoura	61,793		B	C	D	Barberouss	48,963		B	C	
Rihane03	59,788		B	C	D	Elbahia	47,225		B	C	
Plaisant / Charan01	57,723			C	D	Barberousse /Chorokhod	46,825		B	C	
Tissa	55,063			C	D	E	Tichedrett	46,613		B	C
Soufara's	53,913			C	D	E	Rahma	46,39		B	C
Rahma	52,258				D	E	Rihane03	46,075		B	C
Begonia	45,6					E	Begonia	37,315			C

Tableau 13 b. Moyennes de la hauteur de la tige (cm) de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	62,39	A	
Régime stressé	50,638		B



Tableau 14 a. Moyennes de la longueur de l'épi (cm) des géotypes sous les deux régimes.

Géotypes	Régime irrigué	Régime stressé
Tichedrett	4,763	4,385
Tina	5,565	4,873
Soufara's	7,183	7,15
Acsad176	5,575	5,138
Barberouss	5,712	4,985
Rihane03	5,815	5,5
Rahma	7,438	6,828
Begonia	4,515	3,804
Plaisant	6,033	4,878
Jaidor	4,913	4,813
Express	5,165	5,158
Tissa	6,975	6,95
Saïda	6,018	4,988
Elfoura	6,4	6,363
Elbahia	7,273	6,3
Barberousse /Chorokhod	4,913	4,85
Plaisant / Charan01	5,89	5,875

Tableau 14 b. Moyennes de la longueur de l'épi (cm) de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes
Régime irrigué	5,891	A
Régime stressé	5,461	A

Tableau 15 a. Moyennes de la longueur des barbes (cm) des géotypes sous les deux régimes.

Géotypes	Régime irrigué	Régime stressé
Tichedrett	14,11	13,283
Tina	10,895	10,52
Soufara's	8,95	8,495
Acsad176	9,993	9,475
Barberouss	11,728	11,372
Rihane03	10,723	10,623
Rahma	7,845	7,705
Begonia	11,573	10,173
Plaisant	12,898	11,593
Jaidor	12,213	12,198
Express	11,51	11,313
Tissa	9,155	8,893
Saïda	11,893	10,365
Elfoura	12,213	11,62
Elbahia	11,258	10,535
Barberousse /Chorokhod	13,055	11,473
Plaisant / Charan01	10,578	10,55

Tableau 15 b. Moyennes de la longueur des barbes (cm) de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	11,211	A	
Régime stressé	10,599		B

Tableau 16 a. Moyennes de la longueur du dernier entre-nœud (cm) des géotypes sous les deux régimes.

Régime irrigué							Régime stressé						
Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes					Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes				
Saïda	26,638	A					Tina	23,963	A				
Tina	25,125	A	B				Plaisant / Charan01	20,538	A	B			
Barberouss	24,538	A	B				Barberousse /Chorokhod	18,188		B	C		
Acsad176	23,54	A	B	C			Acsad176	17,288		B	C	D	
Tichedrett	23,353	A	B	C			Tissa	16,933		B	C	D	
Express	22,8	A	B	C	D		Jaidor	16,895		B	C	D	
Plaisant / Charan01	21,85	A	B	C	D		Barberouss	16,585		B	C	D	
Barberousse /Chorokhod	21,813	A	B	C	D		Saïda	16,025		B	C	D	
Rihane03	21,658	A	B	C	D		Plaisant	14,795			C	D	E
Jaidor	21,375	A	B	C	D		Soufara's	14,5			C	D	E
Elbahia	20,138		B	C	D	E	Express	14,475			C	D	E
Plaisant	18,723			C	D	E	Tichedrett	14,02			C	D	E
Elfoura	18,105			C	D	E	Rihane03	13,838			C	D	E
Tissa	17,338				D	E	Elfoura	12,975			C	D	E
Rahma	15,625					E F	Elbahia	12,663			C	D	E
Soufara's	15,138					E F	Begonia	11,255				D	E
Begonia	12,035					F	Rahma	10,2					E

Tableau 16 b. Moyennes de la longueur du dernier entre-noeud (cm) de deux régimes

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	20,576	A	
Régime stressé	15,596		B

Tableau 17 a. Moyennes du poids de l'épi (g) des génotypes sous les deux régimes.

Génotypes	Régime irrigué	Régime stressé
Tichedrett	1,834	1,074
Tina	1,963	1,438
Soufara's	1,093	0,92
Acsad176	1,987	1,332
Barberouss	2,043	1,333
Rihane03	1,986	1,628
Rahma	0,995	0,827
Begonia	1,555	0,951
Plaisant	1,939	1,316
Jaidor	1,938	1,484
Express	1,922	1,648
Tissa	1,066	0,964
Saïda	1,79	1,185
Elfoura	2,055	2,021
Elbahia	1,952	1,574
Barberousse /Chorokhod	1,751	1,281
Plaisant / Charan01	1,667	1,409

Tableau 17 b. Moyennes du poids de l'épi (g) de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	1,737	A	
Régime stressé	1,317		B

Tableau 18 a. Moyennes du poids de grains de l'épi (g) de deux régimes.

Génotypes	Régime irrigué	Régime stressé
Tichedrett	1,453	0,782
Tina	1,699	1,214
Soufara's	0,934	0,746
Acsad176	1,685	1,124
Barberouss	1,639	0,938
Rihane03	1,723	1,35
Rahma	0,842	0,69
Begonia	1,053	0,821
Plaisant	1,645	1,058
Jaidor	1,657	1,217
Express	1,677	1,399
Tissa	0,915	0,8
Saïda	1,447	0,89
Elfoura	1,693	1,632
Elbahia	1,646	1,271
Barberousse /Chorokhod	1,381	1,004
Plaisant / Charan01	1,435	1,198

Tableau 18 b. Moyennes du poids de grains de l'épi (g) de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	1,443	A	
Régime stressé	1,067		B

Tableau 19 a. Moyennes du poids total des épis (g) des génotypes.

Régime irrigué						Régime stressé			
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes				Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	
Elbahia	70,832	A				Jaidor	45,743	A	
Saïda	66,823	A	B			Barberouss	42,54	A	B
Tina	65,232	A	B			Acsad176	41,932	A	B
Rihane03	61,41	A	B	C		Tina	41,267	A	B
Express	61,029	A	B	C		Elbahia	41,033	A	B
Soufara's	58,642	A	B	C		Elfoura	39,257	A	B
Barberousse /Chorokhod	57,706	A	B	C		Plaisant / Charan01	39,21	A	B
Barberouss	57,506	A	B	C		Express	38,482	A	B
Tichedrett	56,701	A	B	C		Barberousse /Chorokhod	37,297	A	B
Elfoura	55,217	A	B	C		Rihane03	37,289	A	B
Acsad176	54,703	A	B	C		Tissa	36,226	A	B
Jaidor	54,203	A	B	C		Plaisant	35,475	A	B
Rahma	52,963	A	B	C		Tichedrett	33,726	A	B
Tissa	50,064		B	C	D	Saïda	33,245	A	B
Plaisant / Charan01	49,735		B	C	D	Rahma	32,566	A	B
Plaisant	43,63			C	D	Soufara's	30,018	A	B
Begonia	35,961				D	Begonia	25,587		B

Tableau 19 b. Moyennes du poids total des épis (g) de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	56,021	A	
Régime stressé	37,111		B

Tableau 20 a. Moyennes du nombre de feuilles par tige principale des géotypes sous les deux régimes.

Géotypes	Régime irrigué	Régime stressé
Tichedrett	5,15	4,65
Tina	5,55	5,55
Soufara's	5,05	4,8
Acsad176	5	4,9
Barberouss	4,8	4,9
Rihane03	4,95	5
Rahma	5,05	5,35
Begonia	5,9	5,75
Plaisant	5,75	5,4
Jaidor	4,85	5,35
Express	4,85	5,15
Tissa	5	4,9
Saïda	5,9	5,4
Elfoura	5,2	5,35
Elbahia	5,85	5,8
Barberousse /Chorokhod	5,25	5,05
Plaisant / Charan01	4,85	4,75

Tableau 20 b. Moyennes du nombre de feuilles par tige principale de deux régimes.

Régimes	Moyennes
Régime irrigué	5,232
Régime stressé	5,179

Tableau 21 a. Moyennes de la longueur de feuille la plus longue (cm) des géotypes.

Géotypes	Régime irrigué	Régime stressé
Tichedrett	20,778	20,136
Tina	20,714	20,653
Soufara's	15,822	15,817
Acsad176	19,003	18,414
Barberouss	23,539	20,209
Rihane03	17,861	17,595
Rahma	15,278	14,809
Begonia	18,141	14,992
Plaisant	17,003	16,528
Jaidor	19,608	18,772
Express	18,403	17,522
Tissa	18,125	15,273
Saïda	20,478	19,903
Elfoura	19,034	18,767
Elbahia	21,272	20,186
Barberousse /Chorokhod	22,928	22,128
Plaisant / Charan01	17,956	13,6

Tableau 21 b. Moyennes de la longueur de feuille la plus longue (cm) de deux régimes.

Régimes	Moyennes
Régime irrigué	19,173
Régime stressé	17,959



Tableau 22 a. Moyenne de largeur de feuille (cm) la plus large des génotypes sous les deux régimes.

Génotypes	Régime irrigué	Régime stressé
Tichedrett	1,011	0,903
Tina	0,831	0,823
Soufara's	0,594	0,561
Acsad176	0,698	0,681
Barberouss	0,779	0,755
Rihane03	0,75	0,742
Rahma	0,619	0,603
Begonia	1,025	0,974
Plaisant	1,159	0,94
Jaidor	0,891	0,867
Express	0,828	0,745
Tissa	0,639	0,628
Saïda	0,967	0,943
Elfoura	1,064	0,86
Elbahia	0,908	0,85
Barberousse /Chorokhod	0,892	0,883
Plaisant / Charan01	0,767	0,761

Tableau 22 b. Moyenne de la largeur de feuille (cm) la plus large de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	0,848	A	
Régime stressé	0,795		B

Tableau 23 a. Moyennes de la surface foliaire (cm<sup>2</sup>) des géotypes sous les deux régimes.

Géotypes	Régime irrigué	Régime stressé
Tichedrett	23,877	20,354
Tina	22,35	18,18
Soufara's	15,29	10,641
Acsad176	17,814	17,608
Barberouss	21,95	19,052
Rihane03	19,565	17,957
Rahma	13,783	11,954
Begonia	18,912	15,08
Plaisant	19,018	16,995
Jaidor	18,954	17,311
Express	18,525	15,65
Tissa	14,817	10,871
Saïda	21,972	18,345
Elfoura	22,576	21,378
Elbahia	26,415	20,946
Barberousse /Chorokhod	22,578	20,412
Plaisant / Charan01	12,577	10,703

Tableau 23 b. Moyennes de la surface foliaire (cm<sup>2</sup>) de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	19,469	A	
Régime stressé	16,673		B

Tableau 24 a. Moyennes de volume racinaire (cm<sup>3</sup>) des géotypes sous les deux régimes.

Géotypes	Régime irrigué	Régime stressé
Tichedrett	77,019	77,527
Tina	67,236	73,002
Soufara's	55,446	55,625
Acsad176	68,839	59,904
Barberouss	80,447	79,464
Rihane03	54,643	54,437
Rahma	54,375	48,269
Begonia	59,808	61,865
Plaisant	56,923	62,188
Jaidor	47,981	50,137
Express	45,811	47,991
Tissa	48,918	42,727
Saïda	79,241	83,819
Elfoura	67,116	65,289
Elbahia	67,043	57,164
Barberousse /Chorokhod	53,293	67,813
Plaisant / Charan01	45,893	45

Tableau 24 b. Moyennes de volume racinaire (cm<sup>3</sup>) de deux régimes.

Régimes	Moyennes
Régime irrigué	60,59
Régime stressé	60,719

Tableau 25 a. Moyennes de la biomasse racinaire (g) des génotypes.

Régime irrigué							Régime stressé							
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes					Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes					
Saïda	46,118	A					Tichedrett	25,039	A					
Barberouss	37,128		B				Barberousse /Chorokhod	24,813	A					
Tichedrett	33,094		B	C			Barberouss	24,06	A					
Elbahia	32,353		B	C			Rihane03	21,89	A	B				
Tina	31,068		B	C	D		Saïda	21,016	A	B				
Acsad176	29,008			C	D	E	Express	20,289	A	B	C			
Express	28,558			C	D	E	Elfoura	19,343	A	B	C			
Rihane03	28,021			C	D	E	Tina	18,208	A	B	C	D		
Elfoura	27,051			C	D	E	Jaidor	18,067	A	B	C	D		
Barberousse /Chorokhod	26,225			C	D	E	F	Acsad176	17,765	A	B	C	D	
Rahma	26,045			C	D	E	F	Begonia	15,854		B	C	D	
Soufara's	24,016				D	E	F	G	Soufara's	15,103		B	C	D
Begonia	22,206					E	F	G	Elbahia	14,275		B	C	D
Tissa	21,642					E	F	G	Rahma	14,177		B	C	D
Jaidor	19,31						F	G	Plaisant	12,191			C	D
Plaisant / Charan01	18,701						F	G	Tissa	11,013				D
Plaisant	18,093						G	Plaisant / Charan01	10,835					D

Tableau 25 b. Moyennes de la biomasse racinaire (g) de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	27,567	A	
Régime stressé	17,879		B

Tableau 26 a. Moyennes du rapport racinaire des géotypes sous les deux régimes.

Régime irrigué						Régime stressé						
Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes				Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes				
Saïda	0,33	A				Barberousse /Chorokhod	0,275	A				
Barberouss	0,3	A	B			Tichedrett	0,272	A				
Express	0,285	A	B	C		Rihane03	0,262	A	B			
Rihane03	0,285	A	B	C		Express	0,252	A	B	C		
Acsad176	0,271	A	B	C	D	Barberouss	0,243	A	B	C	D	
Tichedrett	0,261	A	B	C	D	Saïda	0,222	A	B	C	D	E
Rahma	0,257	A	B	C	D	Begonia	0,215	A	B	C	D	E
Elfoura	0,245	A	B	C	D	Elfoura	0,214	A	B	C	D	E
Tina	0,242	A	B	C	D	Jaidor	0,214	A	B	C	D	E
Begonia	0,242	A	B	C	D	Tina	0,208	A	B	C	D	E
Plaisant / Charan01	0,24	A	B	C	D	Acsad176	0,191	A	B	C	D	E
Elbahia	0,232	A	B	C	D	Elbahia	0,163		B	C	D	E
Soufara's	0,225	A	B	C	D	Soufara's	0,156			C	D	E
Tissa	0,221	A	B	C	D	Plaisant / Charan01	0,147			C	D	E
Barberousse /Chorokhod	0,209		B	C	D	Rahma	0,141				D	E
Jaidor	0,181			C	D	Tissa	0,129					E
Plaisant	0,171				D	Plaisant	0,126					E

Tableau 26 b. Moyennes du( rapport racinaire de deux régimes.

Régimes	Moyennes
Régime irrigué	0,247
Régime stressé	0,202

Tableau 27 a. Moyennes de la teneur relative en eau (%) des feuilles des génotypes étudiés.

Régime irrigué			Régime stressé			
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	
Tina	96,613	A	Rahma	77,571	A	
Barberouss	96,341	A	Elfoura	72,705	A	B
Rahma	95,856	A	Plaisant / Charan01	72,532	A	B
Soufara's	95,821	A	Acsad176	70,281	A	B
Tissa	95,425	A	Tichedrett	68,855	A	B
Plaisant	95,193	A	Rihane03	68,646	A	B
Tichedrett	94,484	A	Tina	67,884	A	B
Jaidor	94,435	A	Express	67,422	A	B
Rihane03	94,432	A	Barberouss	67,149	A	B
Acsad176	94,139	A	Barberousse/ Chorokhod	65,955	A	B
Elbahia	93,932	A	Saïda	65,941	A	B
Express	93,758	A	Jaidor	65,024		B
Saïda	93,752	A	Tissa	63,591		B C
Plaisant / Charan01	93,582	A	Plaisant	61,167		B C
Barberousse/Chorokhod	93,324	A	Soufara's	61,022		B C
Begonia	92,687	A	Elbahia	60,851		B C
Elfoura	92,294	A	Begonia	53,863		C

Tableau 27 b. Moyennes de la teneur relative en eau (%) de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	94,475	A	
Régime stressé	66,497		B

Tableau 28 a. Moyennes de la stabilité membranaire (%) des génotypes.

Régime irrigué			Régime stressé					
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes			
Barberousse /Chorokhod	96,617	A	Tissa	79,142	A			
Begonia	94,917	A	Acsad176	77,676	A			
Tina	94,199	A	Barberousse /Chorokhod	75,724	A	B		
Soufara's	93,598	A	Tina	75,665	A	B		
Saïda	93,587	A	Tichedrett	74,19	A	B	C	
Express	93,466	A	Rihane03	73,253	A	B	C	
Acsad176	92,921	A	Rahma	71,563	A	B	C	
Rihane03	92,872	A	Plaisant / Charan01	70,578	A	B	C	
Elfoura	92,614	A	Barberouss	69,993	A	B	C	
Tichedrett	92,409	A	Plaisant	69,859	A	B	C	
Elbahia	92,123	A	Elfoura	69,152	A	B	C	
Jaidor	91,9	A	Soufara's	67,482	A	B	C	
Plaisant / Charan01	91,566	A	Saïda	67,297	A	B	C	
Rahma	91,329	A	Jaidor	65,936	A	B	C	
Plaisant	91,142	A	Express	64,099		B	C	
Tissa	91,121	A	Elbahia	61,842			C	
Barberouss	91,056	A	Begonia	53,594				D

Tableau 28 b. Moyennes de la stabilité membranaire (%) de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	92,79	A	
Régime stressé	69,826		B

Tableau 29 a. Moyennes de la teneur en chlorophylle *a* (mg/g) des génotypes.

Régime irrigué					Régime stressé			
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes			Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes	
Barberouss	4,628	A			Barberouss	2,757	A	
Rahma	3,896		B		Rahma	2,623	A	B
Express	3,847		B		Elbahia	2,381	A	B
Plaisant / Charan01	3,797		B	C	Acsad176	2,337	A	B
Barberousse /Chorokhod	3,777		B	C	Tina	2,211	A	B
Plaisant	3,741		B	C	Tichedrett	2,168	A	B
Jaidor	3,698		B	C	Soufara's	2,09	A	B
Saïda	3,67		B	C	Tissa	2,015	A	B
Rihane03	3,621		B	C	Express	1,964	A	B
Tichedrett	3,607		B	C	Rihane03	1,954	A	B
Tissa	3,294		B	C	Plaisant / Charan01	1,857	A	B
Tina	3,286		B	C	Elfoura	1,855	A	B
Begonia	3,193		B	C	Saida	1,763	A	B
Soufara's	3,104		B	C	Begonia	1,744	A	B
Elbahia	3,057		B	C	Jaidor	1,704	A	B
Acsad176	2,79			C	Plaisant	1,689		B
Elfoura	2,771			C	Barberousse /Chorokhod	1,638		B

Tableau 29 b. Moyennes de la teneur en chlorophylle *a* (mg/g) de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	3,516	A	
Régime stressé	2,044		B



Tableau 30 a. Moyennes de la teneur en chlorophylle *b* (mg/g) des géotypes.

Régime irrigué					Régime stressé				
Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes			Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes		
Barberouss	34,737	A			Jaidor	23,273	A		
Jaidor	30,754		B		Acsad176	21,007	A	B	
Plaisant / Charan01	30,739		B		Rahma	20,402	A	B	C
Express	29,97		B	C	Soufara's	20,129	A	B	C
Saïda	29,902		B	C	Rihane03	20,106	A	B	C
Tissa	29,716		B	C	Tissa	19,994	A	B	C
Plaisant	28,738		B	C	Saïda	19,592	A	B	C
Barberousse /C horokhod	28,577		B	C	Express	19,241	A	B	C
Soufara's	27,588		B	C	Barberouss	18,955	A	B	C
Rihane03	27,3		B	C	Plaisant / Charan01	18,656	A	B	C
Tichedrett	27,169		B	C	Elfoura	18,215		B	C
Rahma	27,13		B	C	Tichedrett	16,716		B	C
Tina	25,539			C	Begonia	16,588		B	C
Begonia	23,717			D	Tina	15,524			C
Elbahia	23,699			D	Elbahia	15,386			D
Acsad176	23,239			D	Plaisant	15,034			
Elfoura	22,96			D	Barberousse/Chorok hod	14,824			

Tableau 30 b. Moyennes de la teneur en chlorophylle *b* (mg/g) des géotypes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	27,734	A	
Régime stressé	18,449		B

Tableau 31 a. Moyennes de la teneur en chlorophylle  $a+b$  (mg/g) des génotypes.

Régime irrigué						Régime stressé							
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes				Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes					
Barberouss	39,366	A				Jaidor	24,977	A					
Plaisant / Charan01	34,535		B			Acsad176	23,344	A	B				
Jaidor	34,452		B			Rahma	23,024	A	B	C			
Express	33,817		B	C		Soufara's	22,219	A	B	C			
Saïda	33,572		B	C		Rihane03	22,059	A	B	C			
Tissa	33,01		B	C		Tissa	22,01	A	B	C			
Plaisant	32,479		B	C		Barberouss	21,712	A	B	C	D		
Barberousse/ Chorokhod	32,354		B	C		Saïda	21,355	A	B	C	D	E	
Rahma	31,026		B	C	D	Express	21,205	A	B	C	D	E	
Rihane03	30,921		B	C	D	Plaisant / Charan01	20,512	A	B	C	D	E	
Tichedrett	30,776		B	C	D	Elfoura	20,07	A	B	C	D	E	
Soufara's	30,692		B	C	D	Tichedrett	18,884		B	C	D	E	
Tina	28,825			C	D	E	Begonia	18,332		B	C	D	E
Begonia	26,91				D	E	Elbahia	17,767			C	D	E
Elbahia	26,756				D	E	Tina	17,734			C	D	E
Acsad176	26,029					E	Plaisant	16,723				D	E
Elfoura	25,73					E	Barberousse /Chorokhod	16,462					E

Tableau 31 b. Moyennes de la teneur en chlorophylle  $a+b$  (mg/g) des génotypes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	31,25	A	
Régime stressé	20,494		B

Tableau 32 a. Moyennes de la teneur en proline ( $\mu\text{g} / 100 \text{ mg}$ ) des géotypes.

Régime irrigué				Régime stressé									
Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes		Géotypes	Moyennes	Groupes homogènes							
Barberouss	11,858	A		Barberouss e / Chorokhod	34,612	A							
Rahma	10,853	A	B	Jaidor	33,253	A	B						
Saïda	10,558	A	B	Plaisant / Charan01	30,357		B	C					
Tissa	10,381	A	B	Soufara's	30,357		B	C					
Rihane03	10,203	A	B	Barberouss	29,825		B	C					
Jaidor	10,085	A	B	Tichedrett	29,116		B	C	D				
Tina	9,553	A	B	Tissa	27,283			C	D	E			
Express	8,785	A	B	Rihane03	27,225			C	D	E			
Elbahia	8,726	A	B	Saïda	25,333				D	E	F		
Soufara's	8,489	A	B	Acsad176	25,215				D	E	F		
Plaisant / Charan01	8,489	A	B	Express	24,388					E	F		
Plaisant	8,017	A	B	Elfoura	24,269					E	F		
Begonia	7,603	A	B	Elbahia	22,851					E	F		
Tichedrett	7,189	A	B	Rahma	22,573					E	F		
Acsad176	6,876	A	B	Tina	22,26						F		
Elfoura	6,303		B	Begonia	18,188								G
Barberousse / Chorokhod	6,125		B	Plaisant	16,291								G

Tableau 32 b. Moyennes de la teneur en proline ( $\mu\text{g} / 100 \text{ mg}$ ) de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime stressé	26,082	A	
Régime irrigué	8,829		B

Tableau 33 a. Moyennes de la teneur en sucres solubles (mg / 100 mg) des génotypes.

Régime irrigué					Régime stressé				
Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes			Génotypes	Moyennes	Groupes homogènes		
Rahma	1,426	A			Acsad176	1,944	A		
Jaidor	1,377	A	B		Plaisant / Charan01	1,938	A		
Plaisant	1,359	A	B		Elfoura	1,929	A		
Tichedrett	1,301	A	B		Rahma	1,914	A		
Plaisant / Charan01	1,273	A	B		Tissa	1,886	A		
Elbahia	1,221	A	B	C	Elbahia	1,844	A		
Begonia	1,219	A	B	C	Jaidor	1,843	A		
Barberouss	1,203	A	B	C	Saïda	1,838	A		
Saïda	1,188	A	B	C	Tichedrett	1,804	A		
Soufara's	1,182	A	B	C	Barberouss	1,798	A		
Barberousse/ Chorokhod	1,17	A	B	C	D	Soufara's	1,743	A	B
Tissa	1,136	A	B	C	D	Rihane03	1,74	A	B
Elfoura	1,121	A	B	C	D	Begonia	1,727	A	B
Rihane03	1,099		B	C	D	Plaisant	1,725	A	B
Acsad176	0,947			C	D	Barberousse /Chorokhod	1,715	A	B
Express	0,944			C	D	Express	1,642	A	B
Tina	0,893				D	Tina	1,478		B

Tableau 33 b. Moyennes de la teneur en sucres solubles (mg / 100 mg) de deux régimes.

Régimes	Moyennes	Groupes homogènes	
Régime irrigué	1,794	A	
Régime stressé	1,18		B