

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة ابن خلدون تيارت
UNIVERSITE IBN KHALDOUN DE TIARET

Faculté des sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie

Thèse

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de:

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière: **Biologie**

Spécialité: **Adaptation et productivité des plantes cultivées**

Par:

ZERROUKI Mimouna

Intitulé:

L'effet de l'évitement et de la tolérance sur la productivité de l'orge soumis sous stress hydrique

Soutenu le: 12/11/2020

Devant le jury composé de:

Président:	MEDERBAL Khalladi	Professeur	Université de Tiaret
Promoteur:	REGAGBA Zineb	Professeur	Université de Tiaret
Co-Promoteur:	ADDA Ahmed	Professeur	Université de Tiaret
Examineur:	BELKHODJA Moulay	Professeur	Université d'Oran1
Examineur:	LOTMANI Brahim	Professeur	Université de Mostaganem
Examineur:	REZZOUG Waffa O/El Kheir	Professeur	Université de Tiaret

Année Universitaire: 2019-2020

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة ابن خلدون تيارت

UNIVERSITE IBN KHALDOUN DE TIARET

Faculté des sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie

Thèse

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de:

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière: **Biologie**

Spécialité: **Adaptation et productivité des plantes cultivées**

Par:

ZERROUKI Mimouna

Intitulé:

L'effet de l'évitement et de la tolérance sur la productivité de l'orge soumis sous stress hydrique

Soutenu le: 12/11/2020

Devant le jury composé de:

Président:	MEDERBAL Khalladi	Professeur	Université de Tiaret
Promoteur:	REGAGBA Zineb	Professeur	Université de Tiaret
Co-Promoteur:	ADDA Ahmed	Professeur	Université de Tiaret
Examineur:	BELKHODJA Moulay	Professeur	Université d'Oran1
Examineur:	LOTMANI Brahim	Professeur	Université de Mostaganem
Examineur:	REZZOUG Waffa O/El Kheir	Professeur	Université de Tiaret

Année Universitaire: 2019-2020

Dédicace

A mes parents, je vous rends hommage par ce modeste travail en guise de ma reconnaissance et de mon infini amour.

A mon très chère mari pour sa patience et son encouragement qui m'ont aidée à surmonter toutes les difficultés rencontrées au cours de cette vie commune.

A mes adorables enfants Baraa, Meriem et Mohammed Adam.

A mes très chers frères.

A toute ma famille et a tous mes amis (es) pour la patience et le dévouement dont ils ont fait preuve.

Remerciement

Louange à Celui qui mérite les remerciements le mieux d'une créature : Allah, le Tout Puissant qui m'a donné ce qu'il faut pour arriver à ce stade.

*Je tiens à remercier Madame **REGAGBA Zineb**, Professeur à l'Université de la nature et de la vie de Tiaret, qui m'a encadré tout au long de cette thèse et qui m'a fait partager ses brillantes intuitions. Qu'il soit aussi remercié pour sa gentillesse, sa disponibilité permanente et pour les nombreux encouragements qu'il m'a prodigués.*

*Je remercie Monsieur **ADDA Ahmed**, Professeur à l'Université de la nature et de la vie de Tiaret. Cette thèse est le fruit d'une collaboration de plus de cinq années avec lui. C'est à ses côtés que j'ai compris ce que rigueur et précision voulaient dire.*

*Je tiens à remercier Pr. **MEDERBAL Khalladi** de l'université de Tiaret d'avoir accepté de présider mon jury. Qu'il trouve ici l'expression de ma respectueuse gratitude.*

*Mes remerciements vont aussi à Monsieur **BELKHODJA Moulay**, professeur à l'université d'Oran, Monsieur **LOTMANI Brahim**, professeur à l'université de Mostaganem et Madame **REZZOUG Waffa O/El Kheir**, professeur à l'Université de Tiaret, qui ont bien voulu prendre le temps d'examiner et de juger ce travail. Qu'ils sachent que j'ai été très honoré de leurs présences dans mon jury.*

Je voudrais associer à ces remerciements toute l'équipe du laboratoire de biotechnologie.

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

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا البحث هو تقييم التباين الوراثي لتحمل الجفاف في ثمانية أنماط وراثية للشعير من أصول مختلفة ؛ ويقدر هذا التباين من دراسة العوامل الفسيولوجية والمورفولوجية والبيوكيميائية.

كمانه ومن حيث الإنتاج الزراعي وفعالية كل من الاستراتيجيات، يتم تقييم الإجهاد المائي والتكيف مع العجز المائي من خلال تأثيره على إنتاجية وإنتاج الجينات من الأنماط الجينية المعنية. المحتوى المائي للأنسجة النباتية هو مؤشر قياسي لتقييم درجة الإجهاد الذي يفرضه نقص المياه والتفاعلات المختلفة المسجلة في الاستراتيجيات المختلفة التي طورها النبات.

من أجل دراسة مقارنة بين فعالية تجنب وتحمل الإجهاد المائي في الحفاظ على الحالة المائية للشعير، تم اختبار مستويين من عجز المياه (60% FC, 30% FC) و النتائج التي تم تحقيقها هي وثيقة الصلة للغاية.

الكلمات المفتاحية: الإجهاد المائي، الشعير (Hordeum vulgare L)، تحمل الإجهاد المائي، تجنب الإجهاد المائي ، المحصول، تيارت، الجزائر.

Résumé :

Cette recherche a pour principal objectif une évaluation de la variabilité génotypique de la tolérance à la sécheresse chez huit génotypes d'orge d'origines différentes ; cette variabilité est estimée à partir de l'étude des paramètres physiologiques, morphologiques et biochimiques.

Cependant, en termes de production agricole et de l'efficacité de chacune des stratégies, l'évitement et de la tolérance d'adaptation au déficit hydrique est évaluée par son impact sur la productivité et la production de semences des génotypes concernées. La teneur en eau des tissus végétaux est un indicateur de référence pour évaluer le degré de stress imposé par le déficit hydrique et les différentes réactions enregistrées dans les différentes stratégies développées par la plante.

Pour l'étude comparative entre l'efficacité de l'évitement et la tolérance dans la conservation de l'état de l'eau de l'orge, deux niveaux de déficit hydrique (60% FC, 30% FC) ont été testés et les résultats réalisés sont très pertinents.

Mots clés : stress hydrique, orge (*Hordeum vulgare* L.), tolérance, évitement, rendement, Tiaret, Algérie.

Abstract :

The main objective of this research is to assess the genotypic variability of drought tolerance in eight barley genotypes of different origins; this variability is estimated from the study of physiological, morphological and biochemical parameters.

However, in terms of agricultural production and the effectiveness of each of the strategies, the avoidance and tolerance of adaptation to the water deficit is assessed by its impact on the productivity and seed production of the genotypes concerned. The water content of plant tissues is a benchmark indicator to assess the degree of stress imposed by the water deficit and the different reactions recorded in the different strategies developed by the plant.

For the comparative study between the effectiveness of avoidance and tolerance in the conservation of the water status of barley, two levels of water deficit (60% FC, 30% FC) were tested and the results achieved are very relevant.

Key words: water stress, barley (*Hordeum vulgare* L.), tolerance, avoidance, yield, Tiaret, Algeria.

Les abréviations

RWC: relative water content, ou TRE : teneur relative en eau (%)

RWL: rate water loss, Le taux de déperdition d'eau par la feuille excisée ($\text{mg}/\text{mn}/\text{cm}^2$)

SDH: sans déficit hydrique (100%CC)

ADH1: avec déficit hydrique1 (60%CC)

ADH2: avec déficit hydrique2 (30%CC)

CC: capacité au champ

F: Test de Fisher

FAO: Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

ICARDA: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas

MSA: Matière sèche aérienne

MSR: Matière sèche racinaire

pH: potentiel hydrogène

NT: nombre de talle

NR: nombre de racine

LR: longueur de racine

LC: longueur du chaume

RS: résistance stomatique

PMG: poids de 1000 grains

K⁺ : ions de potassium

Sommaire

Chapitre I : partie bibliographique

Introduction.....	1
I. Généralités sur la culture d'orge.....	3
I.1. Classification botanique.....	3
I.2. Origine géographique et génétique.....	3
I.3. Description botanique de la plante d'orge.....	4
I.3.1. Système racinaire.....	4
I.3.2. Le système aérien.....	4
I.4. Cycle de développement	5
I.5. Ecologie de l'espèce.....	6
I.6. L'utilisation de l'orge.....	7
I.7. l'orge, une culture stratégique.....	7
I.7.1. La production mondiale de l'orge.....	7
I.7.2. La production de l'orge en Algérie.....	8
I.7.3. Les principales variétés d'orge cultivées en Algérie.....	9
I.7.4. L'aire de production de l'orge en Algérie.....	10
II. Le stress hydrique et les stratégies d'adaptation.....	11
II.1. Notion de sécheresse et de déficit hydrique.....	11
II.2. L'effet du stress.....	12
II.3. Influence de la sécheresse sur le développement et la productivité du l'orge.....	12
II.4. Notion d'adaptation et de résistance.....	13
II.5. Les stratégies d'adaptation à la sécheresse.....	13
II.5.1. L'esquive ou échappement	14
II.5.2. L'évitement de la déshydratation des tissus ou La tolérance à la sècheresse avec maintien du potentiel hydrique élevé.....	14
II.5.3. La tolérance à la sècheresse avec une faible teneur en eau.....	15
II.6. Les mécanismes de tolérance au stress hydrique.....	16
II.6.1. Paramètres phénologiques.....	16
II.6.2. Paramètres morphologiques.....	17
II.6.3. Paramètres physiologiques.....	18
II.6.4. Paramètres biochimiques : accumulation des osmotocums (l'ajustement osmotique).....	19
II.6.5. Paramètres anatomiques.....	20

Chapitre II : Partie expérimental

I- Essais en conditions contrôlées.....	22
I.1 Introduction.....	22
I.2. Matériels et méthodes.....	22
I.2.1 Le matériel végétal utilisé.....	22
I.2.2. Conditions de l'expérimentation	22

I.2.2.1 Localisation de l'essai.....	22
I.2.2.2. Conditions et conduite de culture	23
I.2.2.3. Dispositif expérimental.....	23
I.2.2.4. Pratique de l'irrigation	24
I.2.2.5. Le traitement phytosanitaire.....	24
I.3. Les paramètres mesurés	25
I.3.1 La partie aérienne.....	25
I.3.1.1. Les paramètres physiologiques.....	25
I.3.1.1.a. La teneur relative en eau.....	25
I.3.1.1.b. Taux de déperdition d'eau par la feuille excise RWL.....	25
I.3.1.1.c. Dosage des cires	26
I.3.1.1.d. La résistance stomatique.....	26
I.3.1.2. Paramètres morphologiques.....	26
I.3.1.2.a. Hauteur de chaume (cm).....	26
I.3.1.2.b. Le nombre de talles.....	26
I.3.1.3. Paramètres biochimiques.....	26
I.3.1.3.a Dosage des sucres soluble.....	26
I.3.1.3.b. Dosage des cations K ⁺	27
I.3.2. Le système racinaire.....	27
I.3.3. Les composants du rendement.....	28
I.4. Résultats et discussion.....	29
I.4.1. Essai sous serre 2016.....	29
I.4.1.1. La partie aérienne.....	29
I.4.1.1.1. paramètres physiologiques.....	29
I.4.1.1.1.a. Teneur relative en eau.....	29
I.4.1.1.1.b. Le taux de déperdition d'eau par la feuille excisée	30
I.4.1.1.1.c. La résistance stomatique.....	33
I.4.1.1.1.c. Taux des cires	34
I.4.1.1.2. Paramètres morphologiques.....	35
I.4.1.1.2.a. Le nombre de talle.....	35
I.4.1.1.2.b. La longueur des chaumes.....	37
I.4.1.1.2.c. La Masse Sèche Aérien.....	38
I.4.1.1.3. Paramètres biochimiques.....	40
I.4.1.1.3.a. Les sucres solubles	40
I.4.1.1.3.b. Taux de potassium	41
I.4.1.2. Etude du système racinaire.....	41
I.4.1.2.1. La longueur des racines.....	41
I.4.1.2.2. Le nombre des racines.....	42
I.4.1.2.3. La matière sèche racinaire.....	43
I.4.1.3. Relation entre le RWC et les paramètres physiologiques morphologiques et biochimiques (l'essai sous serre 2016).....	44
I.4.1.4. les paramètres agronomiques : étude des paramètres de productivité (composants du rendement) essai 2016.....	46
I.4.1.4.1. Nombre d'épis/plant.....	46

I.4.1.4.2. Nombre grain/épi.....	47
I.4.1.4.3. Le poids de 1000 graines (PMG).....	47
I.4.1.5. Relation entre RWC et les paramètres agronomiques.....	48
I.4.2. Essai sous serre 2017.....	51
I.4.2.1.La partie aérienne.....	51
I.4.2.1.1. paramètres physiologiques.....	51
I.4.2.1.1.a. Teneur relative en eau.....	51
I.4.2.1.1.b. Le taux de déperdition d'eau par la feuille excisée RWL.....	52
I.4.2.1.1.c. Le Taux des cires.....	55
I.4.2.1.1.d. La résistance stomatique	56
I.4.2.1.2. Paramètres morphologiques.....	57
I.4.2.1.2.a. La matière sèche arienne.....	57
I.4.2.1.3. Paramètres biochimiques.....	58
I.4.2.1.3.a. Sucres solubles.....	58
I.4.2.1.3.b. Taux de potassium.....	59
I.4.2.2.Etude de système racinaire.....	60
I.4.2.2.1.La longueur de l'axe racinaire	60
I.4.2.2.2.Le nombre des racines par plant	61
I.4.2.2.3.La matière sèche racinaire (MSR).....	62
I.4.2.3. Relation entre RWC et les paramètres mesurées (essai sous serre 2017).....	62
I.4.2.4. Relation entre RWC et les paramètres physiologiques et morphologiques et biochimiques pour les essais 2016-2017.....	66
II. Essai en plein champ.....	67
II.1. Introduction.....	67
II.2. Matériels et méthodes.....	67
II.2.1. Localisation de site expérimentale.....	67
II.2.2. Les caractéristiques pédoclimatique de la région.....	67
II.2.2.1. La pédologie de la région d'étude	67
II.2.2.3. des données climatique de la région d'étude.	68
II.2.3. Les opérations culturales.....	71
II.2.3.1 Précédent cultural	71
II.2.3.2. Travail du sol	71
II.2.3.3. Mise en place de l'essai.....	71
II.3. Les paramètres mesurés.....	71
II.4. Résultat et discussion.....	71
II.4.1. Paramètres physiologique.....	71
II.4.1.1. la teneur relative en eau	71
II.4.1.2. Le taux de déperdition d'eau par la feuille excisée RWL.....	73
II.4.1.3. Le taux de cire.....	74
II.4.1.4. La résistance stomatique.....	75
II.4.2. Paramètres biochimiques.....	75
II.4.2.1. Les sucres solubles	75
II.4.2.2.Taux de potassium	76

II.4.3. Paramètres morphologique.....	77
II.4.3.1. La longueur des chaumes.....	77
II.4.4. Les composants du rendement.....	78
II.4.4.1. Nombre épis/m ²	78
II.4.4.2. Nombre grains/épi.....	78
II.4.4.3. le poids de 1000 graines.....	79
II.4.4.4. Le rendement.....	80
II.4.5. Relation entre le rendement les composants du rendement et tous les paramètres mesurés.....	80
Conclusion générale.....	85
Références bibliographiques	88

List des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1: la production mondiale de l'orge (tonnes).....	8
Tableau I.2: variétés d'orge cultivées en Algérie	10
Tableau I.3: Paramètres phénologiques et morpho physiologiques d'adaptation au déficit hydrique	21

Chapitre II

Tableau II.1: les principales origines du matériel végétal utilisé.....	22
Tableau II.2 : compositions de la solution nutritive.....	24
Tableau II.3: Les périodes de traitement phytosanitaire.....	25
Tableau II.4: effet du génotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les mesurés chez les 8 génotypes.....	28
Tableau II.5: Résultats moyenne de la teneur relative en eau chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).....	29
Tableau II.6 : effet du génotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les paramètres physiologiques et morphologiques et biochimiques mesurés chez les 8 génotypes.....	30
Tableau II.7: Résultats moyenne de la RWL1 et RWL2 chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).....	32
Tableau II.8: Résultats moyenne du taux des cires et la résistance stomatique chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).....	34
Tableau II.9: Résultats moyenne nombre de talle chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).....	35
Tableau II.10: Résultats moyenne du LC chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).....	36
Tableau II.11: Résultats moyenne de la MSA chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).....	37
Tableau II.12: Résultats moyenne du taux des sucres et de potassium chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).....	38
Tableau II.13 : effet du génotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les le système racinaire mesuré chez les 8 génotypes.	39
Tableau II.14: Résultats moyenne du LR et la NR chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).....	40
Tableau II.15 : effet du génotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les composants du rendement mesurés chez les 8 génotypes.....	44
Tableau II.16: Résultats moyenne des composants du rendement chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).....	46
Tableau II.17 : effet du génotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les la teneur relative en eau mesuré chez les 8 génotypes.....	48
Tableau II.18: Résultats moyenne de la teneur relative en eau chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC)....	49
Tableau II.19 : effet du génotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les paramètres physiologiques et morphologiques et biochimiques mesurés chez les 8 génotypes.....	50
Tableau II.20: Résultats moyenne du RWL1 et la RWL2 chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).....	51
Tableau II.21: Résultats moyenne du taux des cires et la résistance stomatique chez	

les géotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).....	52
Tableau II.22: Résultats moyenne de la matière sèche aérienne chez les géotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC)....	55
Tableau II.23: Résultats moyenne du taux des sucres et de potassium chez les géotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).....	56
Tableau II.24 : effet du géotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les paramètres morphologiques racinaires chez les 8 géotypes.....	57
Tableau II.25: Résultats moyenne de la longueur des racines et nombre des racines chez les géotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).....	58
Tableau II.26: Relation entre RWC et les paramètres physiologiques et morphologiques et biochimiques pour les essais 2016-2017.....	63
Tableau II.27: les caractéristiques des sols de plein champ.....	65
Tableau II.28: les données climatique de la zone d'étude	66
Tableau II.29: effet du géotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur la teneur relative en eau chez les 8 géotypes.....	66
Tableau II.30: Résultats moyenne de la teneur relative en eau chez les géotypes testés et sous les deux régimes hydriques (pluvial et irrigué).....	67
Tableau II.31 : effet du géotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les paramètres physiologique et morphologiques mesurés chez les 8 géotypes...	67
Tableau II.32: Résultats moyenne de la RWL1 et RWL2 chez les géotypes testés et sous les deux régimes hydriques (pluvial et irrigué).....	69
Tableau II.33: Résultats moyenne du taux des cires et la résistance stomatique chez les géotypes testés et sous les deux régimes hydriques (pluvial et irrigué).....	70
Tableau II.34 : effet du géotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les paramètres biochimiques chez les 8 géotypes.....	71
Tableau II.35: Résultats moyenne du taux des sucres et de potassium chez les géotypes testés et sous les deux régimes hydriques (pluvial et irrigué).....	71
Tableau II.36: Résultats moyenne de la longueur des chaumes chez les géotypes testés et sous les deux régimes hydriques (pluvial et irrigué).....	73
Tableau II.37 : effet du géotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les paramètres de productivité mesurés chez les 8 géotypes.....	73
Tableau II.38: Résultats moyenne des composants du rendement chez les géotypes testés et sous les deux régimes hydriques (pluvial et irrigué).....	74

List des figures

Figure I.1: orge à 6 rangs et 2 rangs.....	3
Figure I.2: les stades de développement des céréales.....	6
Figure I.3: la production de l'orge en Algérie.....	9
Figure I.4 : Mécanisme de résistance des plantes à la sécheresse	16
Figure II.1 : le dispositif expérimental de l'essai sous serre.....	23
Figure II.2 : La courbe d'étalonnage de glucose.....	27
Figure II.3. climagramme d'EMBERGER de la station d'étude.....	67

Introduction générale.

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins (**Abdelkader, 2009**). En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Cette caractéristique est perçue d'une manière claire à travers toutes les phases de la filière, La consommation des produits céréaliers se situe à un niveau d'environ 205 kg /hab/an (**Chehat, 2007**).

L'orge est la deuxième céréale en importance après le blé dur (**Benmahammed, 2004**). Cette culture joue un rôle important dans l'équilibre de l'économie algérienne ; elle est susceptible de contribuer à l'accroissement de la production fourragère, en particulier dans les zones semi-arides où elle montre une adaptation par rapport aux autres céréales ; mais, malgré cette importance économique, la culture de l'orge est confrontée à plusieurs contraintes d'ordre climatiques et techniques qui affectent fortement les rendements et limitent son extension.

Les faibles productions se justifient principalement pour les faibles rendements récoltés à travers les campagnes. Une telle situation s'explique surtout par les persistances des contraintes abiotiques dont le déficit hydrique reste un facteur limitant grandement responsable des baisses du rendement (**Sahnoune, 2005**).

Les études de **Baldy (1993)**, démontrent que la sécheresse constitue le principal facteur environnemental conditionnant les fortes variations des potentialités productives des espèces céréalières pluviales.

En Algérie, l'aire de répartition des céréales, dont l'orge, est localisée principalement dans les plaines intérieures et les hauts plateaux, caractérisés par une variabilité spatio-temporelle importante des précipitations (**Sahnoune, 2005**) et, par conséquent, les déficits hydriques persévérants limitent significativement l'expression des potentialités productives des principales céréales cultivées (**Adda et al., 2013**). En effet, selon le degré de stress dans le milieu, les plantes sont exposées à des modifications de leur comportement morpho-physiologique (**Bennaceur et al., 2001**), biochimique (**Grennan, 2006**) et minéral (**Morgan, 1984**). Ainsi, Les plantes ont développé des mécanismes complexes pour percevoir, réagir et s'adapter au stress dû au déficit en eau (**Krishnamurthy et al., 2012**). Des combinaisons de ces mécanismes définissent les stratégies d'adaptation des plantes au déficit en eau (**Turner, 1979; Nachit et Ketata, 1986**). L'adaptation peut avoir plusieurs origines (esquive,

évitement, tolérance). Quelle que soit l'origine de son adaptation une variété arrive à produire sous stress hydrique (**Levitt, 1980**).

Dans cette étude on a essayé d'évaluer la variabilité génotypique de la tolérance à la sécheresse chez huit génotypes d'orge d'origines différentes ;cette variabilité est estimée à partir de l'étude des paramètres physiologiques, morphologiques et biochimiques. En outre, pour atteindre cet objectif, une étude comparative entre l'efficacité de l'évitement et la tolérance à la préservation de l'état hydrique ou la teneur relative en eau de l'orge.

Pour faire aboutir nos recherches, nous avons adopté une démarche selon trois étapes distinctes chronologiquement mais complémentaires ; d'abord une synthèse bibliographique fine a permis de mieux cerner la thématique de nos recherches et d'affiner la démarche à suivre pour atteindre les objectifs scientifiques visés ; ensuite, grâce au choix judicieux du matériel d'expérimentation et des méthodes d'études originales, le travail a été réalisé selon les standards et les normes reconnues ; enfin, pour évaluer la qualité de nos travaux les résultats obtenus sont discutés et ils ont fait, en partie, l'objet d'une publication dans une revue de renommée internationale.

Chapitre /

Partie bibliographique

I. Généralités sur la culture d'orge

I.1. Classification botanique :

L'orge cultivée appartient à la famille des graminées, tribu des Hordées, genre *Hordeum*. Ce genre comprend deux grands groupes d'espèces.

➤ **Espèces à gros grains**, à $2n=14$.

H. spontaneum, orge sauvage distich (2 rangs) à rachis fragile,

H. agriocrithon, orge sauvage polystich (6 rangs) à rachis fragile,

H. vulgare, orge cultivée à 6 rangs ou 2 rangs, à rachis solide.

➤ **Espèces à petits grains**, à $2n=14$ ou 28 . toutes ces espèces sont sauvages ; les unes sont annuelles (*H. murinum*, *H. maritimum*) Les autres vivaces (*H. bulbosum*, *H. secalinum*). (Camille M ; 1980)

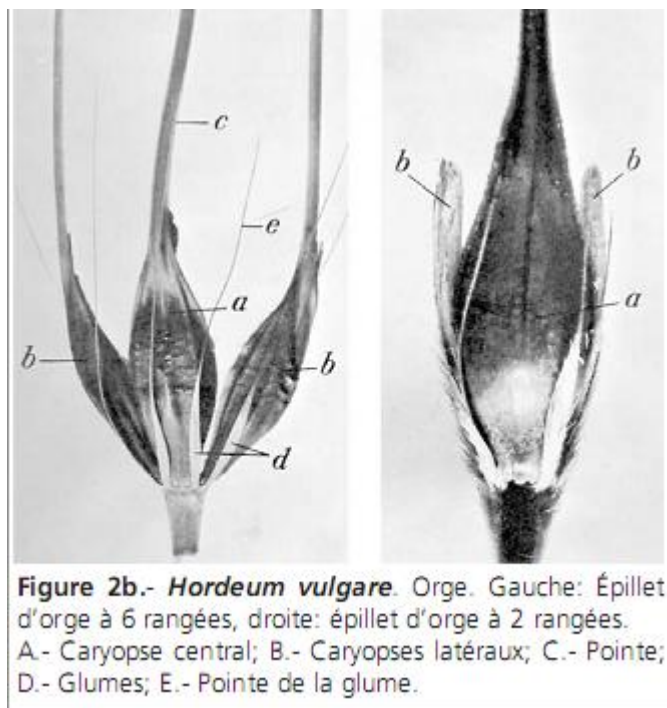


Figure I.1: orge à 6 rangs et 2 rangs (Leonard et Martin, 1963)

I.2. Origine géographique et génétique :

D'après VAVILOV, l'orge aurait pour origine géographique deux centres principaux : l'Asie Orientale et le Proche-Orient.

En Asie Orientale, notamment sur les hauts plateaux du Thibet, dans les régions montagneuses de la Chine et de l'Inde. On ne trouve originellement que des orges polystiques telles que l'orge sauvage **H.agriocrithon** Aberg*. Les orges inermes ou à barbes courtes et

les orges trifurquées sont très fréquentes. Les formes à grains nus sont signalées en assez grande abondance, en particulier dans les zones de culture montagneuses, ou elles sont panifiées. Toutes sont du type “hiver“.

L’orge à deux rangs **H. spontaneum** Kock, par contre, prédomine en Transcaucasie, en Anatolie Centrale et en Syrie. Les variations à grains nus sont assez rares.

VAVILOV signale également, comme centre secondaires, l’Abyssinie et l’Erythrée où se rencontrent un grand nombre de forme à six rangs et à deux rangs ainsi que les formes intermédiaire à grains vêtus ou nus. Ces formes présentent en commun certains caractères particuliers, dont l’un est l’existence de deux couches de cellules à aleurone. Enfin, le type “printemps“ est très fréquent. **(Simon, 1972)**

I.3. Description botanique de la plante d’orge :

I.3.1. Système racinaire :

Comme le blé et l’avoine, l’orge a la particularité de présenter deux systèmes racinaires :

- Le premier correspondant aux racines séminales qui se développent dès la germination et transmettent à la jeune plantule l’eau et les minéraux du sol jusqu’à l’époque de tallage,
- Le second étant représenté par les racines de tallage, encore dénommées racines coronales et ne se développant qu’à partir du tallage. **(Simon, 1972)**

Le système racinaire constitué de 3-9 racines primaires et de racines adventives **(GATE, 1995)**.

I.3.2. Le système aérien

I.3.2.a. La tige

Sur la partie aérienne des céréales, on distingue une tige principale « le maître brin » et des tiges secondaires « les talles » qui naissent à la base de la plante **(Gonde et Jussiaux, 1980)**, Quant aux entre-nœuds et selon **Belaid(1986)**, ils sont creux chez les blés tendres, l’orge et l’avoine, et pleines chez les blés durs. L’orge est caractérisée par un fort tallage supérieur à celui du blé et un chaume plus faible, susceptible à la verse par rapport que celui du blé **(Camille, 1980)**.

La hauteur de plante varie de 30 à 120 cm selon la variété et les conditions de culture. Le plant d’orge développe 6 rangées de grains disposées le long d’un axe principal **(Quebec Amérique, 1996)**.

I.3.2.b. La feuille :

Comme pour toutes les graminées, les feuilles d'orge sont en position distique sur la tige, c'est-à-dire, disposées sur deux lignes opposées et en alternance. Chacune prend naissance à l'aisselle d'un nœud. Au stade herbacé, l'orge se distingue principalement des autres céréales par un feuillage vert clair, Une feuille se décompose en quatre parties :

- La gaine,
- Les oreillettes, glabres.
- La ligule, très développée.
- et le limbe (**Simon, 1972**)

I.3.2.c. Inflorescence

L'orge est autogame. Son inflorescence est un épi composé d'unités morphologiques de base : les épillets « groupes de fleurs » enveloppées de leurs glumelles et incluses dans deux bractées ; les glumes (**Belaid, 1986**). L'inflorescence est un épi, le plus souvent barbu. Le rachis porte sur chaque article trois épillets mono-flore, un médian et deux latéraux.

Les épillets sont en position alterne sur deux rangées opposées. A noter que le rachis d'orge ne porte pas d'épillet terminal comme chez le blé. (**Simon, 1972**)

I.4. Cycle de développement

Les graminées sont des espèces annuelles. Selon (**Soltner, 2005**) une série d'étapes, séparées par des stades repères, permettant de diviser en deux périodes la vie des céréales. Il s'agit:

- La période végétatif : comportant la germination, la levée et le tallage.
- La période reproductive: comportant la montaison, l'épiaison, la floraison (qui se développent elle-même en deux stades: stade laiteux et stade pâteux) et la maturité complète.

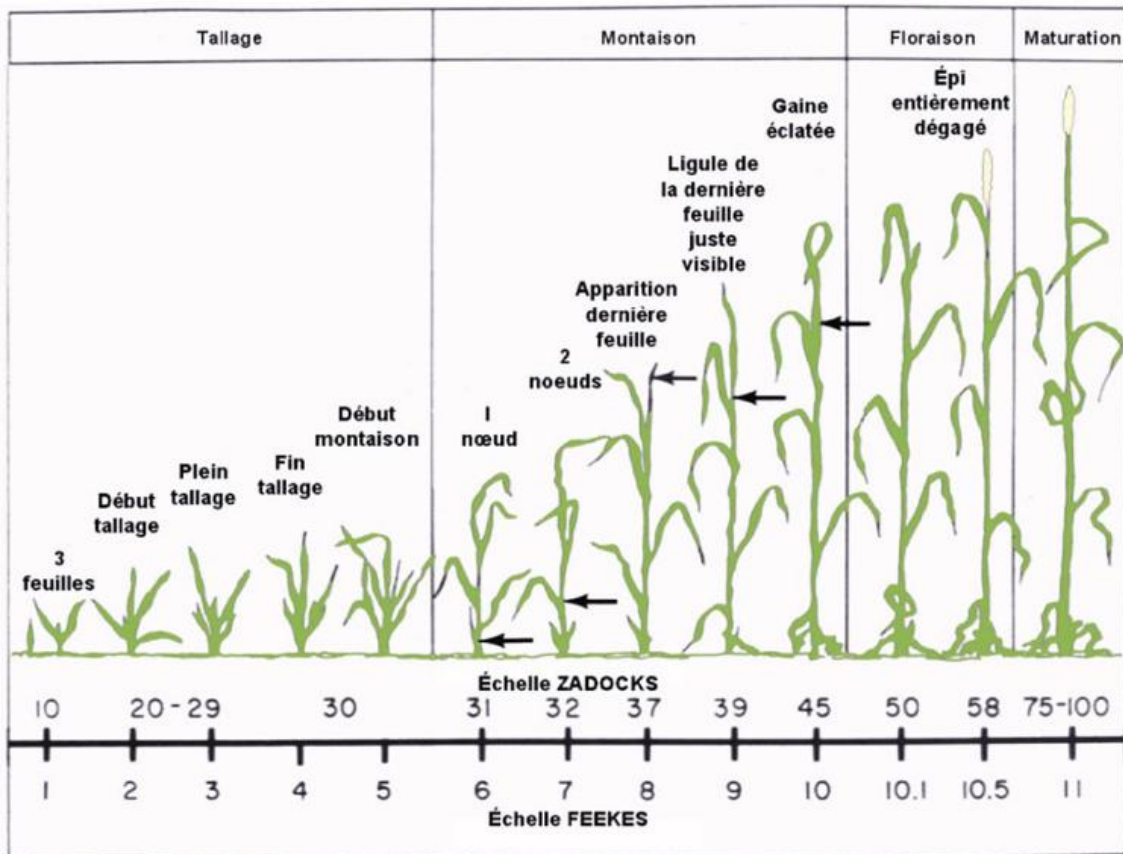


Figure I.2: les stades de développement des céréales

I.5. Ecologie de l'espèce :

L'orge croit sous conditions de photopériode, de température et de précipitation très variable, mais elle est mieux adaptés aux climats tempérés, elle supporte les températures élevées sous des climats secs et l'humidité sous des climats frais, mais elle est mal adapté aux climats chauds et humides, avant tous en raison se sa sensibilité aux maladies.

Le cycle de développement de l'orge est voisin de celui du blé. Le zéro de germination est proche de 0 °C. Les orges d'hiver, plus sensibles au froid que le blé, ont besoin de températures vernalisantes, à l'inverse des variétés de printemps. Entre ces deux types existe toute une série de variétés alternatives.

L'orge est une plante de jours longs : elle exige une photopériode de douze à treize heures pour monter, et la durée qui s'écoule entre la levée et l'épiaison s'abrège lorsque la durée du jour augmente. L'orge est en moyenne plus précoce que le blé. Le cycle végétatif est de l'ordre de 250 jours, pour une somme de températures de 1 900 à 2 000 degrés jours pour l'orge d'hiver et de 110 à 120 jours pour l'orge de printemps, avec une somme de températures de 1 600 à 1 700 degrés jours.

Les besoins en eau de la plante sont de l'ordre de 450 à 500 mm, et sont surtout importants au début de son développement. En revanche, l'orge est relativement peu sensible à la sécheresse (**Larousse agricole, 2002**).

Ce sont les limons ou les sols légèrement argileux bien drainés et fertiles qui conviennent mieux à la production d'orge, l'orge supporte mieux les sols alcalins que les autres céréales, mais elle ne tolère pas les sols acides ; un pH de 6.0-8.5 est généralement acceptable. Elle est très sensible à l'asphyxie racinaire. Certains cultivars sont capables de faire face à une salinité du sol atteignant 1 ‰ (**Belay et al., 2006**).

I.6. L'utilisation de l'orge:

Environ 85% de la production actuelle de grain d'orge du monde est utilisé comme alimentation pour bétail, suivie par le malt pour le brassage de la bière et certains whiskies (**Fischbeck, 2002**). L'orge est utilisée comme aliment dans les régions où d'autres cultures céréalières ne se développent pas (**Liuet al., 1993**).

L'orge est également utilisée pour la production d'amidon, de l'éther pour la nourriture ou pour le produit chimique industrie (**Ogtr, 2008**). L'efficacité de l'orge comme culture de couverture pour supprimer infestations de mauvaises herbes, et comme une culture de couverture d'hivernage pour la protection contre le sol l'érosion (**Kremer et al., 2009**). Utilisations médicinales: Sur la base de l'orge de la recherche scientifique est considéré comme le grain le plus utile. Comme il est facilement digestible (En raison de teneurs en gluten faible) par rapport au blé, par conséquent, elle est la meilleure diète pour les patients ou les personnes guéries qui sont encore faibles grâce a la présence du bêta-glucane (anti substance cholestérol), l'acétylcholine (une substance qui nourrit notre système nerveux) et haute teneur en lysine.

I.7. L'orge, une culture stratégique

I.7.1. La production mondiale de l'orge

La Fédération de Russie est le premier pays producteur de l'orge dans le monde. En 2019, la production d'orge en Fédération de Russie était de 20000 millions tonnes, ce qui représente 21,42% de la production mondiale d'orge. Les 5 premiers pays (les autres sont le Canada, l'Ukraine, l'Australie et la Turquie) en représentent 59,98%. La production mondiale totale d'orge était estimée à 93369 millions tonnes en 2019.

Tableau I.1 : la production mondiale de l'orge (tonnes*1000)

année pays	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010
Russie	20.000	16.737	20.211	17.547	17.083	20.026	15.389	13.952	16.938	8.350
Canada	10.400	8.380	7.891	8.839	8.257	7.117	10.282	8.012	7.892	7.627
Ukraine	9.500	7.604	8.695	9.874	8.751	9.450	7.561	6.935	9.098	8.484
Australie	8.200	8.310	9.254	13.506	8.993	8.646	9.174	7.472	8.221	7.995
Turquie	7.900	7.000	6.400	4.750	7.400	4.000	7.300	5.500	7.000	5.900
Argentina	4.600	5.060	3.740	3.300	4.940	2.900	4.750	5.000	4.500	2.950

Source: Production, Supply and Distribution of Agricultural Commodities by Market Year, Feb 2020

I.7.2. La production de l'orge en Algérie:

L'orge est cultivée en Algérie là où le blé ne peut donner de bons rendements, c'est-à-dire dans les zones semi-arides. Il occupe les moins bonnes terres, parmi celles réservées aux blés. Comme on peut trouver dans les zones marginales à sol plus ou moins pauvres et cela grâce à sa rusticité (**Oufroukh et Hamadi 1988; Khaldoune 1989**).

Les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Durant les deux périodes 2000-2009 et 2010-2017, la superficie des céréales occupe en moyenne annuelle **40%** de la Superficie Agricole Utile (SAU).

La superficie ensemencée en céréales durant la décennie 2000-2009 est évaluée à **3 200 930** ha, desquelles, le blé dur et l'orge occupent la majeure partie de cette superficie avec **74%** de la sole céréalière totale.

Durant la période 2010-2017, cette superficie a atteint en moyenne **3 385 560** ha, en évolution de **6%** par rapport à la période précédente (2000-2009). La production réalisée des céréales au cours de la période 2010-2017 est estimé à **41.2** Millions de quintaux en moyenne, soit un accroissement de **26%** par rapport à la décennie 2000-2009 où la production est estimée en moyenne à **32.6** Millions de quintaux. La production est constituée essentiellement du blé dur et de l'orge, qui représentent respectivement **51%** et **29%** de l'ensemble des productions de céréales en moyenne 2010-2017(**MADRP, 2018**).

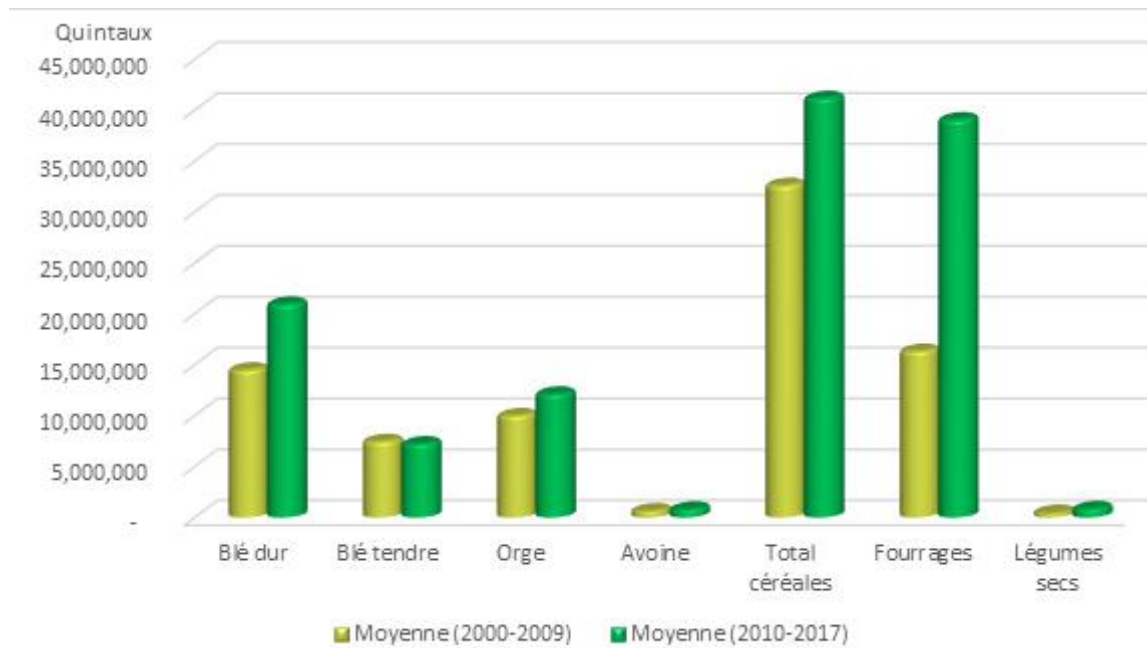


Figure I.3: la production de l'orge en Algérie Source : (MADRP, 2018) / Statistiques agricoles.

I.7.3. Les principales variétés d'orge cultivées en Algérie :

Selon **Boufenar et Zaghouan (2006)**, les principales variétés d'orge cultivées en Algérie, sont les variétés Saïda, Rihane 183 et Tichedrette. Le recours aux autres variétés est lié à leur zone de prédilection. D'autres variétés existent mais elles sont peu demandées comme celles de Jaidor (Dahbia), Barberousse (Hamra), Ascad 176, (Nailia), El-Fouara. Le choix de la variété à utiliser dépend de ses caractéristiques agronomiques et de la zone de culture.

Tableau I.2 : variétés d’orge cultivées en Algérie (Boufenar et Zaghouane, 2006)

Variétés	Caractéristiques
Jaidor (dahbia)	A paille courte, fort tallage, bonne productivité, tolérante aux maladies et à la verse, sensible au gel.
Rihane 03	A paille courte, précoce, de fort tallage, bonne productivité, à double exploitation
Ascad 68 (Remada)	Précoce, à fort tallage et bonne productivité, tolérante aux rouilles à la verse, adaptée aux zones des plaines intérieures.
Barberousse (Hamra)	A paille moyenne, précoce, tallage moyen, bonne productivité, tolérante à la verse, à la sécheresse et au froid.
Ascad 60 (Bahria)	A paille courte et creuse, précoce, fort tallage, bonne productivité, sensible à la jaunisse nanisant et résistante à la verse
Ascad 176 (Nailia)	Variété précoce, résistante à la verse et tolérante à la sécheresse, sensible aux maladies (rouille brune, oidium helminthosporios rhynchosporiose)
Saida 183	Variété locale, semi-tardive, à paille moyenne et creuse, tallage moyen, bonne productivité, sensible aux maladies.
Tichedrette	Variété locale, à paille moyenne, précoce, tallage moyen, bonne productivité et rustique.
El-Fouara	A paille courte ou moyenne, fort tallage, bonne productivité, tolérante au froid, à la sécheresse et à la verse, adaptée aux Haut-plateaux

I.7.4. L’aire de production de l’orge en Algérie

La culture de l’orge est pratiquée en Algérie, essentiellement sur les Hauts plateaux. Cette espèce est cultivée dans les zones où les rendements du blé sont faibles (zones marginales à sols assez pauvres) (Monneveux et Bensalem, 1993). Selon Boulal et al.(2007), les principales zones de production sont :

- **la zone semi-aride des plaines telliennes** où la pluviométrie est comprise entre 350 et 500mm avec une distribution des précipitations irrégulière (Constantine, Bouira, Tlemcen, Mila, Souk Ahras, Ain Defla, Chlef, Ain Témouchent, Sidi-Bel-Abbès).
- **la zone sub-aride des Hauts plateaux** caractérisée par une faible pluviométrie (200-350mm), à prédominance agro-pastorale à des altitudes supérieures à 1000m (Tissemsilt, Tiaret, Sétif, Saida, Bourdj Bou Arreridj).

- **la zone humide et subhumide** des régions littorales et sub-littorales, Centre- Est du pays (Tipaza, Skikda, Guelma, Bejaïa, Annaba).

II. Le stress hydrique et les stratégies d'adaptation

II.1. Notion de sécheresse et de déficit hydrique

La sécheresse est en terme météorologique qui est communément défini comme étant une période caractérisées par un manque de pluie qui conduit le plus souvent à un stress hydrique **(LEVITT, 1980)**.

En Agriculture, la sécheresse est définie comme un déficit marqué et soutenu des précipitations qui réduit significativement les productions agricoles **(Wmo, 1990)**.

Sur un plan plus opérationnel, on peut distinguer la sécheresse climatique, la sécheresse hydrologique et la sécheresse agronomique. La sécheresse climatique est généralement liée à l'insuffisance et à l'irrégularité des précipitations annuelles par rapport à une année normale. La sécheresse hydrologique est plus souvent en relation avec le dysfonctionnement des aquifères et des ressources en eaux souterraines. Enfin la sécheresse agronomique résulte d'un déficit hydrique pouvant intervenir à des stades critiques de développement des cultures et affecte sérieusement les récoltes **(Oukarroum, 2007)**.

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants, affectant les conditions de croissance, le développement et le rendement des plantes **(Madhava rao et al., 2006)**. C'est un problème sérieux dans beaucoup d'environnements arides et semi-arides, où les précipitations changent d'année en année et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique **(Boyer, 1982)**.

Le déficit hydrique peut être défini comme les situations dans lesquelles le potentiel hydrique et la turgescence de la plante sont assez réduits au point de perturber le déroulement optimal des différentes fonctions **(Hsiao, 1973)**. C'est un phénomène courant durant le cycle de développement des plantes, il est lié à la réduction d'humidité du sol à l'augmentation de la demande évaporation **(Levitt, 1980)**.

Sous stress hydrique, la plante perd la capacité d'établir un équilibre entre son bilan hydrique et sa turgescence qui s'annule **(Belout, 2000)** ; elle passe de l'état productif à l'état de survie, qui représente sur le plan agronomique le facteur responsable de la réduction des rendements **(Benbelkacem, 1997)**.

II.2. L'effet du stress

L'effet du stress dépend de son degré, sa durée, le stade de développement de la plante, le génotype et son interaction avec l'environnement (**Yokota et al., 2006**).

II.2.1. Effets précoces

Les feuilles ferment leurs stomates dès qu'elles ressentent une augmentation de la pression de vapeur de l'air (**Assmann et al., 2000**).

La fermeture des stomates est une des réponses précoces au déficit hydrique, elle se fait en quelques minutes (**Assmann et al., 2000**),

On observe aussi une diminution de la vitesse d'élongation cellulaire, la balance hormonale est fréquemment altérée, l'activité de nombreuses enzymes est changée, ainsi que l'expression du génome (**Lamaze et al., 1994**).

II.2.2. Effets à long terme

On observe des modifications morphologiques, anatomiques, physiologiques et développementales de la plante (**Lamaze et al., 1994**). Elles comprennent principalement une baisse du volume des nouvelles cellules, une réduction de la surface des feuilles et une augmentation de leur épaisseur, un vieillissement prématuré des feuilles matures, une élévation du rapport racine/feuille en termes de biomasse et, dans le cas d'un stress dépassant la capacité de résistance de la plante, la dessiccation et la mort de celle-ci.

II.3. Influence de la sécheresse sur le développement et la productivité du l'orge

Les réductions de croissance sont l'une des premières manifestations du déficit hydrique (**Kramer et Boyer, 1995**). Elles se produisent soit directement au travers d'une réduction de vitesse de croissance par inhibition de la division cellulaire (**Granier et al., 2000**), diminution de la surface des feuilles et par conséquent, la turgescence décroît, et une réduction significative de la production de biomasse totale (**Albouchi et al., 2003**); soit indirectement en réduisant le nombre d'organes portant des feuilles.

Chez les graminées, le nombre de talles est réduit en cas de déficit hydrique (**Courtois et al., 2000 in Attia, 2007**).

Le rendement en grains chez l'orge dépend fortement du nombre de grains par épi, du poids de grains par épi et du nombre d'épis par m², Selon **Watts et El Mourid (1988)**, la sécheresse de début de cycle coïncide avec le démarrage de la culture (levée, tallage) et celle de fin du cycle, qui est la plus fréquente, affecte le remplissage des grains. De ce fait, la sévérité de l'incidence du stress hydrique sur le rendement dépend du stade végétatif auquel

survient la contrainte hydrique (**Mongensen et al., 1985**): si la sécheresse survient durant les deux dernières semaines précédant l'épiaison, elle peut réduire le nombre de grains par épillet (**Fisher, 1973**) tandis que la carence hydrique en fin de cycle réduit le poids du grain (**Kobata T et al., 1992**).

II.4. Notion d'adaptation et de résistance

II.4.a La résistance

La résistance d'un génotype face à un déficit hydrique s'évalue par sa capacité à maintenir un rendement acceptable malgré les contraintes en eau (**Sarrafi et al., 1993**).

Dans le même contexte, **Eljaafari et al. (1993)** définissent cette résistance par la capacité d'une plante à produire en condition de déficit hydrique et à maintenir l'intégrité des structures et fonctions (**Alidib et Monneveux, 1992**).

La résistance d'une plante à une contrainte du milieu est sa faculté de se développer dans les conditions défavorables (**Azzi, 1954**). Elle peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et, du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles. (**Madhava rao et al., 2006** in **Mouellef, 2010**).

II.4.b. Adaptation

La notion d'adaptation à la sécheresse d'après **Ait kaki (1993)**, c'est l'esquive de la plante aux périodes régies par ces contraintes.

Ahmadi (1983) in Chahbar (2000), définit l'adaptation des végétaux au déficit hydrique comme étant un résultat de l'intervention de plusieurs caractéristiques morphologiques, physiologique et anatomiques. Elle se traduit en réponse à la contrainte hydrique par une succession des modifications à l'échelle cellulaire, subcellulaire et moléculaire selon les potentialités génétiques de l'espèce (**Demarly, 1984 in Ait kaki, 1993**).

La tolérance à la sécheresse est le résultat de mécanismes physiologiques, biochimiques et moléculaires complexes (**Tardieu, 2005**).

II.5. Les stratégies d'adaptation à la sécheresse

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu.

Les termes résistance, tolérance et adaptation sont indifféremment utilisés dans la littérature. Reprenant les formes d'adaptation aux stress abiotiques définies par **Levitt (1980)**,

Belhassen et al., (1995) les classifient en trois grands types d'adaptation aux stress et qui sont (1) l'échappement ou esquivage qui consiste à réaliser le cycle pendant la période favorable, (2) l'évitement de la déshydratation (ou résistance) qui permet le maintien d'un potentiel hydrique élevé dans la plante et (3) la tolérance à la déshydratation qui consiste en un ensemble d'aptitudes à résister aux effets d'un faible potentiel hydrique.

II.5.1. L'esquivage ou échappement

Elle est basée sur la plasticité de la phénologie de la variété (**Blum, 1988**). L'exploitation de l'esquivage comme stratégie d'adaptation aux stress s'est faite dans le contexte agricole en cherchant à faire coïncider le développement de la culture ou du moins les phases les plus sensibles avec les périodes où le stress est moins intense. Ceci s'est fait par des études de l'influence de la variabilité de la durée des phases de développement sur la productivité de la plante, dans le but de déduire la durée la plus optimale pour que les stades sensibles puissent se réaliser à des périodes où les risques de stress sont moins pénalisants (**Witcombe et al., 2009**).

Les cultivars qui ont la capacité d'échapper au stress hydrique sont capables de terminer leur cycle de vie avant que les déficits en eau ne puissent avoir un effet extrême sur les performances. Idéalement, ces cultivars présentent des taux de croissance et d'échange de gaz élevés en utilisant l'humidité disponible pour se reproduire avec succès avant le moment où l'eau est limitée (**Mahpara et al., 2014**). La précocité chez les céréales en zones méditerranéennes est un mécanisme largement exploité par les agriculteurs. Mais il n'est pas sans présenter des inconvénients (**Blum, 1988**).

De nombreux travaux ont montrés l'existence d'une corrélation positive entre la longueur du cycle et le rendement potentiel. L'adoption d'une telle stratégie par l'utilisation de variétés précoces entraîne le sacrifice d'une part de productivité.

II.5.2. L'évitement de la déshydratation des tissus ou La tolérance à la sécheresse avec maintien du potentiel hydrique élevé

L'évitement représente la capacité du génotype à maintenir un statut hydrique ou thermique foliaires élevé quand il est soumis aux stress. Dans le cas du stress, l'évitement est lié à la réduction des pertes en eau par transpiration grâce à la fermeture partielle ou totale des stomates ou au maintien de l'absorption de l'eau, grâce à un système racinaire mieux adapté (**Richards et al., 2002**).

II.5.2.a. La capacité d'extraction de l'eau par les racines

Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol est un facteur essentiel de résistance à la sécheresse. Cette caractéristique est un facteur de variabilité inter et intra spécifique et considéré comme paramètre d'adaptation dans des milieux caractérisés par le déficit hydrique (**Monneveux, 1991 ; Benlaribi et al., 1990**)

II.5.2.b. La régulation stomatique

Lorsqu'un déficit hydrique survient, la réduction de l'ouverture stomatique permet de préserver rapidement l'état hydrique de la plante. Une faible conductance stomatique est généralement proposée comme un trait favorable à l'adaptation à la sécheresse

II.5.3. La tolérance à la sécheresse avec une faible teneur en eau

Cette tolérance fait intervenir des modalités tout à fait différentes dont le principe de base est la préservation de l'intégrité structurale et fonctionnelle des tissus lorsque le potentiel hydrique baisse (**Vartanian et Lemée, 1984**).

Elle se fait par deux mécanismes : maintien de la turgescence cellulaire et tolérance à la dessiccation (appelée résistance).

Concernant le premier mécanisme, le potentiel hydrique est réduit mais celui de turgescence se maintient grâce à l'augmentation du potentiel osmotique. C'est le mécanisme d'ajustement osmotique. La conservation de l'eau dans les cellules nécessite une accumulation de solutés (proline, bétaïne, glycine et sucres). Il y a donc une augmentation de la teneur en certains solutés qui est en réalité un paramètre d'adaptation aux conditions de stress hydrique (**Kameli et Losel, 1996**).

Concernant la tolérance à la dessiccation, celle-ci dépend de la capacité des membranes à résister à la dégradation enzymatique et à la dénaturation des protéines (**Gaft, 1980**), grâce à certains osmo-protecteurs (Bétaïne, sucres solubles) et à la modification de leur composition phospholipidique (**Stuart Chapinet al., 1993**). Une capacité d'accumulation et de remobilisation des réserves glucidiques et une résistance protoplasmique relativement élevées sont donc associées à une tolérance à la contrainte hydrique (**Bensalem et Dasilva, 1991**).

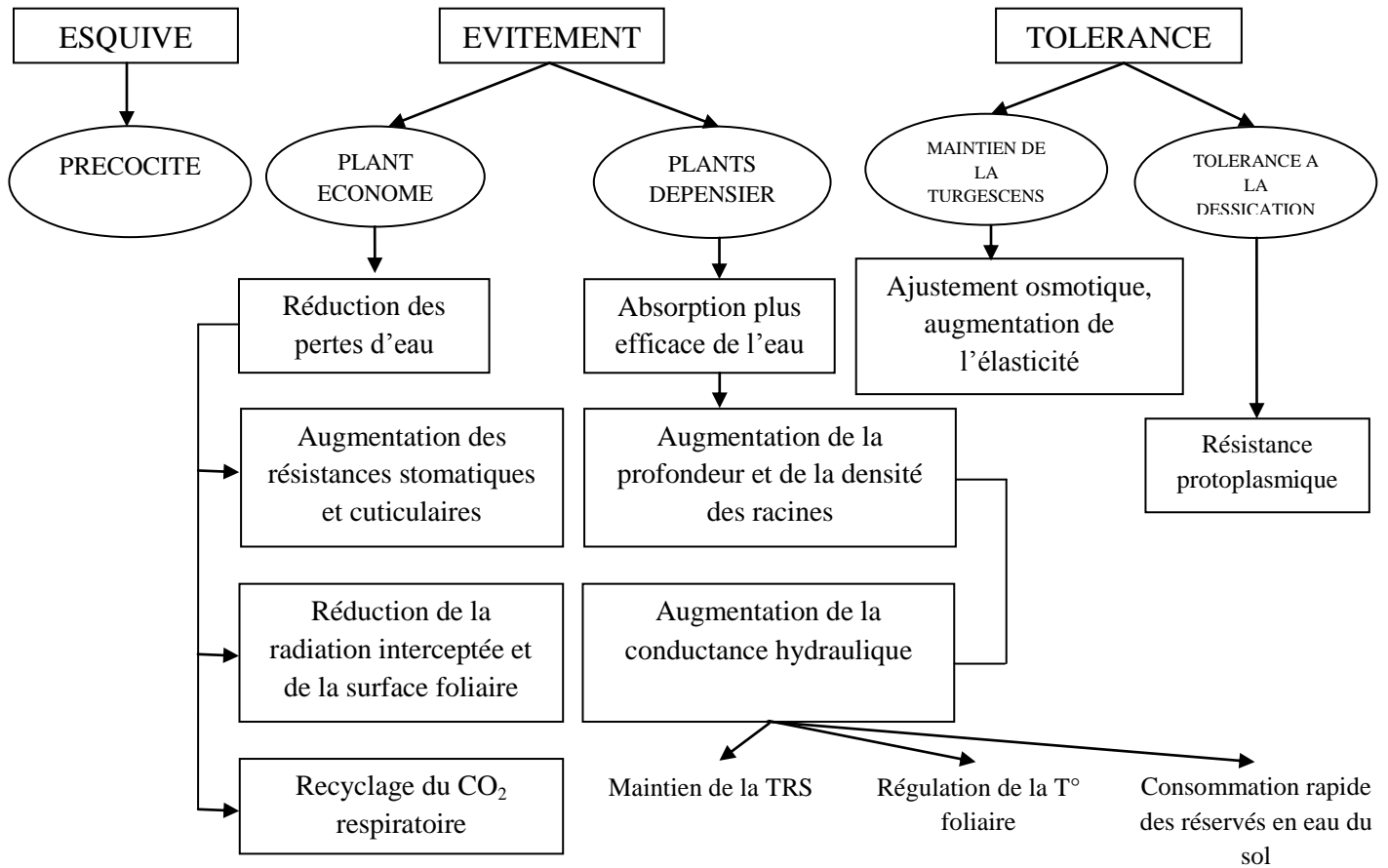


Figure I.4 : Mécanisme de résistance des plantes à la sécheresse (Levitt, 1980)

II.6. Les mécanismes de tolérance au stress hydrique

II.6.1. Paramètres phénologiques

Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique. La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement de la sécheresse de fin de cycle.

Dans ces conditions, les paramètres phénologiques d'adaptation ou paramètres de précocité définissent le calage du cycle vis-à-vis des contraintes environnementales (Ben naceur et al., 1999).

La précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau. En effet, en produisant la biomasse la plus élevée, les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible et ils sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs (Bajji, 1999).

Dans ce cas, la durée du cycle de la culture est importante dans la détermination du rendement en grain : les variétés précoces parviennent par exemple à éviter le stress terminal (**Turner, 1979**).

II.6.2. Paramètres morphologiques

L'effet du stress hydrique peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou génotype, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilés. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine (**Bajji, 1999**).

II.6.2.a La partie aérienne

La diminution de la surface foliaire des feuilles et du nombre de tiges est considérée comme une réponse ou adaptation au manque d'eau (**Blum, 1996**).

L'enroulement des feuilles permet à la plante de réduire sa transpiration par une diminution de la surface foliaire exposée à l'énergie solaire (**Bensalem et al., 1991**).

La longueur des barbes est un paramètre morphologique qui semble également étroitement lié à la tolérance au stress hydrique (**Hadjichristodoulou, 1985**).

La hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important particulièrement dans les zones arides, ceci s'expliquerait par le fait qu'une paille haute s'accompagne souvent d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une capacité d'extraction de l'eau supérieure (**Bagga et al., 1970**).

Il a été admis que les variétés de céréales les plus tolérantes à la sécheresse sont celles qui se caractérisent par une paille haute. Cette tolérance résulterait de l'aptitude à remplir correctement le grain en phase terminale du cycle grâce aux quantités d'assimilés stockés dans la tige et particulièrement au niveau du col de l'épi (**Blum, 1988**).

Longueur du col de l'épi constitue un bon indicateur de tolérance au déficit hydrique, Le rôle de ce paramètre s'expliquerait par la quantité d'assimilés stockée par ces organes susceptibles d'un transfert vers le grain en cas de déficit terminal (**Gate et al., 1990**).

II.6.2.b. Le système racinaire

Le système racinaire, facteur de variabilité inter et intra spécifique constitue l'un des principaux paramètres d'adaptation des céréales dans des milieux caractérisés par le déficit hydrique (**Khaldoun et al., 1990**). En effet les possibilités d'extraction de l'eau par les céréales sont, en zones sèches, étroitement liées à la dynamique de croissance des racines (**Richards et Passioura, 1981**). Les travaux effectués par **Adda et al. (2005)**, ont montré que

la variété ayant le système racinaire le plus développé en conditions de déficit hydrique a donné le rendement le plus élevé, Les plantes à enracinement superficielle et peu dense souffrent plus du déficit hydrique que ceux à enracinement profond (**El hassani et Persoons, 1994**).

Hurd (1968), a montré qu'un système racinaire bien développé permet de lutter contre la chute de rendement en cas de déficit hydrique, et que la résistance à la sécheresse dépend de la distribution de la croissance racinaire.

II.6.3. Paramètres physiologiques

II.6.3.a La teneur relative en eau

La caractérisation du statut hydrique d'une plante pourrait passer par la seule évaluation de la teneur relative en eau. **Clarke et Craig, (1982)** attirent l'attention sur l'utilisation de la teneur relative en eau comme indicateur de l'état hydrique de la plante sous stress. **Scofield et al. (1988)** notent que la teneur en eau diminue lorsque le stress augmente, mais elle diminue plus vite chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes. La TRE en plus de sa relation avec le volume cellulaire reflète plus précisément la balance entre l'eau disponible dans la feuille et le taux de transpiration, le potentiel osmotique et de turgescence (**Nouri, 2002**).

II.6.3.b. La régulation stomatique

Les stomates jouent un rôle primordial dans la régulation de la balance hydrique de la plante (**Lake et al., 1963** cité par **Chahbar, 2000**).

Il est le premier mécanisme détectable avant toute modification des autres paramètres hydriques tels que le potentiel hydrique foliaire, le potentiel osmotique et la teneur relative en eau (**Djekkoun et Ykhlef, 1996**).

La réduction de la perte en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes au stress hydrique (**Djekoun et Planchon, 1992**). Cette diminution de la transpiration peut engendrer une réduction de la photosynthèse. (**Ykhlef, 2001**).

L'augmentation du nombre de stomates par unité de surface pourrait être un des facteurs de résistance au stress hydrique chez les céréales si elle est accompagnée par une bonne activité physiologique (**Slama, 2002**). L'accroissement de la densité stomatique peut augmenter l'assimilation nette du CO₂ et diminuer la perte en eau. En effet, un nombre élevé de stomates peut engendrer des stomates de petite taille et à fermeture rapide (**Djekoun et Ykhlef, 1996**).

Erchidi et al. (2000) qui ont constaté que les variétés ayant une conductance et une densité stomatique élevée sont plus résistantes au stress hydrique en donnant le rendement en grains le plus satisfaisant.

II.6.3.c. La teneur en chlorophylle

Pour limiter les pertes en eau par évaporation et aussi l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse, l'économie de l'eau se traduit par une turgescence relative moins affectée par le stress conduisant à une dilution de la chlorophylle (**Slayter ,1974**). Le rapport chlorophylle (a/b) est un bon indicateur du seuil de tolérance au stress hydrique (**Guettouche, 1990**).

II.6.3.d. La pilosité, la glaucescence et les cires

La pilosité des feuilles et des tiges, la glaucescence et la présence de cires sont considérées comme des facteurs d'adaptation à la sécheresse ; elles sont associées à un abaissement de la température des feuilles et à une réduction de la transpiration (**Ceccarelli, 1987**).

II.6.4. Paramètres biochimiques : accumulation des osmotocums (l'ajustement osmotique)

II.6.4.a Accumulation de la proline

L'accumulation de la proline constitue aussi un véritable mécanisme de tolérance au stress hydrique.

L'existence chez les céréales d'une variation intra spécifique pour l'accumulation de la proline sous l'effet du stress hydrique suggère la possibilité d'une sélection, sur la base de ce caractère, des génotypes qui auront une bonne capacité à survivre et un rendement en grains stable en conditions hydriques limitantes (**Bergareche et al., 1993**).

Venekamp et al.(1988) in chaib, (1998), montrent que la proline pourrait avoir un rôle très important dans l'ajustement de métabolisme énergétique, sa synthèse étant très liée au métabolisme des sucres et la respiration.

Ober et Sharp, (1994) mentionnent que l'ABA est nécessaire pour l'accumulation de la proline sous faible potentiel.

II.6.4.b. Acide abscissique

L'ABA joue un rôle de médiateur dans les réponses au stress hydrique, principalement dans les mouvements stomatiques. Des travaux effectués au niveau moléculaire sur les effets de

l'ABA et du stress hydrique confortent l'hypothèse selon laquelle cette hormone joue un rôle clé dans la réponse au stress hydrique (El jaafari et *al.*, 1993).

II.6.4.c. Synthèse des protéines liées à la tolérance au stress hydrique

Les protéines de stress jouent un rôle dans l'adaptation de la plante et de ce fait de nombreux chercheurs abordent la résistance au stress par l'isolement et l'étude de ces molécules (Campalans et *al.*, 1999).

Schulze et *al.* (2005) ont écrit qu'une partie des protéines induites ont une fonction directe dans l'augmentation de la tolérance au stress (protéines fonctionnelles), d'autres ont une fonction dans la chaîne de transduction (Protéines régulatrices) qui aboutiront à la production de protéines fonctionnelles.

II.6.4.d. Sucres solubles

D'après Bensari et *al.* (1990) ; le potentiel osmotique peut être maintenu pour un stress hydrique de faible ou moyenne intensité, par ajustement osmotique. Les sucres peuvent servir de composés solubles compatibles pour cet ajustement osmotique, comme de nombreuses autres molécules (proline, glycine-bétaine ou pinitol).

II.6.4.e. Glycine betaine

La bétaine est synthétisée et transportée dans les cellules en réponse au stress, en particulier dans de nombreuses plantes cultivées telles que la betterave à sucre (*B. vulgaris*), les épinards (*Spinacia oleracea*), l'orge (*Hordeum vulgare*) et le blé (*Triticum aestivum*) (Ashraf and Foolad, 2007).

II.6.5. Paramètres anatomiques

Une des principales modifications structurelles, observée sur des plantes ayant subi un stress hydrique, concerne l'altération des propriétés physico-chimiques des parois cellulaires (Dixon et Paiva, 1995).

Tableau I.3: Paramètres phénologiques et morpho physiologiques d'adaptation au déficit hydrique (Monneveux, 1991).

Paramètres d'adaptation		Exemples
Paramètres phénologiques		- Précocité
Paramètres morphologiques	Paramètres macromorphologiques	- extension du système racinaire - port et surface des feuilles - taille du chaume - longueur des barbes - enroulement des feuilles - densité du trichome - glaucescence et couleur des feuilles
	Paramètres micro morphologiques	- présence de cires - densité et taille des stomates - compaction du mésophylle - épaisseur de la cuticule - nombre et diamètre des vaisseaux au xylème racinaire
Paramètres physiologiques		- effets stomatiques et non stomatiques du déficit hydrique sur la photosynthèse - réduction de la transpiration par fermeture des stomates - maintien d'un potentiel hydrique élevé - osmorégulation (accumulation d'ions minéraux, de proline, de sucres solubles)

Les paramètres morpho physiologiques d'adaptation permettent de rendre compte des phénomènes de tolérance avec potentiel hydrique élevé, de tolérance avec faible potentiel hydrique et de résistance (ou tolérance à la déshydratation).

- la tolérance avec potentiel hydrique élevé ou (retard dans la déshydratation) est liée à la réduction des pertes d'eau (régulation stomatique, adaptations micro morphologiques des tissus foliaires, enroulement des feuilles, glaucescence induisant une augmentation de la réflectance) et/ou à une augmentation des quantités d'eau consommées

(importance du système racinaire, mécanismes de transfert prioritaire de l'eau vers les organes en croissance) ;

- la tolérance avec faible potentiel hydrique est caractérisée par une diminution du potentiel hydrique, et par un maintien du potentiel de turgescence, l'ajustement du potentiel osmotique pouvant être réalisé par l'accumulation d'ions minéraux (vacuole) et de composés organiques (sucres solubles, proline) ;
- la résistance ou tolérance à la déshydratation est liée à une aptitude plus ou moins grande du génotype à maintenir l'intégrité de ses structures (membranes) et de ses fonctions (photosynthèse) (**MONNEVEUX, 1991**).

Chapitre II

Partie expérimental

I- Essais en conditions contrôlées

I.1. Introduction

Les deux essais en conditions contrôlées ont pour objectif d'évaluer les paramètres racinaires impliqués dans la préservation de l'état hydrique de la plante, ainsi quelques paramètres de l'ajustement osmotique tel que l'accumulation des sucres et l'accumulation de potassium, en plus des paramètres morphologique et physiologiques aérienne (la hauteur des chaumes, RWC, RWL, les cires, la résistance stomatique), L'étude de ces paramètres a fin de voir la stabilité des paramètres mesurés chez l'ensemble des génotypes.

Concernant l'essai sous serre 2016, l'essai été arrêté au stade maturité, pour l'essai 2017 l'arrêt de l'essai jusqu'à stade épiaison.

I.2. Matériels et méthodes

I.2.1 Le matériel végétal utilisé

Le matériel végétal utilisé est commun entre les deux années, constitué de huit génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) d'origines géographiques distinctes et différentes par leur réponse au déficit hydrique. Ils comprennent trois génotypes locaux (Tichedrett, Beldi et Saida) et cinq autres de l'ICARDA (International Center for Agricultural Research in Dry Areas) (Malouh, Seg09, Mari29, Awblack et Beecher).

Tableau II.1: les principales origines du matériel végétal utilisé

N⁰	Variété	Origine	Rangs
01	Tichedrett	Local	6 rangées
02	Beldi	Local	6 rangées
03	Saida	Local	6 rangées
04	Malouh	ICARDA	6 rangées
05	Seg09	ICARDA	6 rangées
06	Mari 29	ICARDA	6 rangées
07	Awblack	ICARDA	6 rangées
08	Beecher	ICARDA	6 Rangées

I.2.2. Conditions de l'expérimentation

I.2.2.1 Localisation de l'essai

L'expérimentation a été menée dans une serre semi-automatique au niveau de la Faculté des Sciences de la nature et de la vie de l'université de Tiaret. Les essais sont conduits à des

températures nocturnes d'environ 15°C et diurne de 20°C et une humidité relative d'environ 70%.

I.2.2.2. Conditions et conduite de culture

L'essai de la campagne (2015-2016) a été installé le 04/02/2016 et le deuxième essai (2016-2017) a été installé en 15/01/2017. Le semis est pratiqué par des graines pré-germées, dans des cylindres en polyéthylène de 1m de longueur et 11cm de diamètre, remplis d'un substrat composé d'un mélange de sable, sol et matière organique à des proportions de 3 : 1 : 1, le substrat reconstitué a une capacité de rétention (20%).

Les graines sont préalablement désinfectées à l'eau de javel (5%) puis rincées par trois lavages avec de l'eau distillée. Les semences sont ensuite placées dans des boîtes de Pétri munies de papier filtre saturé d'eau distillée et placées à l'étuve réglée à une température de 25°C.

I.2.2.3. Dispositif expérimental

Les cylindres ont été disposés en trois traitements, un traitement sans déficit hydrique (SDH) et de deux autres avec deux niveaux de déficit hydrique ADH1 et ADH2 (60%CC et 30%CC). Au niveau de chaque traitement, chaque génotype est répété cinq fois.

Figure II.1 : le dispositif expérimental de l'essai sous serre



SDH

ADH2

ADH1

I.2.2.4. Pratique de l'irrigation

Après la levée, les plantes de tous les traitements ont été irriguées à 100% de la capacité du champ jusqu'à la fin du tallage en fournissant la quantité d'eau évapotranspirée, déterminée en pesant les cylindres de culture. Après cette étape, les régimes d'irrigation ont été modifiés pour les trois traitements de l'eau. Le contrôle des plantes a été maintenu à 100% de la capacité du champ. Pour les deux autres traitements, l'irrigation a été progressivement suspendue et, au stade montaison, les cylindres ont atteint des taux d'humidité de 60 et 30% de FC nettement. À partir de ce stade, les plantes ont été conduites selon les trois régimes d'eau (100% FC, 60% FC et 30% FC) par irrigation pour remplacer la quantité d'eau évapotranspirée jusqu'au stade de la mesure. L'eau d'irrigation est remplacée chaque semaine par une solution nutritive commerciale (ACTIVEG).

Tableau II.2: compositions de la solution nutritive

Compositions	Eléments	Teneurs
Eléments majeurs	N	20%
	P ₂ O ₅	20%
	K ₂ O	20%
Oligo-éléments	MgO	0.4%
	Fe	650 ppm
	Mn	650 ppm
	Mo	50 ppm
	SO ₃	0.8%
	Cu	60ppm
	Zn	300ppm
	B	300ppm

I.2.2.5. Le traitement phytosanitaire

Au cours de l'expérimentation les plantes infectées par une maladie, c'est un champignon *Oidium*. Nous avons procédé à deux traitements par l'utilisation de produits fongicides : la BOUILLIE BORDELAISE et le VALETTE avec des périodes mentionnés sur le tableau suivant :

Tableau II.3: Les périodes de traitement phytosanitaire

Le produit	La dose	Le traitement	Date de traitement
BOUILLIE BORDELAISE		Première	25/02/2016
		Deuxième	02/03/2016
		Troisième	06/03/2019
		Quatrième	09/03/2016
VALETTE FOSETYL- ALUMINIUM	25g/10L	Cinquième	02/04/2016
		Seizième	09/04/2016
		Centième	18/04/16
		Huitième	20/04/16
		Neuvième	01/05/2016

I.3. Les paramètres mesurés

I.3.1. La partie aérienne

I.3.1.1. Les paramètres physiologiques

I.3.1.1.a. La teneur relative en eau

L'état hydrique des plantes est évalué par des mesures de la teneur relative en eau (TRE). La teneur relative en eau est mesurée sur la dernière feuille bien développée selon la méthode de **Barrs et Weatherley (1961)**. Les valeurs de la (TRE) sont déterminées à partir de la formule :

$$TRE = (Pf - Ps) / (Pr - Ps) \times 100$$

Où **Pf** représente le poids frais (limbe de la feuille excisé à sa base et immédiatement pesé), **Pr** est le poids de réhydratation (feuille coupée et placée dans un tube à essai contenant de l'eau distillée, Pendant 24 heures à 4°C), **Ps** est le poids sec déterminé après passage de l'échantillon dans une étuve à 80°C pendant 48 heures.

I.3.1.1.b. Taux de déperdition d'eau par la feuille excise RWL (rate water loss)

La perte d'eau par transpiration (RWL) est évaluée selon la méthode de **Clarke et Mclaig (1989)**. La feuille est coupée à la base du limbe, la partie sectionnée est trempée immédiatement dans un tube à essai rempli d'eau distillée et placée à l'obscurité à une température de 4°C pendant 12 heures. A la pleine turgescence, les feuilles sont essuyées et pesées, ce qui constitue le poids en pleine turgescence (Ppt).

Elles sont ensuite placées sur une pailleuse au laboratoire, à température ambiante. Des pesées sont effectuées à deux temps différents : 60 mn (**RWL60**) et 120 mn (**RWL120**), La surface foliaire SF a été mesurée en cm².

La perte d'eau est évaluée par l'équation :

$$RWL (mgH_2O/cm^2 /mn) = (Ppt - Ptemps) / (SF * T)$$

I.3.1.1.c. Dosage des cires

Le dosage des cires épicuticulaires a été effectué sur la dernière feuille, les cires sont extraites par agitation pendant 15 s dans le chloroforme (**Mayeux et al., 1981**) et l'extrait est ensuite séché à 40 °C jusqu'à stabilisation de la masse (**Febrero et al., 1989**).

I.3.1.1.d. La résistance stomatique

La résistance stomatique au niveau des feuilles a été mesurée à l'aide d'un Poromètre AP4 (DELTA-T DEVICE Cambridge-U.K). En premier lieu, on fait l'étalonnage de l'appareil; puis on lance la lecture. Il s'agit d'insérer la partie médiane de la feuille dans la pince (**Herbinger et al., 2002**). Les données de la résistance stomatique sont stockées dans l'appareil de mesure et ensuite transférées vers un ordinateur pour leur traitement.

I.3.1.2. Paramètres morphologiques

I.3.1.2.a. Hauteur de chaume (cm)

On mesure juste avant la récolte un échantillon de 5 plantes, au stade maturité à partir du ras du sol jusqu'aux point d'insertion de l'épi.

I.2.1.2.b. Le nombre de talles

Le nombre de talles est déterminé par comptage direct des talles de la plante.

I.3.1.3. Paramètres biochimiques

I.2.1.3.a Dosage des sucres soluble.

Les sucres sont dosés par la méthode de **Schiolds et Burnett (1960)**, Ces sucres sont extraits après macération dans un solvant capable de les solubiliser et de bloquer l'activité enzymatique apte à la dégrader.

- **Au niveau des feuilles**

Le matériel végétal prélevé (57 mg) (tiers médian de la feuille), est laissé 24 h dans 3 ml d'éthanol à 80 %. L'extrait obtenu est dilué 10 fois avec l'éthanol à 80 %. De la solution obtenue, 2 ml sont prélevés, auxquels on ajoute 4 ml de réactif composé de 0.25 g d'anthrone pure additionnée à 125ml d'acide sulfurique (H₂SO₄). Le réactif est préparé 4 heures à l'avance. Le mélange extrait-réactif doit être maintenu dans de la glace fondante. Après

agitation, les tubes sont placés au bain-marie à 92°C pendant 8 mn, puis refroidis pendant 30 mn à l'obscurité. L'absorbance est lue au spectromètre à une longueur d'onde de 585 nm. Enfin des résultats des densités optiques sont rapportés sur un courbe étalon des sucres solubles exprimés en glucose (Figure II.2), La concentration des sucres solubles est exprimée en mg/gMF.

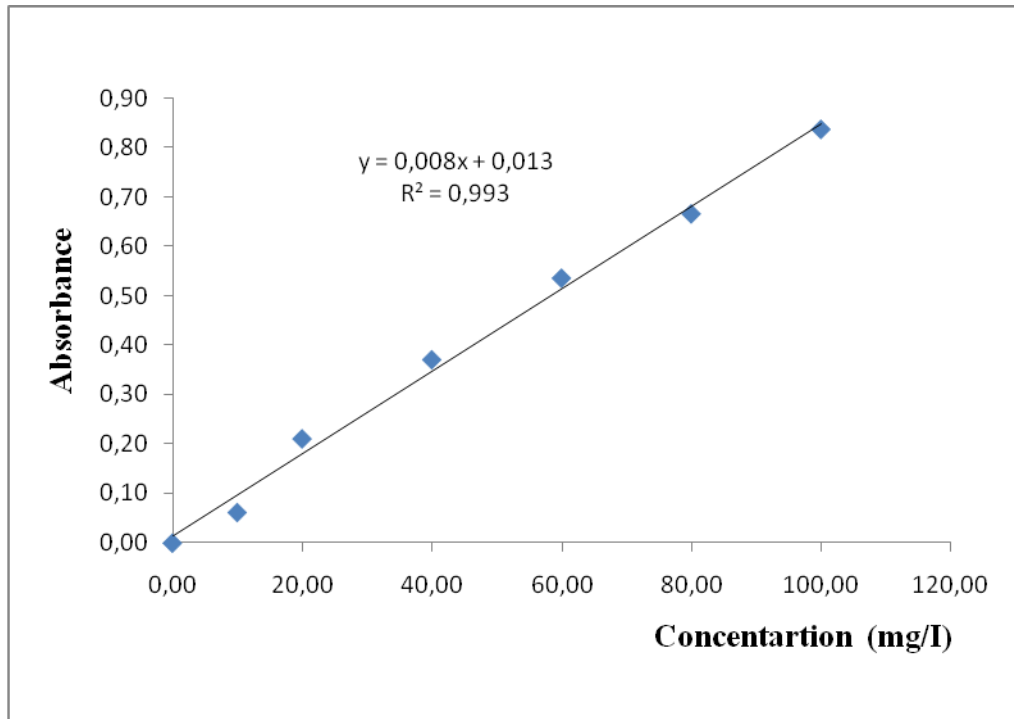


Figure II.2 : La courbe étalon de glucose

I.2.1.3.b. Dosage des cations K^+

Le dosage des cations a été effectué selon la méthode de **Chapman et Pratt (1962)**. Cette méthode consiste à peser 0,5 à 1g de matière végétal, bien broyé dans un creuset en porcelaine (30-50 ml) ensuite mis dans un four à moufle et on augmente la température progressivement jusqu'à 550° pendant 5 heures (jusqu'à l'obtention de cendre blanche). Une fois la calcination terminée, on transfère entièrement les cendres dans un bêcher de 100ml et ensuite homogénéiser les cendres humides dans 5ml de l'acide chlorhydrique (HCL, 2N) et mélange avec une tube de verre, après 15-20 mn on complète le volume à 50 ml avec l'eau distillée et on laisse la solution de cendre à 30 mn. Ensuite on filtre la suspension dans une fiole de 50ml. Le dosage se fait par le spectromètre à flamme.

I.3.2. Le système racinaire

Au stade maturation, les cylindres sont vidés de leur contenu par l'utilisation d'un jet d'eau, des plantes entières sont récupérées, les parties souterraines sont soigneusement lavées.

Les mesures ont porté sur :

- ◆ La longueur des racines ;
- ◆ Le nombre des racines ;
- ◆ Masse de la matière sèche racinaire totale obtenue après passage à l'étuve à 80°C pendant 48heures; Masse de la matière sèche arienne.

I.3.3. Les composants du rendement :

L'évaluation des composants du rendement concernant seulement l'essai 2016 a stade maturité.

- **Nombre d'épis par plante:** Il est obtenu par comptage direct de tous les épis formés /répétition
- **Nombre des grains par épis:** Le comptage direct du nombre de grains par épis nous a renseigné l'effet du stress hydrique sur ce paramètre.
- **Poids de 1000 grains (PMG) en gramme :** Le poids de 1000 grains est déterminé sur la base du comptage et pesage d'un échantillon de 20 graines avec une balance de précision. Dont le poids est calculé à l'aide d'une règle de trois.

I.4. le traitement statistique : le traitement des données est réalisé avec Statistica 08

I.4. Résultats et discussion

I.4.1. Essai sous serre 2016

I.4.1.1. La partie aérienne

I.4.1.1.1. paramètres physiologiques

I.4.1.1.1.a. Teneur relative en eau

Les résultats obtenus de la teneur relative en eau (Table II.4) varient significativement sous l'effet des variations de l'alimentation hydrique que celui de la nature des géotypes testés. En effet, l'application du déficit hydrique s'accompagne d'une importante diminution de la teneur relative en eau ($r = -0.71^{**}$) chez l'ensemble des géotypes testés.

Tableau II.4: effet du géotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les mesurés chez les 8 géotypes.

Paramètre	Effet du géotype	Effet hydrique	Géotype*hydrique
	Test F	Test F	Test F
RWC	1,36 ^{ns}	38,81 ^{***}	1,32 ^{ns}

Au niveau du lot témoin (100%CC), les valeurs (Table II.5) s'échelonnent entre 87.75%, valeur inscrite par Awblack et 93.79% observée chez Seg09. L'application du déficit hydrique provoque une diminution, au niveau du lot 60%CC, ces diminutions restent variables chez les géotypes testés, ou Tichedrett et Beecher enregistrent un taux de diminution important estimé à 6%, à l'opposé le géotype Beldi inscrit une diminution moins importante avec un taux de 1%, On remarque que les géotypes inscrivant des diminutions moyens de 2%(Mari29), 3%(Malouh), 4%(Seg09 et Saida), 5%(Awblack).

Au niveau du lot (30%CC) les diminutions de la TRE s'avèrent la plus marquantes où le taux de diminution a été estimé à 9%. Ainsi, on note que le géotype Beldi se distingue parmi la collection en inscrivant la plus faible de diminution (3%) et à l'opposé, le géotype Segs'avère le plus affecté à ce niveau d'alimentation hydrique en inscrivant la plus haute valeur avec 18%.

Tableau II.5: Résultats moyenne de la teneur relative en eau chez les géotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).

Géotype	Situation hydrique	RWC(%)	RWC Std. Errs
Tichedrett	100%CC	91,67	1,28
Tichedrett	60%CC	85,90	0,64
Tichedrett	30%CC	80,48	2,40
Beldi	100%CC	88,51	2,00
Beldi	60%CC	87,77	1,44
Beldi	30%CC	86,15	1,99
Saida	100%CC	89,05	2,42
Saida	60%CC	85,46	0,88
Saida	30%CC	79,92	1,86
Maluoh	100%CC	89,67	0,32
Maluoh	60%CC	87,29	0,78
Maluoh	30%CC	85,05	2,45
Seg09	100%CC	93,80	2,82
Seg09	60%CC	89,64	2,46
Seg09	30%CC	77,37	2,54
Mari29	100%CC	91,45	0,62
Mari29	60%CC	89,44	0,86
Mari29	30%CC	81,04	2,32
Awblack	100%CC	87,75	3,85
Awblack	60%CC	83,05	4,02
Awblack	30%CC	80,21	2,96
Beecher	100%CC	90,65	7,13
Beecher	60%CC	85,66	1,16
Beecher	30%CC	79,56	1,05

I.4.1.1.1.b. Le taux de déperdition d'eau par la feuille excisée RWL (rate water loss)

Le taux de déperdition d'eau par la feuille excisée au cours de la première phase (RWL1) ou (**RWL60**) est représenté par une transpiration essentiellement stomatique s'effectuées avec des pesées après 60 mn.

L'élaboration de la perte d'eau n'a pas été influencée à la fois par la nature des géotypes testés et le régime hydrique appliqué et ainsi par leur interaction ($P > 0.05$).

Tableau II.6: effet du génotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les paramètres physiologiques et morphologiques et biochimiques mesurés chez les 8 génotypes.

Paramètre	Effet du génotype	Effet hydrique	Génotype*hydrique
	Test F	Test F	Test F
RWL1	0,84673 ^{ns}	0,71702 ^{ns}	1,04094 ^{ns}
RWL2	0,36660 ^{ns}	2,85131 ^{ns}	0,68050 ^{ns}
résistance stomatique	4,8949 ^{***}	50,0227 ^{***}	4,5748 ^{***}
Taux de la cire	1,4339 [*]	0,0738 ^{ns}	1,0467 [*]
MSA	3.235 ^{**}	93.065 ^{***}	5.094 ^{***}
Nombre de talle	7.708 ^{***}	21.338 ^{***}	1.834 ^{ns}
Longueur des chaumes	3.442 ^{**}	46.250 ^{***}	1.685 ^{ns}
Taux des sucres	1,9197 ^{ns}	16,9805 ^{***}	0,8131 ^{ns}
Taux de potassium	3,295 ^{***}	3,766 ^{**}	2,256 [*]

Les différents effets sont exprimés statistiquement par le test F.

** : Effet significatif au seuil de 1% ; *** : effet significatif au seuil de 0.1% ; * effet significatif au seuil de 5% ; ns : effet non significatif.

Les résultats moyens informent que la perte d'eau est plus élevée au niveau des feuilles issues du dispositif conduit en conditions stressé que celui du témoin chez la plupart des génotypes à l'exception des génotypes Awblack et Beecher qui sont manifesté insensible au stress. Au niveau du traitement témoin, les génotypes Mari, Saida, Beldi et Tichedrett ont inscrit les plus faibles taux de déperdition d'eau avec des valeurs respectives de et 37,7±0.005, 37±0.006, 35,6±0.008 et 29.7±0.002 mg/min/cm². A l'opposé, les génotypes Beecher, Awblack, Seg09 et Malouh ont donné les plus importants taux de perte d'eau avec des niveaux de l'ordre de 151.7±0.115, 60.1±0.003, 41.3±0.005 et 39±0.007mg/min/cm².

Au niveau du traitement ADH1, le génotype Beldi a inscrit le plus important taux de perte d'eau avec 50.00±0.003 mg/min/cm². Alors que le génotype Seg09, est enregistré la plus faible valeur avec 30,8±0.006 mg/min/cm². Dans le traitement hydrique ADH2, les augmentations de la perte d'eau est maintiennent encore. Ainsi, elles sont oscillent entre les

valeurs 52.4 ± 0.008 et 35.7 ± 0.006 mg /min/cm² respectivement chez Seg09 et Beldi. A l'exception de Malouh, Awblack et Beecher qui marquent une diminution et s'avèrent insensible au stress.

L'analyse statistique de la perte d'eau par la feuille excisée ou cour de la deuxième phase (essentiellement transpiration cuticulaire et résiduel) (Table II.6) montre que ce paramètre n'est pas influencé par la variabilité génétique testée et le régime hydrique imposé. L'interaction entre les deux facteurs (génotype x situations hydrique) n'exerce aucun effet sur les fluctuations des valeurs de ce paramètre ($P > 0.05$).

Contrairement à la première phase, Les résultats moyens de ce paramètre montrent que la perte d'eau est plus élevée au niveau des feuilles issues du dispositif témoin que celui conduit en conditions stressé, contrairement le génotype Tichedrett qui marque une évolution négative de 27,76% et s'avère insensible au stress.

Au niveau du traitement témoin et au cours de cette phase, la perte d'eau est faible chez le génotype Beldi, avec valeur 29.3 ± 0.007 mg d'H₂O/cm²/mn et est élevée chez le génotype Beecher avec 108.9 ± 0.079 mg d'eau perdue /mn/cm². Au niveau du traitement ADH1, les valeurs oscillent entre un maximum réalisé par le génotype Malouh de 46.00 ± 0.009 mg/cm²/mn et un minimum marqué par le génotype Beecher de $26,2 \pm 0.001$ mg/cm²/mn. Dans le traitement hydrique ADH2, la perte en eau est moins importante surtout pour le génotype Awblack et Malouh avec respectivement 23.5 ± 0.001 et 27.1 ± 0.003 mg/cm².mn.

Tableau II.7: Résultats moyenne de la RWL1 et RWL2 chez les géotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).

Géotype	Situation hydrique	RWL1 (mg/cm ² /mn)	RWL1 Std. Errs	RWL2 (mg/cm ² /mn)	RWL2 Std. Errs
Tichedrett	100%CC	29,7	0,0028	26,3	0,0041
Tichedrett	60%CC	43,2	0,0030	32,3	0,0018
Tichedrett	30%CC	50,6	0,0084	34,9	0,0060
Beldi	100%CC	35,6	0,0080	29,3	0,0073
Beldi	60%CC	50	0,0032	40,2	0,0035
Beldi	30%CC	35,7	0,0061	27,9	0,0035
Saida	100%CC	37	0,0068	58,7	0,0390
Saida	60%CC	38,9	0,0008	35,4	0,0032
Saida	30%CC	51,4	0,0116	37,7	0,0082
Maluoh	100%CC	39	0,0077	56,9	0,0442
Maluoh	60%CC	42	0,0083	46	0,0095
Maluoh	30%CC	32,2	0,0044	27,1	0,0033
Seg09	100%CC	41,3	0,0054	55,7	0,0186
Seg09	60%CC	30,8	0,0069	28	0,0065
Seg09	30%CC	52,4	0,0083	32,4	0,0056
Mari29	100%CC	37,7	0,0054	40,2	0,0045
Mari29	60%CC	35,1	0,0049	39,6	0,0041
Mari29	30%CC	38,4	0,0039	45,1	0,0133
Awblack	100%CC	60,1	0,0036	66,8	0,0056
Awblack	60%CC	41,5	0,0030	31,5	0,0014
Awblack	30%CC	43,5	0,0036	23,5	0,0019
Beecher	100%CC	151,7	0,1159	108,9	0,0790
Beecher	60%CC	43,7	0,0042	26,2	0,0015
Beecher	30%CC	34,3	0,0058	29,6	0,0061

I.4.1.1.c. La résistance stomatique

Les résultats obtenus (Table II.6), montrent que la résistance stomatique est fortement dépendante des variations du régime hydrique appliqué, et la nature des géotype ainsi que l'interaction entre les deux facteurs ($p < 0.001$).

Les résultats moyens (Table II.8) montrent que le déficit hydrique augmente considérablement la résistance stomatique. Néanmoins, cette augmentation dépend, de l'intensité du déficit hydrique et indépendante de la nature du géotype conduit. Au niveau du traitement témoin (SDH), la résistance stomatique est comprise entre $4.24 \pm 2.48 \mu\text{mol}^{-1} \cdot \text{s}$ (Awblack) et $1.11 \pm 0.13 \mu\text{mol}^{-1} \cdot \text{s}$ (Maluoh).

Dans le traitement conduit à 60% CC (ADH1), les augmentations de résistance par rapport au témoin est de est comprise entre $2.91 \pm 0.47 \mu\text{mol}^{-1} \cdot \text{s}$ (Seg09) et $2.56 \pm 0.64 \mu\text{mol}^{-1} \cdot \text{s}$ (Tichedrett).

Dans le dernier niveau de stress (30 % CC), on note une augmentation plus importante de la Résistance stomatique chez les 8 génotypes étudiés mais à des degrés différents, avec une Résistance stomatique maximale égale à $19.13 \pm 0.52 \mu\text{mol}^{-1} \cdot \text{s}$ enregistrée chez le génotype Saida et une Résistance stomatique minimale égale $2.76 \pm 1.88 \mu\text{mol}^{-1} \cdot \text{s}$ à enregistrée chez le génotype Tichedrett.

I.4.1.1.1.c. Taux des cires

L'analyse des résultats dégagés (Table II.6), démontre que l'expression du taux des cires épicuticulaire est sous une influence hautement significative de la nature des génotypes testés. Les traitements hydriques adoptés ainsi que L'interaction entre les deux facteurs permet des variations non significatives sur l'élaboration de cette variable.

Les résultats moyens (table II.8) montrent qu'au niveau du lot SDH, le génotype Beldi a enregistré un taux de cire élevée de $893.170 \pm 0.04 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ alors que le génotype Malouh a donné $450.448 \pm 0.01 \mu\text{g}/\text{cm}^2$.

Les variations des niveaux de déficit hydrique ne engendré aucun variation importante et marquent une diminution, au niveau du lot ADH1 en notée un taux maximum de $790.364 \pm 0.05 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ marquée par le génotype Awblack et un minimum $527.378 \pm 0.03 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ enregistré par le génotype Seg09. Alors au niveau du lot ADH2, le taux de cire varie avec un maximum de $760.952 \pm 0.05 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ chez le génotype Tichedrett et un minimum $346.332 \pm 0.04 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ enregistrée par le génotype Malouh.

Tableau II.8: Résultats moyenne du taux des cires et la résistance stomatique chez les géotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).

Géotype	Situation hydrique	Taux des cires (µg/cm ²)	TC Std. Errs	La résistance stomatique (µmol ⁻¹ .s)	RS Std. Errs
Tichedrett	100%CC	678,3	0,03	2,26	1,03
Tichedrett	60%CC	663,15	0,02	2,56	0,64
Tichedrett	30%CC	760,952	0,05	2,76	1,88
Beldi	100%CC	893,17	0,04	3,06	0,56
Beldi	60%CC	761,146	0,03	2,41	0,63
Beldi	30%CC	493,176	0,13	7,67	0,74
Saida	100%CC	605,136	0,02	3,1	0,16
Saida	60%CC	685,834	0,06	2,13	0,55
Saida	30%CC	614,907	0,07	19,13	0,52
Maluoh	100%CC	450,448	0,01	1,11	0,13
Maluoh	60%CC	542,595	0,04	2,75	0,32
Maluoh	30%CC	346,332	0,04	5,15	1,32
Seg09	100%CC	714,835	0,11	2,57	0,8
Seg09	60%CC	527,378	0,03	2,92	0,47
Seg09	30%CC	543,281	0,03	7,47	0,15
Mari29	100%CC	643,106	0,06	3,03	0,86
Mari29	60%CC	709,633	0,06	1,26	0,07
Mari29	30%CC	575,629	0,07	14,43	3,57
Awblack	100%CC	679,991	0,1	4,24	2,48
Awblack	60%CC	790,364	0,05	1,52	0,44
Awblack	30%CC	623,551	0,07	11,4	5,01
Beecher	100%CC	805,614	0,07	2,25	0,5
Beecher	60%CC	694,521	0,09	2,1	0,18
Beecher	30%CC	734,836	0,09	4,18	0,81

I.4.1.1.2. Paramètres morphologiques

I.4.1.1.2.a. Le nombre de talle

Les données obtenues de l'estimation du nombre de talles (Table II.6), indiquent que son élaboration est conditionnée par les régimes hydriques adoptés d'une part et des natures géotypiques d'autre part ($p < 0.001$). L'accroissement de l'intensité du déficit hydrique s'accompagne d'une nette régression du nombre de talle par plant ($r = -0.40$). L'interaction des

ces deux facteurs exerce une faible action non significative sur cette caractéristique ($p > 0,05$). Les résultats moyens déterminés (Table II.9), montrent qu'au niveau du traitement témoin il est compris entre $8.66 \pm 0,88$ (Awblack) et $18.66 \pm 1,76$ (Tichedrett). L'application du déficit hydrique (ADH1) a provoqué une nette réduction, qui de cette variable mais chez l'ensemble des génotypes expérimentés, les valeurs de cette diminution fluctuent entre 11.00 ± 2.64 talles (Beldi), 5.66 ± 0.88 talles (Malouh). Dans le traitement ADH2, les réductions sont encore plus importantes et chez l'ensemble des génotypes. Elles sont comprises par des limites de 53.57% enregistré par Tichedrett et 3.12% manifesté par Beecher.

Tableau II.9: Résultats moyenne nombre de talle chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).

Génotype	Stress	NT	NT Std. Errs
Saida	100%CC	10,67	1,20
Saida	60%CC	6,67	0,88
Saida	30%CC	6,33	1,20
Tichedrett	100%CC	18,67	1,76
Tichedrett	60%CC	8,67	1,45
Tichedrett	30%CC	8,67	1,45
Beldi	100%CC	15,33	1,45
Beldi	60%CC	11,00	2,65
Beldi	30%CC	13,33	1,67
Malouh	100%CC	9,00	0,58
Malouh	60%CC	5,67	0,88
Malouh	30%CC	6,67	0,88
Seg09	100%CC	10,67	1,20
Seg09	60%CC	7,67	1,20
Seg09	30%CC	7,33	0,67
Mari29	100%CC	12,00	2,08
Mari29	60%CC	6,00	1,00
Mari29	30%CC	7,67	1,45
Awblack	100%CC	8,67	0,88
Awblack	60%CC	6,33	1,86
Awblack	30%CC	9,33	0,88
Beecher	100%CC	10,67	0,88
Beecher	60%CC	10	1,53
Beecher	30%CC	10,33	0,33

I.4.1.1.2.b. La longueur des chaumes.

L'analyse des résultats dégagés (Table II.6), démontre que l'expression de la hauteur des chaumes est sous une influence hautement significative, de la nature des génotypes testés ($p < 0,01$), des traitements hydriques adoptés ($p < 0,001$), ce paramètre reste faiblement influencée par la nature des génotypes concernés par cette étude ($P > 0,05$).

Les résultats montrent (Table II.10) que la longueur des chaumes dans le traitement témoin, est plus élevée que celui relevé au niveau des lots conduits en situation de déficit hydrique, l'accentuation du stress provoque une réduction de ce paramètre ($r = -0,53$).

Au niveau du traitement 100%CC, les valeurs de la hauteur des chaumes est comprises entre $103,07 \pm 4,00$ cm(Saida) et $82,17 \pm 1,71$ cm(Malouh).

Dans le lot 60%CC, les génotypes réagissent de manières très distinctes. Ainsi l'intensification du stress s'accompagne chez les génotypes, Tichedrett, Beldi, Malouh, Seg09, Mari29 et Beecher d'accroissement du hauteur des chaumes à des taux respectives de 6,05, 9,17, 14,60, 1,79, 4,93, 6,92%. A l'opposé, les génotypes Saida et Awblack est réduit par l'intensification du déficit hydrique. Contrairement à ce niveau, dans le lot de stress sévère les réductions sont plus importantes et chez l'ensemble des génotypes. Elles sont comprises par des limites de $64,11 \pm 4,57$ cm enregistré par Mari29 et $78,28 \pm 6,60$ cm manifesté par Saida.

Tableau II.10: Résultats moyenne du LC chez les géotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).

Géotype	Stress	LC (cm)	LC Std. Errs
Saida	100%CC	103,07	4,00
Saida	60%CC	99,83	0,48
Saida	30%CC	78,28	6,60
Tichedrett	100%CC	94,93	1,94
Tichedrett	60%CC	100,67	4,62
Tichedrett	30%CC	73,94	4,46
Beldi	100%CC	93,43	6,72
Beldi	60%CC	102,00	8,04
Beldi	30%CC	67,92	4,58
Malouh	100%CC	82,17	1,71
Malouh	60%CC	94,17	6,93
Malouh	30%CC	86,92	5,85
Seg09	100%CC	87,60	5,41
Seg09	60%CC	89,17	6,97
Seg09	30%CC	67,11	4,06
Mari29	100%CC	88,57	1,41
Mari29	60%CC	92,94	4,28
Mari29	30%CC	64,11	4,58
Awblack	100%CC	83,69	3,33
Awblack	60%CC	78,92	6,47
Awblack	30%CC	72,10	2,27
Beecher	100%CC	90,56	1,87
Beecher	60%CC	96,83	0,93
Beecher	30%CC	70,50	4,47

I.4.1.1.2.c. La Matière Sèche Aérien

Les résultats obtenus durant la seconde période de mesure (Table II.6), expose que les régimes hydrique permettent des variations très hautement significatives dans l'expression de la matière sèche aérienne ($p < 0.001$) où elle est considérablement réduite. La nature du matériel végétal est également à l'origine des variations significatives ($p < 0.001$). On note également des distinctions comportementales des géotypes en réponse aux déficits hydrique appliqués ($p < 0.05$).

Au niveau du traitement témoin (SDH), les valeurs de la matière sèche sont comprises entre 42.67 ± 2.14 g (Tichedrett) et 18.66 ± 1.66 g (Seg09).

L'application du déficit hydrique (ADH1), est accompagnée d'une nette réduction des valeurs de la matière sèche, chez l'ensemble des génotypes expérimentés. Ces régressions ont atteint des niveaux de 73.70 % (Tichedrett) et 72.31% chez Beldi. Le génotype Beecher, s'avère le moins sensible a ce niveau de déficit hydrique, pour l'élaboration de la matière sèche, en inscrivant la plus faible réduction avec 24.72%.

Dans le traitement conduit à ADH2, les valeurs exprimées par les différents génotypes sont largement réduites suite à l'accentuation de stress et sont limités par 9.05 % (Seg09) et 73.44% (Tichedrett).

Tableau II.11: Résultats moyenne de la MSA chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).

Génotype	Stress	MSA (g)	MSA Std. Errs
Saida	100%CC	28,70	6,75
Saida	60%CC	10,53	4,23
Saida	30%CC	13,30	2,08
Tichedrett	100%CC	42,67	2,14
Tichedrett	60%CC	11,22	3,17
Tichedrett	30%CC	11,33	0,24
Beldi	100%CC	27,13	1,71
Beldi	60%CC	7,51	0,97
Beldi	30%CC	10,43	0,73
Malouh	100%CC	22,22	1,03
Malouh	60%CC	10,59	1,00
Malouh	30%CC	12,05	0,82
Seg09	100%CC	18,66	1,67
Seg09	60%CC	9,45	0,60
Seg09	30%CC	16,97	1,95
Mari29	100%CC	23,55	1,92
Mari29	60%CC	7,37	0,60
Mari29	30%CC	14,31	1,38
Awblack	100%CC	19,89	0,15
Awblack	60%CC	10,97	1,40
Awblack	30%CC	16,96	2,50
Beecher	100%CC	24,75	2,15
Beecher	60%CC	18,63	4,38
Beecher	30%CC	13,03	0,09

I.4.1.1.3. Paramètres biochimiques

I.4.1.1.3.a. Les sucres solubles

Les modifications des régimes hydriques imposent des variations très significatives de la teneur en sucres simples chez l'ensemble des géotypes testés (Table II.6). Ainsi, l'accentuation du déficit hydrique s'accompagne d'une nette augmentation de la teneur en sucres ($r= 0.54^{**}$).

Au niveau du traitement témoin (100%CC), les teneurs en sucres varient entre $102.68 \pm 6,72 \text{mg/gMF}$ et $46.71 \pm 5,44 \text{mg/gMF}$, relevé respectivement chez Tichedrett et Awblack. Dans de lot ADH1, l'augmentation des taux d'accumulation des sucres simples s'avèrent plus élevées chez les géotypes Saida et Mari29 avec des valeurs de 112% et 89%. Sous le même régime hydrique, les géotypes Malouh et Seg09 ont inscrit les plus faibles augmentations des sucres avec des progressions respectives de 22% et 24%.

Sous les conditions de déficit hydrique plus sévère (30%CC), les augmentations de l'accumulation des sucres simples s'annoncent plus importantes. Elles atteignent des valeurs de 143%, 174%, 195% et 208% relevées respectivement chez les géotypes, Beldi, Saida, Mari29 et Awblack. Les géotypes, Seg09, Malouh, Tichedrett et Beecher inscrivent les plus faibles augmentations d'accumulation des sucres.

Tableau II.12: Résultats moyenne du taux des sucres et de potassium chez les géotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).

Géotypes	Teneur en sucres solubles (mg/gMF)			Teneur en Potassium (ppm)		
	100%FC	60%FC	30%FC	100%FC	60%FC	30%FC
Tichedrett	102,68	32,86	188,49	189,67	225,67	290,33
Beldi	59,25	83,24	144,08	280,67	328,00	342,67
Saida	76,17	161,82	208,92	277,33	274,67	257,00
Maluoh	72,67	56,40	120,91	230,00	306,33	440,67
Seg09	64,18	80,06	103,12	335,00	286,33	314,00
Mari29	64,07	121,19	189,59	310,67	344,67	340,33
Awblack	46,71	83,40	144,08	279,00	256,00	331,00
Beecher	92,33	132,69	182,96	337,33	349,33	267,33

I.4.1.1.3.b. Taux de potassium

L'étude des résultats obtenus de la mesure de cette caractéristique (Table II.6) montre que leur élaboration est dépendante du régime hydrique, Cependant, l'intensification du stress provoque une nette augmentation de la teneur en potassium($r=0,26^{**}$)

Concernant la teneur en potassium, la valeur moyenne génotypique enregistrée au niveau du traitement témoin est de 279.96 ppm.

Cette valeur croît fortement à travers les différentes situations de déficit hydrique (Table II.12). Elle est de 296.38ppm au niveau du lot ADH1 et de 322.92ppm à l'échelle du lot ADH2. Ces augmentations présentent des taux d'accumulation respectifs de 5% et 15%. Au niveau de la variabilité testée ces transformations sont exprimées de manières très différentes. Ainsi, au niveau du traitement ADH1, le génotype Malouh, extériorise une augmentation très accentuée en comparaison avec le lot témoin, évaluée à 33%. A l'opposé et dans les mêmes situations, Beecher semble que peu affecté par ce déficit hydrique, il inscrit une augmentation de 3%. A l'exception de Saida, Seg et Awblack qui ne sont pas affectés par le stress.

Au niveau du traitement ADH2, les génotypes Malouh et Tichedrett inscrivent les plus fortes augmentations avec des taux respectifs évalués à 91% et 53 %, a l'opposé et dans les mêmes situations, Saida, Seg09 et Beecher ne sont pas affectés par le stress.

I.4.1.2. Etude du système racinaire

I.4.1.2.1. La longueur des racines

L'étude statistique des résultats dégagés (Table II.13), montre que la croissance de la longueur des racines, dans ces conditions expérimentales, est influencée par la nature des génotypes, le régime hydrique ainsi que leur interaction ($p>0.01$). En effet, l'accentuation du déficit hydrique permet l'augmentation de la longueur des racines ($r= 0.21$), cette augmentation est marqué chez l'ensemble des génotypes à l'exception des Tichedrett, Beldi et Malouh s'avèrent insensible au stress.

Tableau II.13: effet du génotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les le système racinaire mesuré chez les 8 génotypes.

Paramètre	Effet du génotype	Effet hydrique	Génotype*hydrique
	Test F	Test F	Test F
Longueur des racines	2.90 ^{**}	4.85 ^{**}	2.45 ^{**}
Nombres de racines	4.669 ^{***}	3.236 [*]	2.742 ^{**}
MSR	6.868 ^{***}	14.738 ^{***}	3.832 ^{***}

À l'échelle du lot témoin les données de cette variable sont comprises entre 115±0.57cm, 115±0.28cm respectivement chez Beldi et Malouh et 90,00±2,88cm(Awblack). Dans le traitement ADH1, ces valeurs sont de l'ordre de 113±4,04cm chez Saida 3 et 97.50±0,86cm chez le génotype Beldi.

Les augmentations de la longueur des racines s'avèrent plus importantes dans le lot ADH2, A ce niveau, le génotype Mari29 se distingue parmi l'ensemble en inscrivant la plus grande augmentation de la longueur de racines avec un taux de 19.28%.

Tableau II.14: Résultats moyenne du LR et la NR chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).

Génotype	Stress	LR (cm)	LR Std. Errs	NR	NR Std. Errs	MSR (g/plante)	MSR Std. Errs
Saida	100%CC	108,50	4,91	20,00	2,31	2,67	0,80
Saida	60%CC	113,00	4,04	24,50	2,02	1,61	0,07
Saida	30%CC	114,00	2,31	24,50	3,75	2,48	0,49
Tichedrett	100%CC	111,00	4,04	23,00	1,15	3,20	0,08
Tichedrett	60%CC	103,50	2,02	19,00	4,04	1,82	0,41
Tichedrett	30%CC	108,50	4,91	20,50	2,02	1,93	0,14
Beldi	100%CC	115,00	0,58	20,50	2,60	2,43	0,35
Beldi	60%CC	97,50	0,87	26,00	5,77	0,77	0,23
Beldi	30%CC	106,00	3,46	18,00	1,73	1,62	0,04
Malouh	100%CC	115,50	0,29	21,00	3,46	1,70	0,08
Malouh	60%CC	102,00	1,15	25,00	0,58	1,73	0,29
Malouh	30%CC	111,50	3,75	16,50	0,87	1,00	0,16
Seg09	100%CC	101,50	2,02	24,00	0,58	1,50	0,28
Seg09	60%CC	104,50	7,79	24,50	2,02	1,06	0,16
Seg09	30%CC	108,00	5,20	17,50	0,29	1,79	0,13
Mari29	100%CC	98,50	4,33	27,00	0,70	2,25	0,55
Mari29	60%CC	102,50	5,48	22,50	4,91	0,70	0,07
Mari29	30%CC	117,50	0,29	36,50	0,29	2,67	0,06
Awblack	100%CC	90,00	2,89	31,00	2,31	1,51	0,28
Awblack	60%CC	102,50	7,22	30,50	3,75	1,21	0,22
Awblack	30%CC	104,50	2,60	23,00	2,31	2,31	0,15
Beecher	100%CC	102,50	2,02	24,50	2,60	2,77	0,20
Beecher	60%CC	106,00	3,46	39,00	6,93	2,96	0,11
Beecher	30%CC	107,50	3,75	24,50	2,60	2,16	0,05

I.4.1.2.2. Le nombre des racines

L'analyse des résultats dégagés (Table II.13), démontre que l'expression du nombre de racines globales par plant est sous une influence hautement significative, de la nature des génotypes testés ($p < 0,001$), des traitements hydriques adoptés ($p < 0,05$) et de leur interaction ($p < 0,01$). En effet et d'une manière générale, l'application des régimes hydriques déficients

provoque une réduction des nombres des racines chez l'ensemble des génotypes, à des degrés différents.

Les résultats moyens (Table II.14), montrent qu'à l'échelle du traitement témoin (SDH), le nombre des racines fluctuent entre des valeurs extrêmes de 31.00 ± 2.30 racines/plant (Awblack) et 20.00 ± 2.30 racines/plant (Saida). Dans le lot ADH1, les génotypes Tichedrett, Mari29 et Awblack se distinguent par leur plus grande sensibilité au déficit hydrique en inscrivant des taux de réductions respectives de 17.39, 16.66 et 1.61%, alors que dans les mêmes conditions, les autres génotypes s'avèrent insensible au stress.

Dans les conditions de stress hydrique plus sévère (ADH2), les réductions des nombres de racines sont plus prononcées. A ce niveau, le génotype Seg09 se distingue parmi l'ensemble en inscrivant la plus grande réduction du nombre de racines avec un taux de 27.08%. Le génotype Tichedrett se manifeste par une sensibilité plus faible (10.86%), les génotypes Saida et Mari29 s'avèrent insensible au stress.

I.4.1.2.3. La matière sèche racinaire

Les résultats dégagés de l'analyse des résultats obtenus (table II.13) révèlent que la matière sèche de la partie racinaire sous influence hautement significatif de la nature des génotypes, ainsi le régime hydrique et leur interaction ($p < 0,001$).

A l'échelle du lot témoin, la plus grande valeur de ce paramètre est inscrite par le génotype Tichedrett avec $3.20 \pm 0.08g$ et la plus faible valeur est inscrite chez le génotype Seg09 ($1.50 \pm 0.27g$).

A l'échelle du lot ADH1, les variétés Saida, Tichedrett, Beldi, Seg09, Mari29 et Awblack en inscrivant une réduction du taux de la matière sèche (49.22%). A l'opposé, le génotype Malouh et Beecher ont manifesté un accroissement des taux de la matière sèche avec des valeurs respectives de 1.76 et 6.85 %.

Au niveau de lot ADH2, les variétés Saida, Tichedrett, Beldi, Malouh et Beecher en inscrivant une réduction de la matière à des taux respectives 7.11, 39.68, 33.33, 41.17 et 22.27%. Les génotypes Seg09, Mari29 et Awblack se comportent différemment aux restes des génotypes ont tendance à élaborer plus de matière sèche dans leurs racines que les autres génotypes, leurs taux d'accroissement est d'ordre 30.32%.

I.4.1.3. Relation entre le RWC et les paramètres physiologiques, morphologiques et biochimiques (l'essai sous serre 2016)

L'étude des relations démontre que l'accroissement de l'intensité du stress, provoque une baisse importante de teneur en eau des feuilles, essentiellement au niveau du lot 30%CC. Ceci prouvé par une nette corrélation négative et significative entre le statut hydrique et la plante d'orge ($r=-0.59^{**}$).

Le paramètre de teneur en eau relative (RWC) est considéré comme l'un des paramètres agricoles les plus simples pouvant être utilisés pour cribler la tolérance à la sécheresse des plantes, Les espèces végétales tolérantes à la sécheresse maintiennent une RWC élevée par rapport aux espèces sensibles à la sécheresse (**Scofield et al., 1988**), Parmi la variabilité conduite, les génotypes **Beldi et Malouh**, constituent de bon géniteurs pour le transfert de ce caractère grâce à la maintien de leur RWC et qui marquent une faible taux de diminution de ce paramètre respectivement de 2% et 4%.

Il constitue également une caractéristique indicatrice, en réponse immédiat à la déclaration des facteurs induisant la sécheresse (**Bajji et al., 2001**). La teneur relative en eau est d'un intérêt majeur dans les travaux de sélection car il serait selon **Araus et al. (1991)** d'une forte héritabilité.

Nos résultats sont similaire de nombreux études, **Stoyanov (2005)** a rapporté que le stress hydrique entraînait une diminution de la RWC chez les espèces de haricots. Récemment, **Balouchi (2010)** a constaté que le stress hydrique pouvait réduire la RWC de sept des huit cultivars de blé australiens, avec des différences nettes entre les cultivars. De même, **Tambussi et al. (2000)** ont rapporté que les cultivars de blé soumis à un stress hydrique présentaient une diminution de la RWC.

A la lumière des résultats obtenus il se démontre que la teneur relative en eau est plus favorisée par les différentes réponses morpho physiologique et biochimique dans les conditions hydriques limitants.

La corrélation positive entre la RWC et la résistance stomatique ($r= 0.40$), s'explique par la fermeture prolongée des stomates. La fermeture stomatique rapide est la meilleure adaptation au stress hydrique, elle permet à la plante d'économiser l'eau disponible et de maintenir une teneur en eau des tissus élevés et aussi une certaine sensibilité à la déshydratation (**Djekoun et Planchon, 1992 ; Djekoun et Ykhlef, 1996**). L'importance des valeurs de la résistance stomatique se traduit par une fermeture des stomates et par conséquent l'évitement de la transpiration. Ces paramètres de référence impliquée dans la préservation des statuts hydrique

des plantes en conditions excessive. Les génotypes dits tolérants ont pu assurer une bonne ouverture stomatique, contrairement aux variétés sensibles dont la fermeture stomatique intense (**El jaafari 1993 in Nouri, 2002**).

Ces résultats se confirment par de nombreux travaux (**Araus et al., 1991 ; Shabala et Lew, 2002**) qui prouvent que tout déséquilibre hydrique pressenti par les plantes se soldent par des réactions de limitation de perte d'eau par à travers les organes transpirant et dont la voie stomatique en est essentiel. **Bousba et al. (2009)** ont montré que le blé répond au stress hydrique par une augmentation dans la résistance stomatique.

Monneveux et Nemmar (1986) pensent que cette résistance stomatique se manifeste par une présence de nombreux stomates de petites taille et à fermeture rapide.

Une forte résistance est proposée comme un paramètre favorable à l'adaptation à la sécheresse. Dans les zones semi-arides, la hauteur du chaume serait pertinente pour la sélection de variétés mieux adaptées à la sécheresse. Une paille relativement haute conférerait à la plante, en cas de limitation sévère de l'alimentation hydrique, une meilleure capacité à tolérer la sécheresse. Ce qui prouvé par la corrélation positive entre la RWC et la longueur des chaume ($r=0.40$). Ce comportement s'expliquerait par des potentiels plus élevés de constitution de réserves glucidiques. Cette contribution de la hauteur du chaume avec les substrats stockés au niveau surtout du dernier entre nœud et du col de l'épi assure un rendement en grain sous stress (**Blum, 1988**). **NizamUddin et Marshall (1989)** mentionnent que la réduction du rendement, sous stress hydrique, est plus importante chez les variétés naines que chez les variétés hautes, pour un même degré de précocité. **Siddique et al. (1989)** font remarquer que la corrélation négative, entre l'efficacité d'utilisation de l'eau et la hauteur de plante, est due au fait que les variétés naines valorisent mieux l'humidité du sol. En plus la hauteur du chaume est associée à un système racinaire capable d'aller en profondeur, suggérant l'adoption des variétés hautes dans les environnements à faible pluviométrie et dans des sols où il y a une humidité résiduelle exploitable en profondeur, la RWC est corrélée positivement et significativement avec la matière sèche aérienne ($r=0.25$), cela expliqué par le fait que la contrainte hydrique provoque la diminution des caractères mesurés liés à la croissance, à l'accumulation de la matière sèche. Selon **Zhu (2001)**, la réduction de croissance des parties aériennes est une capacité adaptative nécessaire à la survie des plantes exposées à un stress abiotique.

I.4.1.4. les paramètres agronomiques : étude des paramètres de productivité (composants du rendement) essai 2016

I.4.1.4.1. Nombre d'épis/plant

Les résultats dégagés de l'analyse des résultats obtenus (table II.15) révèlent que le nombre d'épis/plant dépend essentiellement de l'alimentation hydrique ($p < 0,01$). L'accroissement de l'intensité du déficit hydrique s'accompagne d'une façon proportionnelle à la réduction de ce paramètre ($r = -0.56$). La nature de la variabilité génétique conduite permet également des différences hautement significatives d'expression de cette variable ($p < 0.001$). L'interaction des deux facteurs ne provoquent aucune action notable sur l'expression de ce paramètre ($p > 0,05$), indiquant ainsi des comportements similaires des génotypes à l'égard des régimes hydriques appliqués.

Tableau II.15: effet du génotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les composants du rendement mesurés chez les 8 génotypes.

Paramètre	Effet du génotype	Effet hydrique	Génotype*hydrique
	Test F	Test F	Test F
nombre d'épis/plante	2.6162*	22.8215***	1.7390 ^{ns}
Nombre grain/épi	3.143**	17.699***	1.099 ^{ns}
PMG	3.027*	1.207 ^{ns}	1.372 ^{ns}

Dans les conditions de bonne alimentation en eau (SDH), le nombre d'épi/plant enregistre les grandes valeurs par rapport aux autres traitements stressés, ces valeurs fluctuant entre $17.67 \pm 2.19g$ (Tichedrett) et $6.33 \pm 0.33g$ (Awblack).

L'application du déficit de la première intensité (ADH1), provoque une nette réduction du nombre d'épis/plant chez l'ensemble des génotypes, les plus grandes régressions sont marquées chez Tichedrett (62.25%), Mari29 (43.94%), Malouh (34.81%), Saida (34.60%), Le reste des génotypes de la collection a manifesté une faible réduction du nombre d'épis/plant, où le génotype Beecher se distingue parmi cet ensemble avec une réduction de 3.64%. L'application du déficit hydrique plus sévère (ADH2), est accompagnée d'une nette réduction des valeurs du nombre d'épis/plant, chez l'ensemble des génotypes expérimentés. Ces régressions ont atteint des niveaux de 73.57 % (Tichedrett), 73.13% (Saida), 64.31% (Beecher) et 60.02% chez Seg09. Le génotype Malouh, s'avère le moins sensible à ce niveau de déficit hydrique, en inscrivant la plus faible réduction avec 26.08%.

I.4.1.4.2. Nombre grain/épi

Les résultats dégagés de l'analyse des résultats obtenus (table II.15) révèlent que le nombre grain/épi dépend à la fois de l'alimentation hydrique ($p < 0,01$) et La nature de la variabilité génétique ($p < 0.001$). L'interaction des deux facteurs ne provoquent aucune action notable sur l'expression de ce paramètre ($p > 0,05$).

Dans les conditions de bonne alimentation en eau (SDH), le nombre de grain /épi limité par 45.65 ± 4.13 (Seg09) et 33.87 ± 0.59 (Beecher)

Dans le traitement 60%CC, La soumission de ces génotypes sous stress hydrique provoque un effet remarquable sur le nombre de grain/épi (Table II.16). Ainsi, les génotypes Tichedrett, Awblack et Saida s'affichent les réductions les plus importantes respectives avec 23.17, 17.20 et 16.19 %, les autres génotypes Beecher et Malouh expriment par les réductions les plus faibles avec 1.59 et 5.63%, les génotypes Beldi et Mari29 s'avèrent insensible à ce niveau de stress.

Dans le traitement conduit à ADH2, les valeurs exprimées par les différents génotypes sont largement réduites et sont limités par 32.67% (Saida) et 9.94% (Beecher).

I.4.1.4.3. Le poids de 1000 graines

Les résultats dégagés de l'analyse des résultats obtenus (table II.15) montrent que l'élaboration de ce paramètre est influencée par seule la nature génotypique. Les variations du régime hydrique et leur interaction n'exerce aucune influence sur l'expression de cette caractéristique.

Au niveau du témoin, La moyenne du poids de mille grains la plus importante est de l'ordre de 55.33 ± 11.75 g mesurée chez la variété Saida et la plus petite est de $31.54 \pm 1,58$ g chez le génotype Awblack.

L'effet du déficit hydrique dans le traitement ADH1, distingue les génotypes conduits en des groupes très distincts. Il existe celui regroupant les génotypes dont PMG a été réduit par le déficit hydrique, et on retient Saida et Tichedrett avec une régression avoisinant 12.73%. A l'opposé, on distingue parmi la collection des génotypes ayant extériorisés un accroissement de leur volume sous ces conditions hydriques, et sont représentés essentiellement par Beecher (32.92%) et Awblack (25.31%).

L'intensification du déficit hydrique (ADH2), redimensionne les génotypes en des comportements différents. Ils distinguent en deux groupes, ceux ayant une augmentation du

PMG avec un taux de 16.34% et deux génotypes, Malouh et Saida qui a eu une réduction de la grandeur de paramètre (17.95% et 5.49%).

Tableau II.16: Résultats moyenne des composants du rendement chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).

Génotype	Stress	NE/plant	NE/plant Std. Errs	Nombre grain/épi	NG/E Std. Errs	PMG	PMG Std. Errs
Saida	100%CC	8,67	1,67	39,20	0,35	55,33	11,75
Saida	60%CC	5,67	0,88	32,85	1,93	41,62	4,34
Saida	30%CC	2,33	0,33	26,39	5,34	52,29	3,91
Tichedrett	100%CC	17,67	2,19	41,13	2,43	44,35	3,58
Tichedrett	60%CC	6,67	1,45	31,60	3,70	44,04	0,17
Tichedrett	30%CC	4,67	0,88	31,18	1,06	47,76	2,34
Beldi	100%CC	10,00	2,52	35,80	5,93	38,47	6,23
Beldi	60%CC	8,33	2,60	40,40	1,73	40,56	2,50
Beldi	30%CC	5,00	1,15	25,87	2,52	38,71	3,97
Malouh	100%CC	7,67	1,33	40,25	3,58	40,37	6,40
Malouh	60%CC	5,00	1,00	37,98	2,73	45,07	2,23
Malouh	30%CC	5,67	0,67	34,27	5,95	33,12	4,46
Seg09	100%CC	8,33	2,33	45,65	4,13	41,40	1,40
Seg09	60%CC	6,00	1,73	39,49	5,27	41,51	3,95
Seg09	30%CC	3,33	0,88	32,06	3,95	45,41	3,37
Mari29	100%CC	8,33	3,76	38,17	2,28	38,06	5,75
Mari29	60%CC	4,67	1,20	44,33	3,28	45,42	3,71
Mari29	30%CC	3,67	0,67	29,13	3,29	42,46	5,36
Awblack	100%CC	6,33	0,33	34,12	2,04	31,45	1,58
Awblack	60%CC	5,00	2,52	28,25	1,15	39,41	4,35
Awblack	30%CC	4,33	0,67	23,33	2,95	46,08	3,93
Beecher	100%CC	9,33	0,33	33,87	0,59	42,22	3,10
Beecher	60%CC	9,67	1,67	33,33	0,41	56,12	1,59
Beecher	30%CC	3,33	0,33	30,50	2,00	51,50	3,10

I.4.1.5. Relation entre RWC et les paramètres agronomiques

Le rendement en grain des variétés d'orge est affecté par le stress hydrique. **Moffat et al. (1990)** ont également montré que le stress hydrique au stade de la reproduction permettait de réduire considérablement le rendement en grain du blé.

Le déficit en eau a des effets néfastes sur le rendement en grain en réduisant l'activité de la photosynthèse et en l'accélération du vieillissement des feuilles (**Gerik et al., 1996**), restriction de la croissance cellulaire, expansion des feuilles et transpiration (**Hsiao, 1973**).

Le stress hydrique peut réduire les composantes du rendement en entraînant une réduction de l'expansion de la surface des feuilles, ce qui, à son tour, entraînera une réduction de toutes les autres composantes du rendement (**Samarah, 2005; McGranahan et Poling, 2018**).

Dans notre étude l'analyse de variance a montré que le déficit en eau réduisait considérablement, le nombre de d'épis/plant ($r=-0.57^{**}$), nombre de grains / épi ($r=-0.51^{**}$) (tableaux 00), Le poids de 1000 grains dans notre essai est n'est pas influencé par le stress. L'effet de la sécheresse sur le rendement des céréales dépend de la durée et de la gravité du stress (**Mohammad et al, 1996**), Les effets du stress hydrique à différents stades de croissance de l'orge ont été étudiés (**Wells et Dubetz, 1966 ; Aspinall et al., 1964 ; Aspinall, 1965**). Ces études ont indiqué que le stress dû à la sécheresse était plus sensible pendant et juste avant l'apparition de l'épi. Un autre stade de sensibilité de l'orge à la sécheresse a été observé au cours de l'anthèse et des premières étapes du développement du grain. La sévérité du stress dû à la sécheresse du début du remplissage du grain à sa maturité peut être préjudiciable au développement du grain (avortement du grain) et au rendement. La corrélation négative entre le stress et le NG/épi ($r=-0,51$) s'explique par l'influence de stress sur la fertilité des talles. Stress de sécheresse provoqué par la post-anthèse peut réduire la fertilité de talles formées tardivement (**Samarah, 2005**), **González et al. (1999)** démontre que le stress dû à la sécheresse tardive a réduit le rendement en grains en diminuant le nombre de grains par épi et le poids du grain.

Pour les céréales d'hiver et d'été, les stades de floraison et de formation des épis ont conservé leur sensibilité au stress hydrique (**Martyniak, 2008**), car ils affectent les organes reproducteurs. Le nombre d'épis par plante et de grains par épi est principalement réduit (**Araus et al., 1998; Katerji et Mastrorilli, 2009**).

Le PMG est n'est pas corrélé avec la RWC, cette relation s'explique par les travaux de **Erchidi et al. (2000)**, signale que le rendement en grains du blé est plus lié à la fertilité de l'épi qu'au poids moyen du grain, ceci ne veut nullement dire que le nombre d'épis et le poids de 1000 grains ne jouent aucun rôle sous climat variable.

Ces résultats ont indiqué que le stress dû à la sécheresse prolongée pendant le remplissage du grain était préjudiciable au rendement en grain, quelle que soit la gravité du stress (léger ou sévère) et que cette réduction était principalement due à une réduction du nombre de pointes et de grains fertiles en épis. Les épis avortés sont grandement attribués à la réduction du rendement en grain de l'orge (**Sánchez-Díaz et al., 2002**).

Les corrélations significatif entre la RWC et le nombre d'épis/plant ($r= 0.36$) et la RWC et nombre de grains/épi ($r=0.37$) sont confirmé par les résultats de **Hafid et al. (1998)**, **DePereira-Neto et al. (1999)**, **Molnar et al. (2002)** qui signalent que de la réduction de la RWC a affecté la croissance et le rendement des plants, il est bien connu que la sécheresse

restreint l'approvisionnement en eau, ce qui entraîne une réduction de la teneur en eau et du potentiel foliaire (Amini et al., 2014). La perte d'eau peut réduire les potentiels hydriques foliaires, entraînant une perte de turgescence, une conductance stomatique et une photosynthèse réduites, et donc éventuellement une diminution du rendement en grains (Akbarian et al., 2011; Amini et al., 2014). Siddique et al. (2000) ont signalé que le potentiel hydrique foliaire plus élevé et la teneur relative en eau des cultivars de blé étaient associés à un taux photosynthétique plus élevé.

D'après les études d'Atefeh Nouri et al. (2011), RWC, en tant que trait physiologique, et nombre d'épis parmi les composants de rendement, conviennent pour sélectionner les meilleurs génotypes dans des conditions irriguées et pluviales parce que ces paramètres sont fortement corrélés avec les indices de tolérance au stress et la productivité moyenne géométrique.

I.4.2. Essai sous serre 2017

I.4.2.1. La partie aérienne

I.4.2.1.1. paramètres physiologiques

I.4.2.1.1.a. Teneur relative en eau

La teneur relative en eau constitue un paramètre fortement impliqué dans l'indication de l'état hydrique de la plante en situations de variations d'alimentation en eau et l'estimation des degrés de tolérance à la sécheresse.

Les données obtenues de l'évaluation de ce paramètre présentent des variations assez importantes, l'application du déficit hydrique et l'intensification de son acuité s'accompagnent d'une nette régression des valeurs de la teneur relative en eau ($r = -0.11$).

L'analyse statistique de la teneur relative en eau (Table II.17) est fortement influencé par la nature des génotypes ($P < 0.01$) et le régime hydrique imposé ($P < 0.001$). L'élaboration de la teneur relative en eau est influencée par l'interaction entre la nature des génotypes et la situation hydrique, ce qui indique que les génotypes conduits se sont comporté de manières différente vis-à-vis de la contrainte adoptée ($P > 0.01$).

Tableau II.17: effet du génotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les la teneur relative en eau mesuré chez les 8 génotypes.

Paramètre	Effet du génotype	Effet hydrique	Génotype*hydrique
	Test F	Test F	Test F
RWC	3,45**	11,37***	2,98**

Les valeurs de la teneur relative en eau (Table II.18), au niveau du lot témoin (100%CC), s'échelonnant entre $97,99 \pm 0.090\%$, valeur inscrite par Tichedrett et $89,76 \pm 0.431\%$ observée chez Saida.

Au niveau des traitements ayants subis les deux niveaux du déficit hydrique, les valeurs de la teneur relative en eau diminuent grandement. Dans le lot conduit à 60%CC, les régressions de la teneur en eau, par rapport au témoin, sont de l'ordre de $90,90 \pm 1,913\%$, $89,33 \pm 1,337\%$ et $85,72 \pm 2,351\%$ respectivement chez Beldi, Seg09 et Beecher, a ce niveau les génotypes Saida, Mari29 et Malouh s'avèrent plus résistantes quant au maintien de leur hydratation. Chez les plantes soumises au stress le plus intense, les plus importantes diminutions de la teneur en eau s'observent chez Mari29 avec $93,22 \pm 2,120\%$ et Seg09 ($93,08 \pm 3,105\%$).

Tableau II.18: Résultats moyenne de la teneur relative en eau chez les géotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).

Géotype	Stress	RWC	RWC Std. Errs
Saida	100%CC	89,76	0,43
Saida	60%CC	93,58	1,44
Saida	30%CC	90,63	1,21
Tichedrett	100%CC	97,99	0,09
Tichedrett	60%CC	81,20	4,14
Tichedrett	30%CC	84,67	3,23
Beldi	100%CC	93,11	1,18
Beldi	60%CC	90,90	1,91
Beldi	30%CC	90,26	1,05
Malouh	100%CC	93,00	1,30
Malouh	60%CC	94,12	1,28
Malouh	30%CC	87,82	3,52
Seg09	100%CC	97,08	1,05
Seg09	60%CC	89,33	1,34
Seg09	30%CC	93,08	3,11
Mari29	100%CC	93,62	1,35
Mari29	60%CC	96,47	1,67
Mari29	30%CC	93,22	2,12
Awblack	100%CC	92,29	0,15
Awblack	60%CC	83,29	2,17
Awblack	30%CC	89,13	4,57
Beecher	100%CC	95,56	1,00
Beecher	60%CC	85,72	2,35
Beecher	30%CC	78,80	6,81

I.4.2.1.1.b. Le taux de déperdition d'eau par la feuille excisée RWL (rate water loss)

L'étude statistique des résultats obtenus (Table II.19), montre que les deux types de transpiration (stomatique et résiduel) sont indépendants de nature des géotypes, le régime hydrique et leur interaction (($P > 0.05$)).

Tableau II.19: effet du génotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les paramètres physiologiques et morphologiques et biochimiques mesurés chez les 8 génotypes.

Paramètre	Effet du génotype	Effet hydrique	Génotype*hydrique
	Test F	Test F	Test F
Surface foliaire	3,5893 ^{**}	1,5532 ^{ns}	1,0533 ^{ns}
RWL1	0,4567 ^{ns}	2,4847 ^{ns}	0,8467 ^{ns}
RWL2	0,645207 ^{ns}	0,697190 ^{ns}	0,600885 ^{ns}
résistance stomatique	145,351 ^{***}	563,445 ^{***}	158,356 ^{***}
Taux de la cire	11,5354 ^{***}	49,6538 ^{***}	15,2078 ^{***}
MSA	4,4041 ^{***}	43,1942 ^{***}	2,6255 ^{**}
Taux des sucres	0,9526 ^{ns}	22,7957 ^{***}	0,9211 ^{ns}
Taux de potassium	3,079 ^{**}	2,443 ^{ns}	4,634 ^{***}

Les résultats moyens informent que la perte d'eau de la première phase (transpiration stomatique) augmente suite à l'application de stress ($r=0.06$). Au niveau du traitement témoin la perte d'eau est fluctue entre $105.00 \pm 0,073 \text{mg/min/cm}^2$ inscrite par Awblack et $26.00 \pm 0,003 \text{mg/min/cm}^2$ inscrite par Beldi, En conditions de déficit hydrique modéré (ADH1), ces transpirations sont grandement augmentés chez la plupart des génotypes, à l'exception de Seg09, Awblack et Beecher qui ont manifesté une régression de leur perte en eau. Pour les génotypes concernés par l'augmentation de la transpiration, c'est le génotype Mari29 qui se distingue par la plus importante progression de la perte en eau avec $225.00 \pm 0.110 \text{ mg/min/cm}^2$. A l'opposé parmi ceux ayant manifesté une régression, c'est le génotype Awblack qui en inscrit la plus forte transpiration avec $58.00 \pm 0.017 \text{ mg/min/cm}^2$. En conditions de déficit hydrique plus prolongé (ADH2), la perte d'eau a subit une forte augmentation chez l'ensemble des génotypes expérimentés. Cette augmentation s'exprime fortement chez le génotype Beecher avec $191.00 \pm 0.116 \text{mg d'H}_2\text{O/cm}^2/\text{min}$ et elle est d'une plus faible valeur chez Beldi avec $38.00 \pm 0.002 \text{mg d'H}_2\text{O/cm}^2/\text{min}$ à l'exception des génotypes Tichedrett et Awblack s'avère insensible à ce niveau de stress.

Tableau II.20: Résultats moyenne du RWL1 et la RWL2 chez les géotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).

Géotype	Stress	RWL1 (mg/min/cm ²)	RWL1Std. Errs	RWL2 (mg/min/cm ²)	RWL2 Std. Errs
Saida	100%CC	37,00	0,005	29,00	0,006
Saida	60%CC	204,00	0,158	47,00	0,007
Saida	30%CC	46,00	0,003	37,00	0,012
Tichedrett	100%CC	87,00	0,084	378,00	0,168
Tichedrett	60%CC	125,00	0,090	40,00	0,007
Tichedrett	30%CC	38,00	0,011	43,00	0,012
Beldi	100%CC	26,00	0,003	25,00	0,002
Beldi	60%CC	146,00	0,092	23,00	0,002
Beldi	30%CC	38,00	0,002	32,00	0,013
Malouh	100%CC	36,00	0,004	36,00	0,004
Malouh	60%CC	203,00	0,158	384,00	0,177
Malouh	30%CC	51,00	0,004	170,00	0,112
Seg09	100%CC	43,00	0,005	40,00	0,010
Seg09	60%CC	28,00	0,012	50,00	0,035
Seg09	30%CC	49,00	0,007	30,00	0,003
Mari29	100%CC	30,00	0,003	72,00	0,034
Mari29	60%CC	225,00	0,110	269,00	0,636
Mari29	30%CC	127,00	0,080	37,00	0,004
Awblack	100%CC	105,00	0,073	25,00	0,011
Awblack	60%CC	58,00	0,017	7,00	0,042
Awblack	30%CC	54,00	0,023	33,00	0,011
Beecher	100%CC	89,00	0,029	42,00	0,007
Beecher	60%CC	49,00	0,006	265,00	0,128
Beecher	30%CC	191,00	0,116	36,00	0,007

Pour la perte d'eau au cour de la deuxième phase ou la transpiration résiduel, l'application du stress provoque une légère diminution ($r=-0,050$), Les résultats moyens obtenus (Table II.20) montrent qu'au niveau du traitement témoin, la perte d'eau la plus élevé est enregistré chez la variété Tichedertt avec $378.00 \pm 0,168$ mg/min/cm², alors que le plus faible transpiration est observé chez la variété Beldi avec 25.00 ± 0.002 mg/min/cm².60

L'application du stress modéré, les géotypes se sont répartis en deux groupes distincts. Un premier groupe englobe les géotypes dont les pertes d'eau sont augmentées par ce déficit et qui sont représentés par Mari29 (269.00 ± 0.636 mg/min/cm²), Malouh (384.00 ± 0.177 mg/min/cm²), Saida (47.00 ± 0.007 mg/min/cm²), Beecher (265.00 ± 0.128 mg/min/cm²) et Seg09 (50.00 ± 0.035 mg/mn/cm²).Le reste des géotypes ont manifesté une réduction de leur transpiration, Tichedrett (40.00 ± 0.007 mg/min/cm²), Awblack (7.00 ± 0.042 mg/min/cm²) et Beldi ($107.00 \pm 0,023$ mg/min/cm²). Ces deux groupes persistent suite à l'application de stress (30%CC), dans le premier groupe, les valeurs de ce paramètre se limite par 32.00 ± 0.013

mg/min/cm² (Beldi) et 170.00±0.112 mg/min/cm² (Malouh). Dans le groupe qui marque une réduction de ce paramètre, les valeurs de ce paramètre fluctuent entre 30.00±0.003 mg/min/cm² (Seg09) et 43.00±0.012 mg/min/cm² (Tichedrett).

I.4.2.1.1.c. Le Taux des cires

L'analyse des résultats dégagés (Table II.19), démontre que l'expression du taux des cires est sous une influence hautement significative de la nature des génotypes testés ($p<0,001$) ainsi que les traitements hydriques adoptés ($p<0,001$). L'interaction entre les deux facteurs permet également des variations hautement significatives d'élaboration de cette variable ($p<0,001$).

Les résultats moyens obtenus (Table II.21) montrent que l'application progressive du déficit hydrique provoque une nette régression du taux des cires. A l'échelle du lot témoin (SDH), le taux des cires fluctuent entre des valeurs extrêmes de 954.63±0.259µg/cm² (Beldi) et 69,73±0.04µg/cm² (Mari29). A l'échelle du lot ADH1, les variétés Beldi, Tichedrett et Malouh ont manifesté une régression des taux des cires avec des valeurs respectives de 95.17, 84.74 et 48.87 %. Le reste des génotypes de la collection Mari29 et Beecher s'avèrent insensible à ce niveau de stress.

En conditions de déficit hydrique prolongé (ADH2), les réductions des taux des cires sont plus prononcées chez l'ensemble des génotypes expérimentés. A ce niveau, le génotype Beldi se distingue parmi l'ensemble en inscrivant la plus grande réduction de ce paramètre avec un taux de 94.86%, tandis que le génotype Mari29 manifeste la plus faible réduction avec un taux 23.53%.

Tableau II.21: Résultats moyenne du taux des cires et la résistance stomatique chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).

Génotype	Stress	Cires ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Cires Std. Errs	Rs ($\mu\text{mol}^{-1}.\text{s}$)	RsStd. Errs
Saida	100%CC	277,08	0,103	1,89	0,09
Saida	60%CC	213,91	0,135	1,30	0,07
Saida	30%CC	50,88	0,025	3,05	0,03
Tichedrett	100%CC	427,10	0,125	2,34	0,98
Tichedrett	60%CC	65,17	0,010	1,62	0,06
Tichedrett	30%CC	39,86	0,003	2,43	0,14
Beldi	100%CC	954,63	0,259	1,41	0,15
Beldi	60%CC	46,10	0,004	1,55	0,08
Beldi	30%CC	49,03	0,010	3,72	0,04
Malouh	100%CC	298,28	0,103	1,04	0,09
Malouh	60%CC	152,49	0,045	2,23	0,37
Malouh	30%CC	124,36	0,067	18,67	0,27
Seg09	100%CC	211,97	0,069	6,40	0,15
Seg09	60%CC	147,20	0,021	1,31	0,02
Seg09	30%CC	63,28	0,010	7,23	0,20
Mari29	100%CC	69,73	0,004	2,40	0,09
Mari29	60%CC	127,30	0,041	1,18	0,12
Mari29	30%CC	53,32	0,002	4,42	0,14
Awblack	100%CC	81,85	0,020	3,10	0,13
Awblack	60%CC	72,78	0,021	2,21	0,09
Awblack	30%CC	86,39	0,035	4,20	0,33
Beecher	100%CC	74,36	0,038	1,61	0,04
Beecher	60%CC	166,54	0,063	3,31	0,12
Beecher	30%CC	45,16	0,017	3,87	0,38

I.4.2.1.1.d. La résistance stomatique

Les résultats obtenus (Table II.19), montrent que la résistance stomatique est fortement dépendante des variations du régime hydrique appliqué, et la nature des génotypes ainsi que l'interaction entre les deux facteurs ($p < 0.001$).

La résistance stomatique (Table II.21) a été affectée par le manque d'eau d'une manière significative et proportionnelle à l'intensité de déficit hydrique appliqué ($r = 0.39$). Au niveau du traitement témoin (SDH), la résistance stomatique oscillent entre $6.40 \pm 0.15 \mu\text{mol}^{-1}.\text{s}$ (Seg09) et $1.04 \pm 0.09 \mu\text{mol}^{-1}.\text{s}$ (Malouh), Ces données, au niveau du traitement ADH1, sont de l'ordre de $3.31 \pm 0.012 \mu\text{mol}^{-1}.\text{s}$ (Beecher) et $1.55 \pm 0.08 \mu\text{mol}^{-1}.\text{s}$ (Beldi). Dans le dernier niveau de stress (30 % CC), les augmentations plus importante de la Rs chez les 8 génotypes étudiés mais à des degrés différents, avec une Rs maximale égale à $18.66 \pm 0.27 \mu\text{mol}^{-1}.\text{s}$ enregistrée

chez le génotype Malouh et une R_s minimale égale $3.05 \pm 0.03 \mu\text{mol}^{-1} \cdot \text{s}$ à enregistrée chez le génotype Saida.

I.4.2.1.2. Paramètres morphologiques

I.4.2.1.2.a. La matière sèche arienne

L'analyse des résultats obtenus de l'estimation de ce paramètre (Table II.19), il se démontre que son expression est dépendante de la nature des génotypes testés ($P < 0.001$). Les variations du régime hydrique provoquent ainsi des différences hautement significatives ($p < 0.001$). En effet l'intensification du déficit hydrique permet de nettes réductions de la matière sèche.

L'élaboration de la matière sèche aérienne est influencée par l'interaction entre la nature des génotypes et la situation hydrique ($p < 0.05$).

Les résultats moyens (Table II.22) montrent que le déficit hydrique réduit considérablement la matière sèche aérienne. Néanmoins, cette diminution dépend, de l'intensité du déficit hydrique et indépendante de la nature du génotype conduit. Au niveau du traitement témoin (SDH), la matière sèche est comprise entre $55.51 \pm 2.92\text{g}$ (Awblack) et $18.26 \pm 1.64\text{g}$ (Mari29).

Dans le traitement conduit à 60 % CC (ADH1), les régressions de la matière est de 64.42, 55.75, 46.27, 43.02, 37.73, 29.06, 7.28 %, respectivement chez Seg09, Awblack, Tichedrett, Beldi, Beecher, Malouh et Saida. Dans le même lot, le génotype Mari s'avère le moins sensible au déficit hydrique, pour l'élaboration de la matière sèche avec une évolution de 6.44%.

Dans le lot ayant le stress hydrique le plus intense (ADH2), les dépressions des valeurs de la matière sèche sont encore plus marquées. Ainsi chez les génotypes, Beldi, Seg09, et Awblack, les diminutions sont dans l'ordre de 71.77, 71.37 et 64,47%.

Tableau II.22: Résultats moyenne de la matière sèche aérienne chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).

Génotype	Stress	MSA(g)	MSA Std. Errs
Saida	100%CC	27,28	4,53
Saida	60%CC	25,29	2,80
Saida	30%CC	9,54	3,46
Tichedrett	100%CC	30,63	7,31
Tichedrett	60%CC	16,46	4,41
Tichedrett	30%CC	16,01	2,08
Beldi	100%CC	34,15	6,55
Beldi	60%CC	19,46	0,87
Beldi	30%CC	9,64	1,51
Malouh	100%CC	28,27	4,87
Malouh	60%CC	20,06	5,58
Malouh	30%CC	16,24	2,98
Seg09	100%CC	35,53	3,01
Seg09	60%CC	12,64	2,36
Seg09	30%CC	10,17	1,33
Mari29	100%CC	18,27	1,64
Mari29	60%CC	19,44	3,98
Mari29	30%CC	18,22	1,30
Awblack	100%CC	55,51	2,92
Awblack	60%CC	24,56	8,74
Awblack	30%CC	19,72	3,08
Beecher	100%CC	35,80	1,99
Beecher	60%CC	22,29	2,66
Beecher	30%CC	21,91	4,04

I.4.2.1.3. Paramètres biochimiques

I.4.2.1.3.a. Sucres solubles

Les modifications des régimes hydriques imposent des variations très significatives de la teneur en sucres simples chez l'ensemble des génotypes testés (Table II.19). Ainsi, l'accentuation du déficit hydrique s'accompagne d'une nette augmentation de la teneur en sucres ($r= 0,61^{***}$).

Au niveau du traitement témoin (100%CC), les teneurs en sucres (Table II.23) varient entre $34.07 \pm 3.23 \text{mg/gMF}$ et $18.59 \pm 4.49 \text{mg/gMF}$, relevé respectivement chez Seg09 et Beecher. Dans de lot ADH1, l'augmentation des taux d'accumulation des sucres simples s'avèrent plus élevées chez les génotypes Beecher et Beldi avec des valeurs de 203% et 150%. Sous le même régime hydrique, les génotypes Seg09 et Mari29 ont inscrit les plus faibles augmentations des sucres avec des progressions respectives de 42% et 58%.

Sous les conditions de déficit hydrique plus sévère (30%CC), les augmentations de l'accumulation des sucres simples s'annoncent plus importantes. Elles atteignent des valeurs de 377%, 266%, 150% et 137% relevées respectivement chez les génotypes, Beldi, Beecher, Saida et Mari29. Les génotypes, Tichedrett, Malouh, Awblack et Seg09, inscrivent les plus faibles augmentations d'accumulation des sucres.

Tableau II.23: Résultats moyenne du taux des sucres et de potassium chez les génotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).

Génotypes	Teneur en sucres solubles (mg/g MF)			Teneur en Potassium (ppm)		
	100%CC	60%CC	30%CC	100%CC	60%CC	30%CC
Tichedrett	33,20	56,49	65,02	370,33	222,00	318,00
Beldi	21,03	52,65	91,84	272,33	304,00	254,00
Saida	25,66	59,76	64,04	343,00	366,33	262,00
Maluoh	23,36	44,08	47,41	358,33	319,67	350,33
Seg09	34,08	48,44	41,21	270,00	296,00	340,00
Mari29	31,60	50,02	74,93	275,33	326,00	316,67
Awblack	26,27	48,20	49,01	363,00	312,00	359,67
Beecher	18,60	56,29	68,07	293,33	257,33	392,33

I.4.2.1.3.b. Taux de potassium

L'analyse des résultats dégagés (Table II.19), démontre que l'expression du taux de potassium est sous une influence significative de la nature des génotypes testés. Les traitements hydriques adoptés n'exercent aucune influence sur le taux de potassium. L'interaction entre les deux facteurs permet également des variations hautement significatives d'élaboration de cette variable.

Les résultats moyens (table II.23) montrent qu'au niveau du lot SDH, le génotype Tichedrett a enregistré un taux de potassium 370.33 ± 47.66 ppm alors que le génotype Seg09 a donné 270.00 ± 21.83 ppm.

Les variations des niveaux de déficit hydrique ne engendré aucun variation importante et marquent une diminution, au niveau du lot ADH1 en notée un taux maximum de $366,33 \pm 7.44$ ppm marquée par le génotype Saida et un minimum $222,00 \pm 5.19$ ppm enregistré par le génotype Tichedrett. Alors au niveau du lot ADH2, le taux de potassium varie avec un maximum de $392,33 \pm 11.83$ ppm chez le génotype Beecher et un minimum $254,00 \pm 18.05$ ppm enregistrée par le génotype Beldi.

I.4.2.2. Etude de système racinaire

I.4.2.2.1. La longueur de l'axe racinaire

L'étude statistique des résultats dégagés (Table II.24), montre que l'élaboration de la longueur des racines, dans ces conditions expérimentales, n'est que faiblement influencée par la nature des génotypes, le régime hydrique ainsi que leur interaction ($p > 0.05$).

Tableau II.24: effet du génotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les paramètres morphologiques racinaires chez les 8 génotypes.

Paramètre	Effet du génotype	Effet hydrique	Génotype*hydrique
	Test F	Test F	Test F
Longueur de racine	1,902*	3,300*	1,115 ^{ns}
Le nombre des racines	2.042 ^{ns}	31.8808***	1.9747*
MSR	2,7809*	31,1312***	4,1586***

Les effets des régimes hydriques appliqués n'influent que faiblement l'expression des valeurs de la longueur des racines (Table II.25). Au niveau du traitement témoin (SDH), la longueur est comprise entre 137.33 ± 13.54 cm (Beldi) et 106.00 ± 15.37 cm (Seg09).

Chez le génotype Tichedrett, les variations d'expression de ce paramètre, en fonction de l'alimentation, s'avèrent plus marquée. Ainsi, l'accroissement de la longueur est de 1 et 3% par rapport au témoin et respectivement au niveau des lots ADH1 et ADH2. Pour les génotypes (Beldi, Saida, Malouh, Seg09, Awblack et Beecher), ils manifestent de des diminutions de celle-ci à l'échelle des lots ADH1 et ADH2. À l'exception du génotype Mari qui marque une augmentation de la longueur au niveau du lot 60%CC et une diminution au niveau du lot 30%CC.

D'une manière générale, les supports de substrat utilisés s'avèrent de faibles profondeurs, limitant ainsi la disponibilité de la profondeur indispensable à l'élongation racinaire.

Tableau II.25: Résultats moyenne de la longueur des racines et nombre des racines chez les géotypes testés et sous les trois régimes hydriques appliqués (100%CC, 60%CC, 30%CC).

Géotype	Stress	LR (cm)	LR Std. Errs	NR	NR Std. Errs	MSR (g)	MSR Std. Errs
Saida	100%CC	122,00	2,89	56,00	6,08	3,82	0,32
Saida	60%CC	125,33	4,10	50,00	3,06	3,96	0,43
Saida	30%CC	107,00	3,61	37,33	9,84	2,81	0,87
Tichedrett	100%CC	106,90	10,29	55,00	7,21	3,50	0,77
Tichedrett	60%CC	108,00	2,65	43,33	8,29	2,88	0,37
Tichedrett	30%CC	110,33	3,76	36,33	4,98	2,79	0,03
Beldi	100%CC	137,33	13,54	71,33	5,78	3,56	0,58
Beldi	60%CC	105,67	2,67	49,67	5,36	2,58	0,35
Beldi	30%CC	110,00	4,16	49,33	4,06	4,45	0,34
Malouh	100%CC	112,33	0,88	66,33	11,89	5,16	0,26
Malouh	60%CC	108,67	9,96	41,67	6,96	2,44	0,34
Malouh	30%CC	111,33	3,33	33,67	4,33	1,77	0,47
Seg09	100%CC	106,00	15,37	56,33	9,24	2,64	0,67
Seg09	60%CC	95,00	10,21	34,33	4,84	2,74	0,24
Seg09	30%CC	104,67	1,86	25,67	4,48	2,82	0,46
Mari29	100%CC	109,00	7,00	46,67	6,77	6,47	0,17
Mari29	60%CC	96,67	7,69	36,00	6,43	3,20	0,58
Mari29	30%CC	110,67	7,69	25,00	4,58	2,41	0,41
Awblack	100%CC	111,33	2,33	102,00	0,58	6,80	1,29
Awblack	60%CC	108,67	10,87	28,67	2,60	3,38	0,19
Awblack	30%CC	104,00	3,79	24,67	4,41	2,31	0,44
Beecher	100%CC	117,00	5,13	75,33	29,49	6,50	0,73
Beecher	60%CC	109,00	1,00	52,67	5,78	3,21	0,61
Beecher	30%CC	104,33	4,41	31,33	5,46	2,71	0,89

I.4.2.2.2.Le nombre des racines par plant

L'analyse des résultats dégagés (Table II.24), démontre que l'expression du nombre de racines par plant est sous une influence hautement significative des traitements hydriques adoptés ($p < 0,001$), et faiblement significatif pour la nature des géotypes testés et l'interaction entre les deux facteurs ($p > 0,05$).

Les résultats moyens enregistrés (Table II.25), indiquent que l'application du déficit hydrique provoque une régression du nombre de racines. On constate que les diminutions constatées sont proportionnelles à l'intensité du stress hydrique appliqué.

Au niveau du traitement témoin (100% CC), le nombre de racines varie entre $102,00 \pm 0,58$ et $46,66 \pm 6,77$ racines/plant, relevé respectivement chez Awblack et Mari29. Dans le lot conduit à 60% CC, les géotypes Awblack, Seg09, Malouh, Beldi présentent des

régressions du nombre de racines respectives de 71.89%, 39.05%, 37.18% et 30.37%, Les génotypes Saida, Tichedrett, Mari29 sont moins sensibles au déficit à cette intensité, car les diminutions du nombre de leurs racines sont de 10.71, 21.21 et 22.85%, Dans le lot conduit à 30% CC (ADH2), les diminutions du nombre de racines sont plus marquées chez l'ensemble des génotypes. Ainsi, ces décroissances du nombre sont de 75.81%, 58.40%, 54.43%. 49.24 % respectivement chez Awblack, Beecher et Seg09 et Malouh.

I.4.2.2.3. La matière sèche racinaire

Les résultats obtenus (Table II.24), montrent que la matière sèche racinaire est fortement dépendante des variations du régime hydrique appliqué et la nature de la variabilité génétique ainsi que de leur interaction ($p < 0.001$).

Les résultats moyens enregistrés (Table II.25) pour ce paramètre varient au niveau du traitement témoin (SDH) entre 6.80 ± 1.29 g (Awblack) et 3.50 ± 0.77 g (Tichedrett). Ces valeurs se trouvent largement diminuées au niveau des traitements conduits en situations de déficits hydriques.

Ainsi dans le lot 60% CC, les dépressions des valeurs de la matière sèche sont plus importantes chez les génotypes Malouh, Mari29, Beecher et Awblack avec des valeurs respectives de 52,72 et 50.51, 50.54 et 50.24%. Dans les mêmes conditions le génotype Tichedrett est moins affecté avec une évolution de sa matière sèche de 17,69%. par contre Saida et Seg09 apparaissent moins sensible au stress.

Chez les plantes soumises au déficit hydrique le plus intense (ADH2), les diminutions de la matière sèche s'annoncent plus importantes. Elles varient entre 66,01 % (Awblack) et 20,30% (Tichedrett).

I.4.2.3. Relation entre RWC et les paramètres mesurées (essai sous serre 2017)

La RWC des feuilles de plantes bien arrosées (témoins) variait entre 97,99 et 89,76%. Cependant, à la suite l'application de stress, ce paramètre a diminué dans tous les génotypes de sorte que dans les conditions de stress modéré et stress intense, Ce qui prouvé par la corrélation négative entre RWC et stress ($r = -0,38$). L'utilisation de la RWC des feuilles comme indicateur de l'état hydrique des plantes (Chaves, 1991) et de leur tolérance à la sécheresse (Ravindra et al., 1989) est habituelle.

Gutierrez et al. (2010) ont constaté que les valeurs de la RWC diminuaient lorsque le niveau de stress dû à la sécheresse des génotypes de blé augmentait. Ces résultats sont également en accord avec Winterhalter et al. (2011) qui ont déclaré que la teneur en eau des

cultivars de maïs diminuait davantage sous l'effet de la sécheresse à différents stades de croissance par rapport à la teneur en eau de la plante sous irrigation.

La Corrélation positive entre RWC et les cires ($r=0,27$) indique clairement la pertinence des cires de feuilles dans la conservation de l'eau, Ce résultat se confirmé par les travaux **Yu et al. (2017)**, qui ont trouvé que une accumulation plus élevée de cire cuticulaire dans les feuilles de maïs pourrait maintenir une teneur en eau relative et un potentiel hydrique plus élevés en présence de sécheresse.

De plus en plus de preuves démontrent que la production de cire cuticulaire est également étroitement associée à la tolérance à la sécheresse chez les plantes (**Kosma et al., 2009**). Cela indique que l'accumulation de cire cuticulaire est une stratégie importante d'adaptation au stress pour minimiser la déshydratation cellulaire et organique dans des conditions de stress de sécheresse chez les plantes (**Kosma et al., 2009**). La cire cuticulaire est la couche hydrophobe la plus externe recouvrant la surface des parties aériennes de la plante et participe au contrôle de la perte d'eau non stomatique et des échanges gazeux (**Riederer and Schreiber, 2001**). La fonction la plus essentielle est de fournir une barrière de diffusion contre la perte ou l'absorption incontrôlée d'eau et de gaz (**Kerstiens, 2006**).

Dans les plantes terrestres, les cires de feuilles (cires cuticulaires) jouent un rôle majeur dans la prévention de la perte d'eau et la protection des tissus sous-jacents contre la déshydratation (**Goodwin et Jenks, 2005**), La résistance cuticulaire offerte par une quantité de cire élevée semble être un facteur majeur régulant la perte en eau dans les feuilles récoltées. Étant donné que les cires cuticulaires sont associées à la résistance à la sécheresse et à l'efficacité d'utilisation de l'eau (**Goodwin et Jenks, 2005**), Les cires cuticulaires peuvent jouer un rôle important dans l'efficacité de l'utilisation de l'eau en réduisant la transpiration de l'épiderme et contribuer indirectement au maintien de conditions optimales pour la fixation du carbone sur le terrain (**Sheshshayee et al., 2003**). Il est probable que les types à cire élevée conservent une teneur en eau relative plus élevée que les types à cire faible, ce qui peut entraîner une efficacité photosynthétique supérieure. La production de cire induite par la sécheresse observée chez de nombreuses espèces de plantes (**Kim et al., 2007a ; Kim et al., 2007b**) fournit une preuve supplémentaire que les plantes peuvent améliorer les relations hydriques en réduisant la perte d'eau à travers la cuticule.

La corrélation négative entre RWC et sucre ($r=-0,35$), cette résultat est similaire à celle de **Taha et al. (2020)**, qui sont prouvés que l'ajustement osmotique est un mécanisme important inclus dans l'adaptation des plantes à divers stress, y compris la sécheresse, et que

l'accumulation des sucres et de proline ont amélioré l'ajustement osmotique cellulaire et ont contribué à maintenir une RWC plus élevée. La même corrélation significative entre la RWC et l'accumulation des sucres solubles trouvés par **Mohsenzadeh et al. (2006)**.

L'accumulation de sucres solubles dans les plantes en réponse au stress hydrique est assez bien documentée et est considérée comme jouant un rôle important dans l'ajustement osmotique (**Bajji et al., 2001**). Aussi, lors d'un déficit hydrique, le métabolisme des hydrates de carbone s'affecte par l'accumulation des sucres solubles dans les tissus des plantes cultivées sous stress, notamment chez les feuilles (**Kameli et Losel, 1995(a) ; Zerrad et al., 2006**). L'accumulation des sucres n'est qu'un phénomène d'adaptation à la sécheresse, qui permet à la plante de maintenir sa turgescence par la diminution et l'ajustement du potentiel hydrique (**Abdalla, 2011**).

L'augmentation de la teneur en sucres solubles serait liée à une amélioration du taux de la photosynthèse induit par le stress (**Ben Khaled et al., 2003**). Par ailleurs, il a été observé que sous stress hydrique, les réserves amylacées sont progressivement utilisées suite à leur conversion rapide en saccharose, qui pourra être associé à une inhibition de la synthèse de l'amidon (**Bensari et al., 1990 ; Geigenberger et al., 1997**). Les plantes stressées ont réagi par une augmentation de quantité des sucres au niveau de leurs cellules. Cette augmentation est, en réalité, un paramètre d'adaptation aux conditions de stress hydrique.

Selon notre expérience, dans des conditions de déficit en eau, la concentration en sucres solubles a augmenté dans l'ensemble des génotypes avec un maximum d'accumulation de 377%, 266%, 150% et 137% relevées respectivement chez les génotypes, Beldi, Beecher, Saida et Mari dans le stress la plus intense.

La corrélation positive entre RWC et MSR ($r=0,23$) s'explique que dans les conditions de déficit hydrique, les génotypes ont maintenu la teneur en eau relative des feuilles au moyen de l'augmentation de leur poids sec racinaires. La réponse initiale des plantes à la sécheresse est l'inhibition de la croissance des pousses et le maintien de la croissance des racines, en tant que réponse adaptative permettant de maintenir l'absorption d'eau et de réduire les pertes en eau par transpiration (**Sinclair et al., 2005**).

Le maintien de la croissance des racines dans les conditions de déficit en eau constitue un avantage évident pour l'approvisionnement en eau des plantes, comme indiqué précédemment (**Sharp et Davies, 1979; Malik et al., 1979; van der Weele et al., 2000**).

En général, une pénurie de ressources dans l'environnement racinaire - en tant que déficit en eau - entraîne des modifications des schémas d'assimilation de la biomasse, favorisant ainsi la croissance du système racinaire (**Brouwer, 1963**).

Ces résultats confirment une relation positive entre le degré de déshydratation des tissus et l'augmentation du poids sec racinaires rapportée par certains chercheurs (**Moira et al., 2016**) sur la plante de Sorgho.

I.4.2.4. Relation entre RWC et les paramètres physiologiques et morphologiques et biochimiques pour les essais 2016-2017

Tableau II.26: Relation entre RWC et les paramètres physiologiques et morphologiques et biochimiques pour les essais 2016-2017

Variable	Géotype	SH	Année	RWC	SF	RWL1	RWL2	Cires	RS	LR	NR	MSR	MSA	sucre	K ⁺
Géotype	1,00														
SH	0,00	1,00													
Année	0,00	0,00	1,00												
RWC	-0,15	-0,43	0,40	1,00											
SF	-0,12	0,03	-0,88	-0,34	1,00										
RWL1	0,07	0,01	0,23	0,05	-0,36	1,00									
RWL2	0,00	-0,06	0,15	0,09	-0,20	0,21	1,00								
Cires	-0,10	-0,27	-0,65	-0,13	0,54	-0,18	0,05	1,00							
RS	-0,02	0,46	-0,14	-0,27	0,13	-0,11	-0,00	-0,00	1,00						
LR	-0,22	-0,06	0,17	0,04	-0,10	0,12	0,03	-0,00	0,05	1,00					
NR	0,10	-0,36	0,57	0,34	-0,48	0,04	0,03	-0,26	-0,16	0,25	1,00				
MSR	0,13	-0,32	0,55	0,32	-0,48	0,10	0,06	-0,34	-0,14	0,27	0,69	1,00			
MSA	0,13	-0,58	0,28	0,29	-0,30	0,05	0,09	-0,04	-0,13	0,25	0,58	0,57	1,00		
Sucres	-0,06	0,36	-0,49	-0,35	0,37	-0,07	-0,11	0,22	0,31	-0,06	-0,35	-0,30	-0,25	1,00	
K ⁺	0,17	0,16	0,12	0,05	-0,17	0,15	0,11	-0,03	0,13	0,06	0,04	0,01	0,03	0,10	1,00

D'après nos résultats il ya une variabilité entre les géotypes, En essai sous serre 2016, la RWC est conditionnée par la résistance stomatique, la hauteur des pailles et la matière sèche aérienne, alors en essai sous serre 2017, la RWC est conditionnée par les cires, les sucres et la matière sèche racinaire. Le stress hydrique influe les valeurs de RWC dans les deux essais.

Pour l'effet annuelle, l'ensemble des paramètres sont variables avec le temps c'est-à-dire ils ne sont pas stables avec le temps, avec RWC($r=0,40^{**}$), RWL1 ($r=0,23^{**}$), Cires ($r=-0,65^{**}$), LR($r=0,17^{**}$), NR($r=0,57^{*}$), MSR($r=-0,55^{**}$), MSA($r=0,28^{**}$), Sucre($r=-0,49^{**}$),

II. Essai en plein champ

II.1. Introduction

L'essai en plein champ a pour objectif d'étudier les paramètres physiologiques de la partie aérienne (RWC, RWL, cire, la résistance stomatique), morphologiques (la hauteur des chaumes) et biochimiques (les sucres solubles, taux de potassium) et leurs influences sur l'élaboration du rendement et les composants du rendement en condition pluvial et irrigué. Ainsi d'étudier l'effet de l'irrigation complémentaire aux précipitations réalisées sur le rendement de la culture de l'orge.

II.2. Matériels et méthodes.

II.2.1. Localisation de site expérimentale

L'expérimentation a été réalisée au niveau du rectorat, Tiaret.



II.2.2. Les caractéristiques pédoclimatique de la région

II.2.2.1. La pédologie

Le sol de cette zone d'étude est un sol argilo-limoneuse. Les propriétés de ce sol sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau II.27: les caractéristiques des sols de plein champ

Caractéristiques		sols A (0-20cm)	sols B (20-40cm)	Méthodes et instruments de mesure
Granulométrie	Argile	41,44	38,06	Méthode (Pipette de Robinson)
	sable grossier	4,71	5,36	
	sable fin	10,85	9,29	
	limon grossier	9,83	12,69	
	limon fin	33,17	34,59	
Humidité(%)		19,97	19,06	$H\% = (PF-PS/PS)*100$
pH		8,6	8,65	pH-mètre
Conductivité électrique		144,24	168,7	Conductimètre
matière organique		4,86	2,5	$MO\% = M_1 - M_2 / M_1 - M_0 * 100$
carbone organique		2,82	1,45	$MO\% / C\% = 1.72$
Azote		0,035	0,0241	Méthode Kjeldahl

II.2.2.2. Les donnees climatiques

a. Les caracteristiques climatiques de la region 2016-2017

La campagne 2016/2017 se caractérise par une répartition inter mensuelle hétérogène des pluies. Cette forte variation est une des caractéristiques des régions semi-aride (Table II.28). Cette dernière campagne se caractérise par une concentration des précipitations en mois de Novembre, Décembre et Janvier. En effet, le mois de Mars 2017 enregistre le cumul le plus faible avec 5.00 mm, alors que c'est l'inverse pour le mois de Janvier qui a reçu une quantité de pluie maximale de 202.8 mm.

Cette campagne se distingue par un hiver humide notamment au cours du mois de Janvier et par une fin de cycle sec avec 1.40 mm pour le mois de juin. Durant la période de végétation de la culture (Décembre et Janvier), nous avons enregistré des gelées ce qui a provoqué des effet néfaste sur la culture.

Tableau II.28: Les données climatiques de la zone d'étude (2016-2017)

Mois	Pluviométrie (mm)			Températures (°C)			Phénomènes accidentelles (Nbr/Jrs)				
	Cumul	Roséé	Nbr/jrs	Mini	Maxi	Moy	Gelées	Neige	Grêle	Brd	Vent/Sir
Sept	5	0	2	13,57	29,17	21,37	0	0	0	0	0
Oct	9	0	3	10,64	26,4	18,52	0	0	3	0	1
Nov	54,8	4	11	2,78	16,48	9,63	2	1	1	2	3
Déc	31,1	8	13	1,72	11,37	6,55	14	0	0	18	0
Janvier	202,8	0	15	-0,58	8,53	3,98	15	3	0	3	0
Février	10,8	5	6	3,28	14,78	9,03	6	0	0	1	2
MARS	5	1	6	3,91	16,18	10,05	2	0	0	0	0
Avril	07.80	1	7	05.97	20.07	13.02	0	0	0	0	0
MAI	27.00	0	4	10.63	28.95	19.79	0	0	0	0	0
Juin	01.40	0	2	16.47	34.00	25.23	0	0	0	0	2
JUILLET	01.00	0	0				0	0	0	0	0
Total	355.7	19	69	5,05	17,56	11,3	39	4	4	24	6

En analysant le régime thermique, nous constatons qu'au cours de cette campagne, les mois de novembre à mars enregistrent des températures moyennes mensuelles inférieure à 10°C avec une température moyenne minimale de 3.98°C notée au cours du mois de Janvier, La température moyenne s'élève rapidement à partir du mois d'avril, passant du de 10°C à plus de 20°C puis elle s'élève rapidement atteignant une valeur maximale de 25.23°C enregistrée au cours du mois de juin, cette augmentation de la température coïncide avec la phase de remplissage des grains.

b. La synthèse climatique

Relation entre la pluviométrie et la température,

→ climagramme d'EMBERGER (type de bioclimat), en utilisant le quotient pluviométrique:

$$Q2 = [2000P / M^2 - m^2]$$

Q2 quotient pluviométrique d'[Emberger](#)

M : la température maximale du mois le plus chaud en [kelvin](#),

m : la température minimale du mois le plus frais en kelvin

P : pluviométrie annuelle en mm.

Dans notre essai pour l'année 2016-2017, la température maximale ($M = 307,15$ Kelvin), température minimale ($m = 272,62$ Kelvin) et la pluviométrie annuelle ($P = 355,7$ mm).

Donc :

$$Q_2 = [2000 \times 355,7 / (307,15^2 - 272,62^2)] = 35,54$$

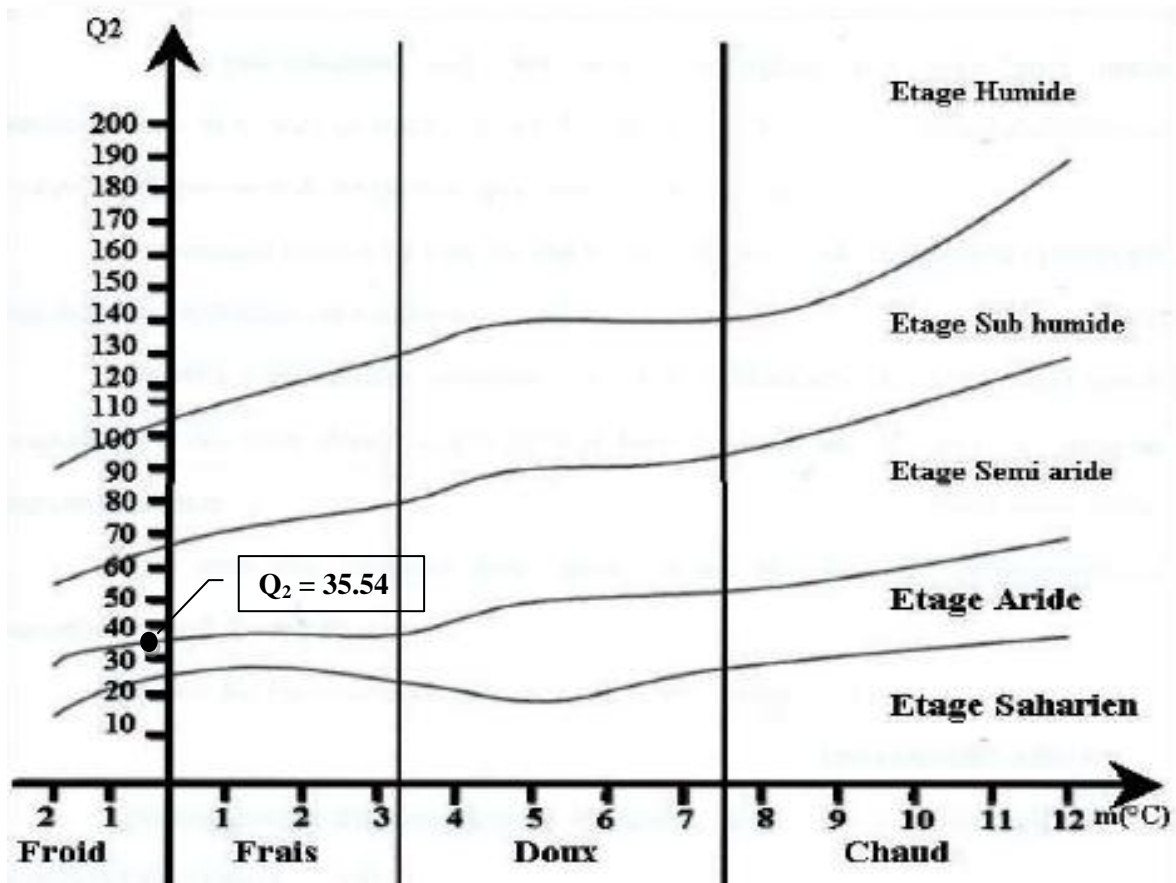


Figure II.3. climagramme d'EMBERGER de la station d'étude.

La station étudiée est caractérisée par un bioclimat Semi aride à hiver froid.

II.2.3. Les opérations culturales

II.2.3.1 Précédent cultural

Le précédent cultural est une jachère travaillée.

II.2.3.2. Travail du sol

Un labour profond a été effectué au mois de Mars 2016 à une profondeur de 30cm à l'aide d'une charrue à disque. La préparation du lit de semences a été réalisée par le passage d'un cover-crop au 6 Novembre 2016 avec épandage d'engrais de fond : Matrix N P 07 17(Azote totale : 07%, P₂O₅ : 17%, K₂O : 0%) a raison d'un 200kg /ha. Et 75kg/ha de fumier du cheval

II.2.3.3. Mise en place de l'essai

Le matériel végétal est constitué de 8 génotypes, il est semé sur des parcelles élémentaires de 2m²(6 rangs, 2m de long et 0.20m écartement entre rangs)chacune selon le dispositif en randomisation totale à 3 répétitions et 2 traitements, le première traitement irrigué et le deuxième traitement est mené en conditions pluviales, soit un total de 48 micro parcelles et 24 micro parcelles pour chaque traitement, la date de semis est le 20 Novembre2016 avec des génotypes traités par un fongicide (Raxil), et avec une densité de semis 200graines /m².

II.3. Les paramètres mesurés

Ils sont les mêmes paramètres mesurés en essai sous serre. En plus des analyses des sols

II.4. Résultat et discussion

II.4.1. Paramètres physiologique

II.4.1.1. la teneur relative en eau

L'analyse des résultats obtenus de l'estimation de la teneur relative en eau (Table II.30) démontre que cette caractéristique est hautement influencée par la variabilité génétique testée et le régime hydrique imposé (p<0.001). L'interaction entre les deux facteurs (génotype x situations hydrique)'exerce également un effet hautement significatif sur les fluctuations des valeurs de ce paramètre (p<0.001).

Tableau II.29: effet du génotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les la teneur relative en eau chez les 8 génotypes

Paramètre	Effet du génotype	Effet hydrique	Génotype*hydrique
	Test F	Test F	Test F
RWC	33,75***	44,12***	7,34***

Les résultats obtenus (Table II.31), démontrent que l'évolution de la teneur relative en eau entre le lot irrigué et celui conduit en pluvial (ADH) est insignifiante.

À l'échelle du lot irrigué, les données de cette variable sont comprises entre $94,97 \pm 0,98\%$ (Tichedrett) et $64,57 \pm 1,78\%$ (Beldi). L'intensification du déficit hydrique s'accompagne d'une nette réduction des valeurs du teneur relative en eau et ce chez la plupart des génotypes. Ainsi au niveau du traitement pluvial, l'abaissement du RWC moyen est de 8.14%. Ces régressions sont de l'ordre de 19,45% chez Mari29 et 1,60% chez le génotype Malouh. À l'exception du génotype Seg09 s'avère insensible au stress.

Tableau II.30: Résultats moyenne de la teneur relative en eau chez les génotypes testés et sous les deux régimes hydriques (pluvial et irrigué).

Génotype	Stress	RWC(%)	RWC Std. Errs
Saida	SDH	84,59	0,78
Saida	ADH	82,35	3,63
Tichedrett	SDH	94,97	0,99
Tichedrett	ADH	80,10	2,05
Beldi	SDH	64,57	1,79
Beldi	ADH	61,18	0,41
Malouh	SDH	84,75	0,68
Malouh	ADH	83,39	0,24
Seg09	SDH	79,37	4,12
Seg09	ADH	80,64	2,97
Mari29	SDH	92,67	1,22
Mari29	ADH	74,65	0,81
Awblack	SDH	82,15	0,45
Awblack	ADH	73,57	1,02
Beecher	SDH	80,03	1,28
Beecher	ADH	78,51	0,35

II.4.1.2. Le taux de déperdition d'eau par la feuille excisée RWL (rate water loss)

L'analyse des résultats obtenus de l'estimation de la perte d'eau de la première phase (transpiration essentiellement stomatique) (Table II.32), démontre que L'élaboration de cette caractéristique n'a pas été influencée à la fois par la nature des génotypes testés et le régime hydrique appliqué et ainsi par leur interaction ($P>0.05$).

Tableau II.31: effet du génotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les paramètres physiologique et morphologiques mesurés chez les 8 génotypes

Paramètre	Effet du génotype	Effet hydrique	Génotype*hydrique
	Test F	Test F	Test F
RWL1	2,1099 ^{ns}	0,9599 ^{ns}	1,7348 ^{ns}
RWL2	2,1637 ^{ns}	0,0185 ^{ns}	2,3920 [*]
résistance stomatique	709.08 ^{***}	24.91 ^{***}	38.12 ^{***}
Taux de la cire	0.9631 ^{ns}	1.002 ^{ns}	1.000 ^{ns}
longueur des chaumes	10.931 ^{***}	85.762 ^{***}	2.837 [*]

Les résultats moyens (Table II.33), montrent qu'à l'échelle du traitement irrigué (SDH), la perte d'eau fluctuent entre des valeurs extrêmes de 86.00 ± 0.030 mg/min/cm² (Malouh) et 19.00 ± 0.002 mg/min/cm² (Awblack). Dans le lot pluvial, l'application du stress regroupe les génotypes en deux groupes, le premier groupe englobe les génotypes qui marquent une diminution de cette transpiration, Malouh (62,79%), Saida (48,72%), Mai29 (38,60%) et Beldi (34,00%). Le deuxième groupe englobe les génotypes qui marquent une progression de cette transpiration, Awblack (100,00%), Beecher (47,17%), Tichedrett (22,00%) et Seg09 (10,17%).

L'analyse des résultats obtenus (Table II.32) montre qu'à ce stade d'évolution du statut hydrique ; l'expression de la perte d'eau au cours de la deuxième phase (transpiration résiduel) est n'est pas influencée par la nature des génotype ($P>0.05$). Les variations de cette expression sous le statut hydrique s'avère d'une faible importance ($P>0.05$). Une distinction notable de comportement des génotypes à l'égard des régimes hydriques ($P<0.05$).

Les résultats moyens (Table II.33), montrent qu'à l'échelle du traitement irrigué (SDH), la perte d'eau (transpiration cuticulaire) fluctuent entre des valeurs extrêmes de 89.00 ± 0.002 mg/min/cm² (Malouh) et 48.00 ± 0.013 mg/min/cm² (Saida).

Dans le lot pluvial, au cours de cette phase l'application du stress regroupe aussi les génotypes en deux groupes, le premier groupe englobe les génotypes qui marquent une diminution de cette transpiration, Malouh (56,18%), Saida (25,00%), Beldi (25,76%) et Seg09 (20,75%). Le deuxième groupe englobe les génotypes qui marquent une progression de cette transpiration, Tichedrett (57,14%), Beecher (46,27%), Awblack (36,73%) et Mari29 (4,41%).

Tableau II.32: Résultats moyenne de la RWL1 et RWL2 chez les génotypes testés et sous les deux régimes hydriques (pluvial et irrigué).

Génotype	Stress	RWL1 (mg/min/cm ²)	RWL1 Std. Errs	RWL2 (mg/min/cm ²)	RWL2 Std. Errs
Saida	SDH	39,00	0,016	48,00	0,013
Saida	ADH	20,00	0,002	36,00	0,005
Tichedrett	SDH	50,00	0,008	56,00	0,006
Tichedrett	ADH	61,00	0,015	88,00	0,023
Beldi	SDH	50,00	0,022	66,00	0,024
Beldi	ADH	33,00	0,009	49,00	0,006
Malouh	SDH	86,00	0,030	89,00	0,002
Malouh	ADH	32,00	0,007	39,00	0,008
Seg09	SDH	30,00	0,008	53,00	0,009
Seg09	ADH	33,00	0,009	42,00	0,006
Mari29	SDH	57,00	0,012	68,00	0,002
Mari29	ADH	35,00	0,009	71,00	0,023
Awblack	SDH	19,00	0,002	49,00	0,000
Awblack	ADH	38,00	0,012	67,00	0,015
Beecher	SDH	53,00	0,009	67,00	0,013
Beecher	ADH	78,00	0,022	98,00	0,011

II.4.1.3. Le taux de cire

L'analyse des résultats (Table II.32) démontrent que le taux de dépôt de cire à la surface de la feuille n'est influencé ni par la nature du génotype ni par la situation hydrique appliquée ($P > 0.05$).

L'impact accordé par les régimes hydriques adoptés est perçu de manière similaire par les génotypes conduits. Cependant aucune distinction génotypique adaptative pour la formation de cette caractéristique n'est apparue ($P > 0.05$).

Les résultats moyens obtenus (Table II.34) fluctuent au niveau du lot irrigué, entre $95.00 \pm 0.034 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ et $37.00 \pm 0.004 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ pour respectivement les génotypes Beecher et Mari29. L'application du stress provoque une augmentation du taux des cires, au niveau du traitement pluvial, la progression du taux de cire est marqué chez les génotypes Mari29 (48.65%), Tichedrett (21.62%), Awblack (21.54%), Malouh (12.5%) et Seg09 (8.16%), à l'exception des génotypes Saida, Beldi et Beecher s'avère insensible au stress.

Tableau II.33: Résultats moyenne du taux des cires et la résistance stomatique chez les génotypes testés et sous les deux régimes hydriques (pluvial et irrigué).

Génotype	Stress	Cires ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Cires Std. Errs	RS ($\mu\text{mol}^{-1}.\text{s}$)	RS Std. Errs
Saida	SDH	61,00	0,008	5,10	0,10
Saida	ADH	50,00	0,007	4,28	0,16
Tichedrett	SDH	37,00	0,008	12,80	0,29
Tichedrett	ADH	45,00	0,004	15,40	0,31
Beldi	SDH	48,00	0,004	3,25	0,05
Beldi	ADH	47,00	0,005	4,02	0,12
Malouh	SDH	40,00	0,004	6,30	0,12
Malouh	ADH	45,00	0,005	3,82	0,15
Seg09	SDH	49,00	0,004	5,80	0,06
Seg09	ADH	53,00	0,007	6,53	0,03
Mari29	SDH	37,00	0,004	5,17	0,12
Mari29	ADH	55,00	0,003	6,37	0,32
Awblack	SDH	65,00	2,730	1,98	0,09
Awblack	ADH	79,00	0,004	3,85	0,19
Beecher	SDH	95,00	0,034	6,77	0,23
Beecher	ADH	72,00	0,007	6,57	0,24

II.4.1.4. La résistance stomatique

L'analyse des résultats obtenus de l'estimation de la résistance stomatique (Table II.32) démontrent que les variations des valeurs de ce paramètre sont fortement conditionnées par le régime hydrique appliqué ($p < 0.001$). De son côté la variabilité conduite constitue une source de variation importante de ce paramètre ($p < 0.001$).

Les résultats moyens (Table II.34) montrent que le déficit hydrique augmente considérablement la résistance stomatique. A l'échelle du traitement irrigué (SDH), la résistance stomatique est comprise entre $12.80 \pm 0.29 \mu\text{mol}^{-1}.\text{s}$ (Tichedrett) et $1.98 \pm 0.09 \mu\text{mol}^{-1}.\text{s}$ (Awblack). Les valeurs de la résistance stomatique oscillent dans le lot stressé (pluvial) entre une valeur maximale de $15.40 \pm 0.31 \mu\text{mol}^{-1}.\text{s}$ (Tichedrett) et $3.85 \pm 0.19 \mu\text{mol}^{-1}.\text{s}$ (Awblack).

II.4.2. Paramètres biochimiques

II.4.2.1. Les sucres solubles

L'analyse des résultats obtenus de l'estimation d'accumulation des sucres (Table II.35) démontre que les variations des teneurs de ce paramètre biochimique sont fortement conditionnées par le régime hydrique appliqué ($p < 0,001$). De son côté la variabilité conduite constitue une source de variation importante de ce paramètre ($p < 0,001$).

Tableau II.34 : effet du génotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les paramètres biochimiques chez les 8 génotypes

Paramètre	Effet du génotype	Effet hydrique	Génotype*hydrique
	Test F	Test F	Test F
Sucres	3.8825**	19.3611***	2.4507*
Potassium	2.988*	68.87***	3.807**

A l'échelle du traitement conduit à la capacité au champ les valeurs fluctuent entre 89.26±8.41mg/gMF donnée par le génotype Malouh et 47.17±6.57mg/gMF obtenus par le génotype Beecher. A l'opposé les teneurs en sucres oscillent dans le lot stressé entre une valeur maximale de 212.68±63.06 mg/gMF (Seg09) et 38.57±7.51mg/gMF observée chez le génotype Beecher. Toutefois on constate qu'en passant du lot irrigué à celui mené en conditions sèches il en ressort une accumulation des sucres plus importante chez l'ensemble des génotypes.

Tableau II.35: Résultats moyenne du taux des sucres et de potassium chez les génotypes testés et sous les deux régimes hydriques (pluvial et irrigué).

Génotype	Stress	Sucres (mg/gMF)	Sucres Std. Errs	Taux potassium (ppm)	Potassium Std. Errs
Saida	SDH	83,53	7,54	207,33	10,17
Saida	ADH	161,36	20,84	364,00	23,67
Tichedrett	SDH	63,77	9,86	252,00	6,00
Tichedrett	ADH	135,30	27,13	317,67	10,17
Beldi	SDH	83,86	6,18	198,00	19,43
Beldi	ADH	109,17	43,34	389,67	69,93
Malouh	SDH	89,26	8,41	209,00	12,74
Malouh	ADH	185,79	21,72	314,33	12,00
Seg09	SDH	74,54	2,10	203,67	13,68
Seg09	ADH	212,68	63,06	372,33	36,73
Mari29	SDH	78,84	10,22	197,00	3,21
Mari29	ADH	93,99	22,14	413,00	55,99
Awblack	SDH	83,82	16,36	335,33	19,68
Awblack	ADH	82,50	12,30	295,00	20,74
Beecher	SDH	47,17	6,57	322,67	45,57
Beecher	ADH	38,57	7,51	443,33	10,73

II.4.2.2. Taux de potassium

L'étude statistique des résultats obtenus (Table II.35), démontre que l'expression de ce paramètre est influencée par les variations des niveaux d'alimentation hydrique adoptés

($p < 0.05$). Les déficits hydriques imposés provoquent de nettes augmentations des taux de potassium des génotypes conduits. Ces comportements sont conditionnés par les natures génotypiques ($p < 0.001$).

On note également une influence significative émanant de l'interaction de ces deux facteurs, induisant des comportements réponses distinctes des génotypes, à l'égard des différents régimes hydriques ($p < 0.01$).

Dans le traitement irrigué (SDH), le taux de potassium est limité par 335.33 ± 19.68 ppm (Awblack) et 197.00 ± 3.21 ppm (Mari29).

Dans le lot pluvial, les accumulations de potassium sont plus marquées chez l'ensemble des génotypes à l'exception d'Awblack. Ainsi, ces progressions du taux de potassium sont de 109.64%, 96.80%, 82.81%, 75.57%, 50.40%, 37.39%, 26.06% respectivement chez Mari29, Beldi, Seg09, Saida, Malouh, Becheer et Tichedrett.

II.4.3. Paramètres morphologique

II.4.3.1. La longueur des chaumes

L'analyse des résultats dégagés (Table II.32), démontre que l'expression la longueur des chaumes est sous une influence hautement significative, de la nature des génotypes testés ($p < 0,01$), des traitements hydriques adoptés ($p < 0,001$) et de leur interaction ($p < 0,05$). En effet, l'application des régimes hydriques déficients provoque une nette réduction de la longueur des chaumes et ce chez l'ensemble des génotypes, à des degrés différents.

Les valeurs moyennes résultants de l'évaluation de ce paramètre démontre qu'au au niveau du traitement irrigué, elles varient entre 26.67 ± 5.99 cm (Saida) et 39.73 ± 2.54 cm (Mari29).

Au niveau du traitement pluvial, la régression moyenne de la hauteur des chaumes est de 25.85%. La décroissance de la hauteur des chaumes varie entre 8.19% (Awblack) et 39.88% (Beldi).

Tableau II.36: Résultats moyenne de la longueur des chaumes chez les géotypes testés et sous les deux régimes hydriques (pluvial et irrigué).

Géotype	Stress	LC (cm)	LC Std. Errs
Saida	SDH	62,67	5,99
Saida	ADH	45,11	3,76
Tichedrett	SDH	52,37	1,62
Tichedrett	ADH	35,53	2,49
Beldi	SDH	60,43	2,54
Beldi	ADH	36,33	1,94
Malouh	SDH	41,00	0,85
Malouh	ADH	34,87	2,73
Seg09	SDH	42,43	0,85
Seg09	ADH	33,27	0,97
Mari29	SDH	39,73	2,54
Mari29	ADH	27,23	1,21
Awblack	SDH	40,77	0,38
Awblack	ADH	37,43	2,46
Beecher	SDH	54,40	4,55
Beecher	ADH	37,80	4,23

II.4.4. Les composants du rendement

II.4.4.1. Nombre épis/m²

L'analyse statistique des résultats (Table II.38) révèle que les variations du régime hydrique induisent des différences très hautement significative du nombre épis/m² ($p < 0,001$), l'application de stress provoque une nette régression du nombre épis/m².

La nature du géotype ne semble être à l'origine d'aucune variation significative ($p > 0,05$). L'interaction des deux facteurs est sans influence notable sur l'expression du nombre épis/m².

Tableau II.37: effet du géotype, de l'alimentation hydrique et de leurs interactions sur les paramètres de productivité mesurés chez les 8 géotypes.

Paramètre	Effet du géotype	Effet hydrique	Géotype*hydrique
	Test F	Test F	Test F
nombre épis/m ²	1.241 ^{ns}	14.597 ^{***}	0.315 ^{ns}
nombre grains/épi	3.538 ^{**}	2.048 ^{ns}	1.277 ^{ns}
PMG	21.67 ^{***}	35.22 ^{***}	1.54 ^{ns}
Rendement	2.317 [*]	31.604 ^{***}	1.351 ^{ns}

La lecture des données (Table II.39) montrent qu'au niveau du traitement irrigué où le nombre épis/m² est plus élevé par rapport au lot stressé, ce nombre est compris entre 476.33±42.28 épis/m² (Beldi) et 319.67±60.15 épis/m² (Beecher). Contrairement au niveau de lot conduit à la condition pluviale l'ensemble des génotypes marquent des régressions de ce nombre, les décroissances de nombre d'épis/m² sont de l'ordre de 32.34, 29.67, 28.90, 26.78, 24.19, 20.09, 13.94, 13.28% respectivement chez Tichedrett, Beldi, Malouh, Seg09, Beecher, Mari29, Awblack, Saida.

Tableau II.38: Résultats moyenne des composants du rendement chez les génotypes testés et sous les deux régimes hydriques (pluvial et irrigué).

Génotype	Stress	épis/m ²	épis/m ² Std. Errs	grains/épi	NG/E Std. Errs	PMG	PMG Std. Errs	Rendement (g/m ²)	Rendement Std. Errs
Saida	SDH	336,33	70,17	36,60	3,67	53,31	1,62	275,62	15,24
Saida	ADH	291,67	40,34	44,60	0,92	48,50	2,12	229,70	17,78
Tichedret	SDH	448,33	83,60	48,00	2,31	43,11	0,71	524,94	123,17
Tichedret	ADH	303,33	44,77	43,53	1,73	41,88	0,89	226,08	15,60
Beldi	SDH	476,33	42,28	42,40	3,52	43,74	1,22	569,39	83,50
Beldi	ADH	335,00	59,25	40,60	1,33	40,52	0,40	270,74	27,08
Malouh	SDH	403,67	39,18	51,00	2,30	46,23	2,14	436,42	34,93
Malouh	ADH	287,00	38,18	47,53	4,93	41,62	0,71	253,10	48,74
Seg09	SDH	374,67	38,72	48,80	1,63	42,90	0,54	346,08	77,47
Seg09	ADH	274,33	53,23	45,93	3,43	38,64	1,81	183,43	8,55
Mari29	SDH	356,67	57,68	49,53	3,38	43,57	1,25	336,72	48,14
Mari29	ADH	285,00	18,45	42,20	2,48	35,09	0,80	142,80	17,68
Awblack	SDH	358,67	48,91	42,73	2,55	45,14	0,79	301,66	63,54
Awblack	ADH	308,67	9,68	42,53	2,53	44,26	0,30	284,26	41,51
Beecher	SDH	319,67	60,15	40,13	0,82	53,82	2,61	350,87	137,73
Beecher	ADH	242,33	17,07	35,93	4,28	49,08	1,26	151,97	35,87

II.4.4.2. Nombre grains/épi

L'analyse des résultats obtenus (Table II.38), démontre que l'expression du nombre grains/épi est indépendante de régime hydrique appliqué ($P > 0.05$). Les variations de la nature des génotypes testés provoquent par contre des différences hautement significatives ($p < 0.001$). Aucune distinction significative n'est manifestée par les génotypes testés vis-à-vis du déficit hydrique appliqué ($p > 0.05$).

A l'échelle du lot irrigué, la plus grande valeur de ce paramètre est inscrite par le génotype Malouh avec 51.00±2.30 grains/épi et la plus faible valeur est inscrite chez le génotype Saida (36.60±3.67 grains/épi).

Au niveau du lot conduit à la condition pluvial, les réductions sont plus importantes et ce chez l'ensemble des génotypes suite à l'installation du stress, avec des valeurs extrêmes de

14,80 et 0.47%, détenues respectivement par Mari29 et Awblack. A l'exception de Saida s'avère insensible au stress et marque une augmentation de ce paramètre.

II.4.4.3. le poids de 1000 graines

L'analyse de variance du PMG révèle une très haute signification statistique aussi bien entre le régime hydrique appliqué et la nature des génotypes testés (table II.38). Les résultats moyens obtenus (Table II.39), indiquent qu'au niveau du lot irrigué les valeurs du PMG fluctuent entre des extrêmes de 53.82 ± 2.61 g (Beecher) et 42.9 ± 0.54 g (Seg09).

Ces grandeurs sont fortement réduites au niveau du traitement conduit à la condition pluvial. En effet, la réduction moyenne est de 8.67%, où les génotypes Mari29 et Awblack se distinguent par les données limites avec, dans l'ordre, 19.46 et 1.95%.

II.4.4.4. Le rendement

L'analyse de variance du rendement (Table II.8) indique que l'élaboration de ce paramètre est sous double influence de la nature génotypique ($p < 0.05$) et le régime hydrique appliqué ($p < 0.001$). En effet l'application de déficit hydrique provoque une nette régression de ce paramètre.

D'après les résultats moyens (Table II.39), les plus grandes valeurs sont enregistrées chez l'ensemble des génotypes au niveau du traitement irrigué avec des valeurs extrêmes fluctuant de 569.39 ± 83.5 g (Beldi) et 275.62 ± 15.24 g (Saida). Au niveau du lot conduit en condition pluvial, les décroissances de ce paramètre est de l'ordre 57.59, 56.93, 56.69, 52.45, 47.00, 42.01, 16.66 et 5.77% respectivement chez Mari29, Tichedrett, Beecher, Beldi, Seg09, Malouh, Saida et Awblack.

II.4.5. Relation entre le rendement les composants du rendement et tous les paramètres mesurés

La sécheresse entraîne une diminution du rendement en céréales et des composantes de rendement des génotypes de blé cultivé en plein champ (Moayedi et al., 2010; Akram 2011) et la présente étude a confirmé la déclaration ci-dessus par la corrélation négative entre le stress et tous les composants du rendement de la culture de l'orge, NE/m^2 ($r = -0,50^{**}$), NG/E ($r = -0,17$), PMG ($r = -0,39^{**}$) et le rendement ($r = -0,59^{**}$), ces corrélation indique que le stress hydrique réduit considérablement le poids de 1000 grains, le nombre d'épis/ m^2 , nombre de grains / épi et rendement en grains.

L'effet du stress hydrique sur le rendement en orge est conditionné à la fois par l'intensité du déficit hydrique et par le stade auquel il se produit. D'une manière générale, le déficit d'eau pendant le développement des plantes et autour de l'anthesis provoque une diminution du rendement en raison d'une réduction du nombre potentiel de grains par unité de surface (**Abrha et al., 2012**) En outre, le déficit d'eau, ainsi que des températures élevées pendant la formation des grains (remplissage des graines), réduisent le poids d'épis et le poids de 1000 grains (**Abrha et al., 2012; Acevedo et al., 2002**), **Hompkins et al. (1991)** ont signalé l'effet suppressif important du stress hydrique sur le nombre de grains par épi, d'après (**Gate, 1995 ; Debaeke, 1996**) la diminution du nombre de grains par épi est une conséquence de l'augmentation des taux d'avortement des épillets et de l'induction de la stérilité masculine, la sécheresse réduit le nombre de fleurs fertiles par épillet. Le poids de 1000 grains et sa réduction de taille sont probablement dus à une diminution du taux d'assimilation et à une translocation photo-assimilée plus faible vers les puits physiologiques. Le déficit hydrique est connu pour réduire le poids de 1000 grains en raccourcissant la période de remplissage des grains, Ces résultats sont en accord avec ceux de **Khan et al. (2005)** et **Qadir et al. (1999)** qui ont observé que le poids de 1000 grains de blé était réduit principalement en raison de l'augmentation du stress hydrique.

Le stress hydrique constitue un important facteur limitant la production des céréales (**Mefi et al., 2000**). Il affecte tous les aspects de croissance. Il se traduit Du point de vue agricole, le stress hydrique des cultures survient lorsque la quantité d'eau fournie par les précipitations et l'irrigation n'est pas suffisante pour répondre aux besoins d'évapotranspiration des plantes.

La combinaison de faibles précipitations et de températures relativement élevées sur le site a accéléré la perte d'eau par évapotranspiration. D'autres études ont également suggéré que les températures élevées à l'anthesis ont des effets négatifs sur le rendement en raison de la stérilité accrue du pollen, de la viabilité réduite des ovules et de l'avortement des épillets (**Hasanuzzaman et al., 2013**).

Plusieurs études ont montré l'intérêt de cette technique d'irrigation (irrigation d'appoint) pour corriger le déficit hydrique et la possibilité d'améliorer le rendement (**Chamoun, 1999; Arar, 1992; Ben Benchchlia, 1992**). L'irrigation d'appoint des céréales consistera à garantir une production seuil ou production minimale garantie, quelles que soient les conditions climatiques (**Filali, 1991**).

Les présents résultats montrent un effet négatif du stress hydrique sur les composantes du rendement, et les résultats des corrélations indiquent que le rendement en grains était positivement corrélé avec le nombre d'épis/m², le nombre de grains par épi, et le poids d'un grain et le poids de 1000 grains respectivement ($r = 0,80^{**}$, $r = 0,39^{**}$, et $r = 0,21$). Par conséquent, le rendement en grains est le produit des trois facteurs mentionnés avec une compensation entre eux, L'effet compensatoire entre rendement et composantes du rendement est donc nécessaire pour augmenter le rendement et la stabilité du rendement (**Garcia del Moral et al., 1991; Mitchell et al., 1996**).

Bouzerzour (1998) a montré que la contribution du nombre de grains / m² au rendement était plus importante que le nombre de grains par épi, le nombre d'épis / m² et le poids de 1000 grains, présentant un effet variétal significatif. De plus, le poids de 1000 grains n'est généralement pas contrôlable, car il est fortement lié aux effets environnementaux lors du remplissage du grain.

Jonard et Koller (1950) ont conclu, en l'absence de compensation entre les composantes de rendement, que la modification d'un facteur de rendement entraîne une modification du rendement du grain. Dans des situations normales, il existe une compensation entre les composants de rendement.

En conclusion, le rendement en grains était significativement et positivement corrélé avec le nombre d'épis / m², le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains et la quantité de tiges assimilées assurant le remplissage des grains.

La corrélation significatif entre la RWC et NG/E ($r=0,32$), comme déjà signalé par **NeSmith et Ritchie (1992)**, s'explique que le nombre de grains par plant était l'élément de rendement le plus responsable des réductions de rendement. Les résultats indiquent que la gestion de l'irrigation pour maximiser la formation de grains en évitant les déficits hydriques est nécessaire pour maintenir des rendements favorables car l'augmentation du poids des grains ne suffit pas à compenser la perte de nombre de grains.

On a déjà signalé l'intérêt de la longueur des chaumes dans la préservation de l'état hydrique de la plante lors de l'essai sous serre 2017, l'essai en plein champ 2017 ainsi confirme son rôle bénéfique sur l'élaboration du rendement en grain et ces composants ce qui prouvé par la Corrélation positive entre la longueur des chaumes et composants du rendement, NE/m²($r= 0,43^{**}$), PMG($r= 0,65^{**}$) et le rendement($r= 0,57^{**}$). **Menad (2009)** trouve qu'une hauteur de paille importante est une caractéristique désirable en zone semi-aride, suite à ses effets bénéfiques lors des années sèches. Ces effets sont attribués à la

capacité de stockage et de transfert des substrats glucidiques pour la finition du grain. **Bouzerzour et Monneveux (1992)** observent que les variétés, les plus hautes, produisent un grain plus gros et elles sont plus tardives à l'épiaison. **Rebetzke et al. (2002)** trouvent que l'importance de la hauteur sous stress est liée à la capacité de croissance du système racinaire en profondeur. De ce fait, une paille haute est souvent associée d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une meilleure capacité d'extraction de l'eau du sol.

Le stress de la sécheresse perturbe la photosynthèse et le transfert des glucides stockés dans les grains pendant la floraison et réduit le nombre et le poids des grains, ce qui diminue finalement le rendement en grains (**Richards et al., 2011**), ce qui confirme la Corrélation négative entre les sucres solubles et PMG ($r=-0.30^{**}$) dans notre étude.

L'ion K^+ est connu pour être tout à fait soluble et pour jouer un rôle osmorégulateur clé dans les cellules de garde et de même dans le maintien de la turgescence (**Shabala et Cuin, 2007**). Nos résultats sont conformes à ceux obtenus par **Patakas et al. (2002)**, qui ont rendu compte l'accumulation des ions K^+ et son importance dans l'ajustement osmotique des plants de vigne sous stress hydrique. L'augmentation de la teneur en potassium suggère son rôle central dans la survie des plantes pendant la sécheresse (**Wang et al., 2013**). L'une des principales fonctions des stomates est de contrôler la perte d'eau des plantes par transpiration. En période de sécheresse, une fermeture rapide des stomates et la préservation de l'humidité interne sont essentielles pour l'adaptation des plantes aux conditions de sécheresse. K joue un rôle crucial dans la régulation de la turgescence au sein des cellules de garde lors du mouvement stomatique (**Marschner, 2012**). Comme la fermeture stomatique est précédée d'une libération rapide de K^+ des cellules de garde dans l'apoplaste foliaire, il est raisonnable de penser que les stomates seraient difficiles à rester ouverts dans des conditions déficientes en K . Certaines études ont également déclaré que la carence en K pouvait induire une fermeture stomatique et inhiber les taux de photosynthèse dans plusieurs plantes cultivées (**Jin et al., 2011 ; Tomemori et al., 2002**). À l'inverse, de nombreuses études suggèrent que K n'a pas eu d'effet sur la conductance stomatique et les taux de photosynthèse dans des conditions bien arrosées, mais la famine K pourrait favoriser l'ouverture stomatique et favoriser la transpiration, par rapport à la suffisance de K dans plusieurs plantes soumises à un stress de sécheresse (**Pervez et al., 2004 ; Benlloch-Gonzalez et al., 2010**), ces dernier études justifiés nous résultats représentés par les corrélations négative entre la corrélation négative entre le potassium et le rendement ($r=-0,56^{**}$) et les composants du rendement, NE/m² ($r=$ -

0,39**), NG/E(r=-0,35**), qui sont discutés par la suffisance en K et leur conséquence sur la perturbation de la photosynthèse et par conséquent sur les composants du rendement et en fin sur le rendement en grain.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans les zones à climat méditerranéen, l'eau est le principal facteur limitant la production agricole. Dans ces régions, les pluies sont rares, irrégulièrement réparties et variables d'une année à l'autre. En raison de ces fluctuations de la disponibilité de l'eau, le rendement des cultures varie également d'une année et d'une région à l'autre. L'orge est la principale céréale cultivée dans ces régions car elle montre une stratégie conservatrice dans l'utilisation de l'eau par rapport à d'autres espèces. Cependant, sa productivité est limitée par le stress hydrique terminal et les températures élevées lors du remplissage des grains.

Dans ces conditions, les sélectionneurs recherchent généralement des géotypes qui ont un bon rendement potentiel et des caractéristiques phénologiques, physiologiques et morphologiques qui favorisent la tolérance à la sécheresse, ce pour ça l'identification des mécanismes de résistances demeure déterminante dans toute manipulation de création de matériel végétal tolérant à ce stress abiotique, chez les plantes, une meilleure compréhension des bases morpho anatomiques et physiologiques des modifications de la résistance au stress hydrique pourrait être utilisée pour sélectionner ou créer de nouvelles variétés de cultures afin d'améliorer la productivité dans des conditions de stress hydrique.

La recherche et l'étude des paramètres d'adaptation au déficit hydrique constituent un travail incontournable dans toute tentative visant l'amélioration de la tolérance et la productivité du blé dur en zones régies par les déficits hydriques, l'adaptation peut avoir plusieurs origines (esquive, évitement, tolérance). Quelle que soit l'origine de son adaptation une variété arrive à produire sous stress hydrique. L'effet de la sécheresse sur le comportement de cette espèce dépend de son intensité et l'époque de sa déclaration pendant le cycle de développement de la plante. L'implication des mécanismes de tolérance au déficit hydrique conduit assurément à une variation de la période de leur extériorisation et mène également à des retombées d'utilités différentes sur l'élaboration du rendement chez cette espèce. L'étude présentée et basée essentiellement sur une comparaison entre les stratégies de tolérance et leurs efficacités sur le maintien de la teneur relative en eau et leur conséquence sur l'élaboration des composants du rendement, révèle des variations d'expression significatives à partir des géotypes expérimentés.

L'étude de la réponse au stress hydrique chez les huit variétés de l'orge testées révèle l'existence d'une grande variabilité pour la plupart des paramètres mesurés.

L'étude menée montre que la perte de turgescence constitue un facteur primordial de prédiction de la contrainte hydrique et que la variabilité conduite montre que les géotypes

résistants aux stress hydrique sont ceux qui préservent efficacement leur teneur en eau, Malouh en essai en plein champ, Beldi en essai contrôlée 2016 et Beldi en essai contrôlée 2017. Les résultats démontrent également que l'abaissement de la teneur en eau des tissus s'accompagne d'une nette accumulation des osmoticums tels que les sucres de ces derniers, mais, n'assureraient pas à eux seuls la dominance de la tolérance à faible potentiel hydrique, à la sécheresse appliquée. Les génotypes cités manifesteraient plutôt une tolérance à un potentiel hydrique élevé (l'évitement).

Les déficits hydriques appliqués provoquent de profondes modifications physiologiques et morphologiques pour les différents génotypes dans cette étude.

En effet la sécheresse du substrat induit une réduction de la masse végétative des deux parties de la plante, aérienne et racinaire. Néanmoins l'acuité des effets sur les deux parties de la plante et leur interaction s'avèrent très variables d'une manière générale et spécifiquement pour les différents génotypes conduits. Le déficit hydrique réduit les grandeurs des différents paramètres morphologiques racinaires retenus dans cette étude. La longueur, ainsi que le nombre de racines émises, régressent d'un niveau important sous l'effet de la sécheresse

L'impact du déficit hydrique est plus marquant sur la hauteur des chaumes. Les résultats obtenus démontrent que tous les niveaux de déficit hydrique adoptés (60%, 30%) dans cette étude provoquent une réduction de la hauteur chez l'ensemble des génotypes testés. Cette tendance s'explique par une inhibition de la croissance cellulaire qui serait expliquée par une perte de turgescence cellulaire. Egaleme nt la résistance stomatique est influencée par le stress hydrique et augmente considérablement chez l'ensemble des génotypes et aux cours des essais contrôlés et en plein champs.

L'effet du déficit hydrique sur la transpiration stomatique, cuticulaire et les cires s'avère très variable suivant son intensité ainsi que la nature du génotype. Concernant les composants du rendement, le stress hydrique provoque une nette régression du nombre d'épis par plant, du nombre des grains par épi et le poids de 1000 grains dans les deux traitements stressés (60%CC et 30%CC) pour l'essai contrôlé, Compte tenu des résultats obtenus dans l'essai en plein champ, elle ressort que la contribution de l'irrigation d'appoint dans l'amélioration des rendements est significative et le stress hydrique influe négativement le nombre d'épis par mètre carré, le nombre de grains par épi et le poids de 1000 grains, ainsi le rendement en grains dans le traitement pluvial chez l'ensemble des génotypes testés.

Pour limiter l'abaissement de la teneur relative en eau en conditions de déficit hydrique, les génotypes testés élaborent des stratégies différentes. Ainsi, certains l'assure n

régulant efficacement la perte d'eau par limitation de la transpiration, alors que d'autres le permettent par un ajustement osmotique. La continuité entre les deux groupes de génotypes est imposée par ceux dont la préservation de la teneur en eau est assurée conjointement par les deux stratégies, d'après nos résultats il ya une variabilité entre les génotypes, En essai sous serre 2016, la RWC est conditionnée par la résistance stomatique($r=-0.40$), la hauteur des pailles($r=0.40$) et la matière sèche aérienne($r=0.25$), alors en essai sous serre 2017, la RWC est conditionnée par les cires($r=0.27$), la matière sèche racinaire($r=0.23$) et les sucres solubles($r=-0.35$), pour l'essai en plein champ, la teneur relative en eau est maintenu par la résistance stomatique seulement($r=0.35$), donc la teneur relative en eau est maintenu par l'évitement au cours de l'essai sous serre 2016 et l'essai en plein champs. Au cours de l'essai sous serre 2017, les génotypes maintiennent leur teneur relative en eau par une association des paramètres d'évitement et de tolérance où la distinction d'implication des deux types de mécanismes s'avère difficile à mettre en œuvre.

L'orge offre une variabilité génétique existante de tolérance au déficit hydrique, importante. Un travail de création de variabilité est indispensable pour la création de génotype plus tolérant et productif.

Références bibliographiques

- ABDALLA, M.M., 2011**, Beneficial effects of diatomite on the growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 2(2), 207-220.
- ABDELKADER D., 2009**, La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques, Département d'Agronomie Université de Hassiba Benbouali de Chlef, pp46.
- ABRHA, B., DELBECQUES, N., RAES, D., TSEGAY, A., TODOROVIC, M., HENG, L., VANUTRECHT, E., GEERTS, S., GARCIA-VILA, M., DECKERS, S., 2012**. Sowing strategies for barley (*Hordeum vulgare* L.) based on modelled yield response to water with Aqua Crop. *Expl. Agric.*48, 252–271.
- ACEVEDO, E., SILVA, P., SILVA, H., 2002**. Wheat growth and physiology. In: Curtis, B.C., Rajaram, S., Gómez Macpherson, H. (Eds.), Bread Wheat, Improvement and Production. FAO Plant Production and Protection Series, p. 30.
- ADDA A., SOUALEM S., LABDELLI A., SAHNOUNE M., MERAH O., 2013**, Effets du déficit hydrique sur la structure de la zone pilifère des racines séminales du blé dur. *Agr.* 12, 19- 26.
- ADDA, A., SAHNOUNE, M., KAID-HARCH, M., MERAH, O. 2005**. Impact of water deficit intensity on durum wheat seminal roots. *Comptes Rendus Biologies*, 328(10): 918-927.
- AIT K., 1993**, Contribution à l'étude des mécanismes morphologiques et biochimiques de tolérance au stress hydrique sur 5 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse de Magister., INA EL HARACHE p.114.
- AKBARIAN A., ARZANI A., SALEHI M., SALEHI M., 2011**, Evaluation of triticale genotypes for terminal drought tolerance using physiological traits. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 81, 1110-1115.
- AKRAM M., 2011**, Growth and yield components of wheat under water stress of different growth stages. *Bangladesh J.Agril.Res.* 36(3) , 455- 468.
- ALBOUCHI A., BEJAOUI Z., HEDI EI AOUNI M., 2003**. Influence d'un stress hydrique modéré ou sévère sur la croissance de jeunes plants de *Casuarina glauca* Sieb. Edit. Science et changements planétaires, *Sécheresse*. 14, (3), pp 137-142.
- Ali Dib T, Monneveux P., Araus J., 1992**, Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II. Caractères physiologiques d'adaptation, *Agronomie, EDP Sciences*, 12 (5), pp.381-393.
- ALI DIB T., MONNEVEUX P., 1992**, Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. Caractères morphologiques d'enracinement. *Agron.* 12, 371-379.
- Alvaro F.C., Royo L.F., Garcia M., Villegas D., 2007**, Grain Filling and Dry Matter Translocation Responses to Source–Sink Modifications in a Historical Series of Durum Wheat. *Crop Science* 48, 1523–1531.
- AMINI H., ARZANI A., KARAMI M., 2014**. Effect of water deficiency on seed quality and physiological traits of different safflower genotypes. *Turkish Journal of Biology* 38,271-282.
- ARAR A., 1992**, The role of supplementary irrigation in increasing productivity in the Near East Region. In: Internationale conference on "supplementary irrigation and drought water management" volume1, C.I.H.E.A.M.: (1992) 2.6 -2.7.
- ARAUS J.L., FEBRERO A., VENDRELL P., 1991**, Epidermal conductance in different parts of durum wheat grown under Mediterranean conditions: the role of epicuticular waxes and stomata. *Plant Cell Environ.* 14, 545-558.
- ARAUS, J.L., AMARO, T., VOLTAS, J., NAKKOUL, H., NACHIT, M.M., 1998**. Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Field Crops Res.* 55, 209-223.
- ASHRAF M., FOOLAD M.R., 2007**, Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance, *Environ Experiment Bot*, 59,206 – 216.
- ASMA J., INES S., AIDA R., CHEDLY A., 2014**, Growth, Na⁺, K⁺, osmolyte accumulation and lipid membrane peroxidation of two provenances of *Cakile maritima* during water deficit stress and subsequent recovery, *Flora*, 209, 54–62.
- ASPINALL D., 1965**, The effects of soil moisture stress on the growth of barley: II. Grain Growth, *Aust. J. Agr. Res.* 16, 265–275.
- ASPINALL D., NICHOLLS P.B., 1964**, May L.H., The effects of soil moisture stress on the growth of barley: I. Vegetative development and grain yield, *Aust. J. Agr. Res.* 15, 729–745.
- ASSMANN S. M., SNYDER J.A., LEE Y. J., 2000**, ABA-deficient (*aba1*) and ABA insensitive (*abi1-1, abi2-1*) mutants of *Arabidopsis* have a wild-type stomatal reponse to humidity. *Plant Cell Environ.* 23: 387-395.
- ATEFEH N., ALIREZA E., JAIME A. TEIXEIRA D.S., REZA M., 2011**, Assessment of yield, yield-related traits and drought tolerance of durum wheat genotypes (*Triticum turjidium* var. durum Desf.), *Australian journal of crop science* 5(1), 8-16.

- ATTIA F., 2007**, Effet du stress hydrique sur le comportement éco physiologique et la maturité phénolique de la vigne vitis vinifera l'étude de cinq cépages autochtones de Midi-Pyrénées. Thèse Doctorat Toulouse France : 194p.
- AZZI G, 1954** : Ecologie agricole – Encyclopédie agricole - Ed. Ballière – Paris.
- BAGGA A.K., RUWAL K.N., ASANA R.D., 1970**. Comparison of some Indian and semi-dwarf Mexican wheat to unirrigated cultivation. *IndianJ.agric.Sci.* 40: 421- 427.
- BAJJI M., 1999**, Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés In vitro. Thèse de doctorat. Univ . Louvain.
- BAJJI M., LUTTS S., KINET J.M., 2001**, Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions, *Plant Sci.* 160, 669–681.
- BALAJD DJAMEL, 1986**, Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed. Alger ; pp 4-6.
- BALDY C., 1993**, Effets du climat sur la croissance et le stress hybride des blés en Méditerranée occidentale. In tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale, Colloques 64-INRA,
- BALOUCHI H.R., 2010**, *International J. Biol Life Sci*, 6, 56-66.
- BARRS H.D., WEATHERLEY P.E., 1968**. A reexamination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Aust. J. Biol. Sci.* 15, 413-428.
- BELAJD DJ., 1986**. Aspect de la céréaliculture algérienne, OPU, 207 p.
- BELHASSEN E., THIS D., MONNEVEUX P., 1995**, L'adaptation génétique aux contraintes de la sécheresse. *Cahiers Agricultures* 4 : 251-261.
- BELOUT M., 2000**. Contribution à l'étude de certains mécanismes d'adaptation au déficit hydrique aux premiers stades de développement de la plante chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). DES biologie. ISA, Tiaret p. 62.
- BEN BENCHCHLIA N., 1992**, Utilisation de l'eau sous conditions d'irrigation d'appoint. In: Internationale conference on "supplementary irrigation and drought water management" volume1, C.I.H.E.A.M., 16, 1-7.
- BEN KHALED L., GOMEZ A. M., OUARRAQI E. M., OIHABI A., 2003**, Physiological and biochemical responses to salt stress of mycorrhized and/or nodulated clover seedlings(*Trifolium alexandrinum* L.). *Agronomie*, 23, 571–80.
- BEN NACEUR M., GHARBI M.S., PAUL R., 1999**, L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. *Sécheresse*. 10 :27- 33.
- BEN SALEM M., VIEIRA D.A., SILVA J.P., 1991**. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris Q, pp. 25-34.
- BENACEUR M ; RAHMOUN C ; SDIRI H ; MEDAHI M & SELMI M ; 2001**. Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production de grains de blé. *Sécheresse*, 12 (3): 167-174.
- BENBELKACEN A, 1997**. Etude de l'adaptation variétale des céréales cultivées en Algérie sous différentes condition agro-écologique. *céréaliculture*; 31, 17-22.
- BENLARIBI M., MONNEVEUX PH., GRIGNAC P., 1990**. Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Agronomie* 10, 305-322.
- BENLLOCH-GONZALEZ, M., ROMERA, J., CRISTESCU, S., HARREN, F., FOURNIER, J.M., BENLLOCH, M., 2010**, K⁺ starvation inhibits water-stress-induced stomatal closure via ethylene synthesis in sunflower plants. *J. Exp. Bot.*, 61, 1139–1145.
- BENMAHAMMED A., 2004**. La production de l'orge et possibilité de développement en Algérie. Céréaliculture. *ITGC El Harrach*, 41, 34-38.
- BENSALEM N., ACEVEDO E., SRIVASTAVA P., 1991**. La sélection des céréales dans les zones arides. *sécheresse*. 2(1), 17-20.
- BENSARI M., CALME S.J., VIALA G. 1990**. Répartition du carbone fixé par photosynthèse entre l'amidon et le saccharose dans la feuille de soja : influence d'un déficit hydrique : *Plant physiol. Bioch.* 28: 113-124.
- BENSARI, M. ; CALMES, J. & VIALA, G., 1990**, (Régulation du carbone fixé par photosynthèse entre l'amidon et le saccharose dans le feuille de soja: Influence d'un déficit hydrique. *Plant. Physiol.. Biochem.*, 28 (1), 113-121.
- BERGARECHE C., LLUSIA J., FEBRERO A., BORT J., ARAUS J.L. 1993**. Effect of water stress on proline and nitrate content of barley relationships with osmotical potential, carbon isotope ratio and grain yield. Colloque Diversité génétique et amélioration variétale. Montpellier (France). *Les colloques.64. INRA*.
- BLUM A. 1988**. Plants breeding for stress environments. Boca Raton, 4, CRC, Press. Floride, USA. 223p.
- BLUM, A. 1996**. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation*, 20, 135-148.
- BLUM, A., SHPILER, L., GOLAN, A. AND MAYER, J. 1989**, *Field Crop Res.*, 22, 289-286.

- BOUFENAR Z., ZAGHOUANE O., ZAGHOUANE F., 2006**, Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie. Ed. ITGC, ICARDA., Alger, 154 p.
- BOULAL H., ZAGHOUANE O., EL MOURID M., ET REZGUI L., 2007**, Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orges) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. TIGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.
- BOUSBA R., YKHLEF N. & DJEKOUN A., 2009**. Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf). *World Journal of Agricultural Sciences* 5, 609 -616 p.
- BOUZERZOUR, H., & MONNEVEUX, P., 1992**, Analyses des facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des hauts plateaux algériens. A l'occasion des colloques n°64 : Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne : Diversité génétique et amélioration des variétés, (Montpellier, France, 15-17 décembre 1992). Eds. Ben Salem M et Monneveux P. Ed. INRA, Paris 1993. pp 205-15.
- BOUZERZOUR, H., 1998**, Sélection pour le rendement, la précocité, la biomasse et l'indice de récolte chez l'orge en zone semi-aride. Thèse de doctorat, ISN, Université. Constantine.
- BOYER J.S. 1982**. Plant productivity and environment. *Sci, New series*. 218, 443 - 448.
- BROUWER R., 1963**, some physiological aspects of the influence of growth factors in the root medium on growth and dry matter production, instituut voor biologisch en scheikundig onderzoek van landbouwgewassen wageningen mededelingen 212-219
- CAMILLE M., 1980** ; céréales ; Ed : parais ; Pp159.
- CAMPALANS A., MESSEGUER R., GODAY A., PAGÈS M., 1999**, Plant responses to drought, from ABA signal transduction events to the action of the induced proteins. *PlantPhysiol. Bioche.* 37. 5: 327-340.
- CARLOS G.M., LORENZO L., 2001**, Nitric Oxide Induces Stomatal Closure and Enhances the Adaptive Plant Responses against Drought Stress, *Plant Physiol*, 126, 1196–1204.
- CECCARELLI S, 1987**, Wide adaptation: How wide? *Euphytic* 40: 197-205.
- CHAHBAR S., 2000**, Contribution à l'étude de certains mécanismes d'adaptation au déficit hydrique à un stade de développement précoce chez le blé dur (*Triticum durum* Desf), Mémoire DES. université Ibn Khaldoun, 24-25.
- CHAIB G., 1998**, Teneur en proline chez les différents organes de blé dur (*Triticum durum* Desf) : Essai d'explication des conditions d'accumulation sous manque d'eau. Thèse de Magister. Univ. Constantine
- CHAIB G., BENLARIBI M., 2015**, ACCUMULATION D'OSMOTICUMS CHEZ LE BLE DUR (*Triticum durum* Desf.) SOUS STRESS HYDRIQUE, *European Scientific Journal*, vol.11, No.24 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
- CHAMOUN N., 1999**, Les effets de l'Irrigation Complémentaire sur la Productivité du Blé Tendre dans la Békaa Nord. INRA France, DEA.
- CHAPMAN H. D., PRATT P. F., 1962**, Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters. *Soil Science*, 93(1), 68-73.
- CHAVES M.M., 1991**, Effects of water deficit on carbon assimilation, *J. Exp. Bot.* 42, 1–16.
- CHEHAT F., 2007**, Analyse macroéconomique des filières, la filière blés en Algérie. Projet PAMLIM « Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation » Alger : 7-9 avril 2007.
- CLARKE J.M., MC CRAIG T.N., 1982**, Evaluation of techniques for screening for drought resistance in wheat. *Crop Sci.*, 22, 503-506.
- CLARKE, J.M., MCLAIG, T.M., 1989**, Excised leaf water Capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes, *Can. J. Plant Sci.*, 62, 578.
- DE PEREIRA-NETTO, A. B., A. C. N.DE MAGANHAES AND H. S. PINTO, 1999**. Effect of soil water depletion on the water relation in tropical Kudzu. *Pesq. Agropec. Bras, Brasila.* 7, 1151-1157.
- DEBAEKE. P., 1996**, Elaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. I. Etude en lysimètres. J. Puech et M.L. Casals, *J. Agronomie*, 16 (1996) 3-23.
- DIXON R., PAIVA N. L., 1995**, Stress - induced phenylpropanoid metabolism. *Plant cell* .7: 1085-1097.
- DJEKOUN A., PLANCHON C., 1992**, Stomatal conductance photosynthesis and acetylene reduction rate in Soybean genotypes. *Can. J. Plant sci.* 72, 383 - 390.
- DJEKOUN A., YEKLEF N., 1996**, Déficit hydrique : effets stomatiques et non stomatiques et activités photosynthétiques de quelques génotypes de blé tétraploïdes : 3ème réunion du réseau Sewana de blé dur – Hassen II - 6.7.
- DUBOIS M., GILLES K.A., HAMILTON P.A., RUBERG A. & SMITH F., 1956**. Colorimetric.
- EARL H., TOLLENAAR M., 1977**, Maize Leaf Absorption of Photosynthetically Active Radiation and its Estimation using Chlorophyll Meter. *Crop Sci.*, 37, 36-440.
- EBERCON A., BLUM A., JORDAN W.R., 1977**, A rapid colorimetric method for epicuticular wax content of sorghum leaves. *Crop Sci* 17, 179–180.

- EL HASSANI T.A., PERSOONS E., 1994**, Agronomie moderne. Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. Ed.. *AUPELF-UREF*. 544 p.
- ELJAAFARI S.R.P., LEPOIVRE P., SEMAL J., LAITAT E., 1993**, Résistance à la sécheresse et réponses à l'acide abscissique. Analyse d'une approche synthétique. *Chiers Agric.* 2, 256-263.
- ERCHIDI A.E., BENBELLA M., TALOUIZTE A., 2000**, Relation entre certains paramètres contrôlant les pertes en eau et le rendement en grain chez neuf variétés de blé dur soumises au stress hydrique. Options méditerranéennes. Série A (Séminaires méditerranéens). 40 : 279 - 82 p.
- ESTRADA-CAMPUZANO, G., MIRALLES D.J., 2008**, Slafer, G.A. Genotypic variability and response to water stress of pre-and post-anthesis phases in triticale. *Eur. J. Agron.*, 28, 171-177.
- FAO, 2007**. Cereal breeding takes a walk on the wild side. *Trends in Genetics* vol. 24, n°1.
- FAOSTAT, 2008**. Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations.
- FAOUZI A, 2007**, Effet Du Stress Hydrique Sur Le Comportement Ecophysiologique Et La Maturité Phenolique De La Vigne *Vitis Vinifera* L.: Etude De Cinq Cepages Autochtones De Midi-Pyrenees. Thèse Doctorat Institut National Polytechnique Toulouse.
- FAROOQ M., WAHID A., KOBAYASHI N., FUJITA D., BASRA S., 2009**, Review article Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.*, 29, 185-212.
- FEBRERO A., VENDRELL P., ALEGRE L., ARAUS J.L., 1991**, Epi-dermal conductance in flag leaves and ears of several durum wheat landraces and varieties: morphological and anatomical characteristics involved. In: Physiology breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments. Montpellier, France, 3-6 July 1989 (E Acevedo, AP Conesa, P Monneveux, J Srivastava, eds) Colloques INRA n°55, 143-157.
- FILALI B.A., 1991**, Irrigation de complément des céréales : une méthode d'analyse. Cas de la région de Meknes, Maroc. *MEDIT* (1991) 24.
- FISCHBECK G., 2002**, Contribution of barley to agriculture: a brief overview. In: Barley Science (Eds., G.A. Slafer, J.L. Molina-Cano, R. Savin, J.L. Araus and I. Romagosa), pp. 1-14. Food Products Press, Binghamton, NY.
- FISCHER R.A., 1980**, In: Adaptation of plants to water and high temperature stress. Eds. Turner N. C., Kramer P. Wiley and Son, New York, pp. 323-340.
- FISHER R.A., 1973**, The effect of water stress at various stages of development in yield processes in wheat. In: Slatyer RO, ed. Plant response to climatic factors. Proc Uppsala Symp. Paris :Unesco,
- GAFT D.F., 1980**, "Photoplastic tolerance of extreme water stress" in "adaptation of plants to water and light temperature stress" (N.C Turner and P.J Kramer) ed. Wiley interscience *New York*, pp.89-103.
- GARCIA DEL MORAL L.F., RAMOS J.M., GARCIA DEL MORAL M.B., JIMENEZ-TEJADA M.P., 1991**, Ontogenetic approach to grain production in spring barley based on path-coefficient analysis. *Crop Sci.* 31, 1179-1185.
- GATE P., BRAIN P., COLNENNE J., BRIFFAUX G., 1990**, pour les cereales à paille à chaque variété son époque de survie - *Perspectives agricoles*, 148, 20-27.
- GATE, P, 1995**, Ecophysiologie du ble de la plante a la culture. Cachan, France, Lavoisier.
- GEIGENBERGER P., REIMHOLZ R., GEIGER M., MERLO L., CANALE V., AND STITT M., 1997**, Resolution of sucrose and starch metabolism in potato tubers in response to short-term water deficit. *Planta*, 201, 502-518.
- GONZALEZ A., MARTIN I., AYERBE L., 1999**, Barely yield in water-stress conditions. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance, *Field Crop Res.* 62, 23-34.
- GONZALEZ A., AYERBE L., 2010**, Effect of terminal water stress on leaf epicuticular wax load, residual transpiration and grain yield in barley, *Euphytica*, 172, 341-349.
- GOODWIN S.M., JENKS M.A., 2005**, Plant Cuticle Function as a Barrier to Water Loss. Plant Abiotic Stress. Blackwell Publishing, Inc., Oxford, U.K, 14-36.
- GRANIER C., INZE D., TARDIEU F., 2000**, Spatial distribution cell division rate can be deduced from that of P34cdc2 kinase activity in maize leaves grown in contrasting conditions of temperature and water status. *Plant Physiol.* 124, 1393-1402.
- GRENNAN A.K., 2006**. High Impact Abiotic Stress in Rice. An "Omic" Approach; *Plant Physiol*, 140, 1139-1141.
- GUETTOUCHE R, 1990**, Contribution à l'identification des caractères morpho physiologiques d'adaptation à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse diplôme d'agronomie approfondie.
- GUPTA N., THIND S.K., BAINS N.S., 2014**, Glycine betaine application modifies biochemical attributes of osmotic adjustment in drought stressed wheat. *Plant Growth Regul* 72(3), 221-228.
- GUTIERREZ, M., REYNOLDS, M.P., RAUN, W.R., STONE, M.L., KLATT, A.R., 2010**. Spectral water indices for assessing yield in elite bread wheat genotypes in well irrigated, water stressed, and high temperature conditions. *Crop Sci.* 50, 197-214.

- HADJICHISTODOULOU A., 1985**, Stability performance of cereals in low rainfall areas as related to adaptative traits. In: *drought tolerance in winter cereals*. Srivastava J.P., Porceddu E., Acevodo E., Varma S. Ed. John Wiley and sons. 191 -200.
- HAFID. R. E., D. H. SMITH, M. KARROU AND K. SAMIR, 1998**, Physical responses of spring durum in a Mediterranean environment. *Ann. Bot.* 81: 363-370.
- HALEY S.D., QUICK J.S., MORGAN J.A., 1993**, Excised-leaf water status evaluation and associations in field-grown winter wheat. *Can J Plant Sci.*, 73, 55–63.
- HASANUZZAMAN, M., NAHAR, K., ALAM, M.M., ROYCHOWDHURY, R., FUJITA, M., 2013**. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *Int. J. Mol. Sci.*, 14, 9643–9684.
- HERBINGER K., TAUSZ M., WONISCH A., SOJA G., SORGER A., GRILL D., 2002**, Complex interactive effects of drought and ozone stress on the antioxidant defence systems of two wheat cultivars, *Plant Physiol. Biochem.*, 40, 691-696.
- HSIAO T. C., 1973**, Plants responses to water stress. *Annals Rev. Plant physiol.* 24, 519-70.
- HURD E.A., 1968**, Growth of roots of seven cultivars of spring wheat at high and low moisture levels. *Agron. J.* 60, 201-205.
- INOUE T., INANAGA S., SUGIMOTO Y., SIDDIG KEL, 2004**, Contribution of pre-anthesis assimilates and current photosynthesis to grain yield, and their relationships to drought resistance in wheat cultivars grown under different soil moisture. *Photosynthetica*, 42(1), 99–104.
- INRA Ed., Parais. pp. 83-100.
- JIN, S.H., HUANG, J.Q., LI, X.Q., ZHENG, B.S., WU, J.S., WANG, Z.J., LIU, G.H., CHEN, M., 2011**, Effects of potassium supply on limitations of photosynthesis by mesophyll diffusion conductance in *Carya cathayensis*. *Tree Physiol.*, 31, 1142–1151.
- JONARD P., KOLLER J., 1950**, Les facteurs de la productivité chez le blé. Résultats obtenus en 1948 et 1949. *J. Ann. Am. Plant*, 2, 256-276.
- KAMELI A., LOSEL D.M., 1995**, Carbohydrates and water status in wheat plants under water stress, *New Phytol.*, 125, 609-614.
- KAMELI A., LOSEL D.M., 1996**, Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. *New Phytol.*, 132, 57-62.
- KARAM F., KABALAN R.R., BREIDI J., ROUPHAEL Y., OWEIS T., 2009**, Yield and water-production functions of two durum wheat cultivars grown under different irrigation and nitrogen regimes. *Agricultural Water Management* 96, 603– 615.
- KATERJI, N., MASTRORILLI, M., 2009**. The effect of soil texture on the water use efficiency of irrigated crops: results of a multi-year experiment carried out in the Mediterranean region. *Eur. J. Agron.* 30, 95e100.
- KERSTIENS, G., 2006**. Water transport in plant cuticles: an update. *J. Exp. Bot.* 57, 2493–2499.
- KHALDOUN A., CHERY J., MONNEVEUX P., 1990**, Etude d'enracinement et leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez l'orge (*Hordeum vulgare L.*). *Agron.* 10, 369-379.
- KHALDOUNE A., 1989** : Etude de comportement de l'orge exploité à double fin. In benchabane K. D et Ould
- KHAN, A.J., F. AZAM A. ALI, TARIQ M., AMIN M., 2005**, Inter-relationship and path co-efficient analysis for biometric traits in drought tolerant wheat (*Triticum aestivum L.*). *Asian Journal of Plant Sciences*, 4(5), 540-543.
- KIM K.S., PARK S.H., JENKS M.A., 2007**, Changes in leaf cuticular waxes of sesame (*Sesamum indicum L.*) plants exposed to water deficit. *J. Plant Physiol*, 164, 1134-1143.
- KIM K.S., PARK S.H., KIM D.K., JENKS M.A., 2007**, Influence of water deficit on leaf cuticular waxes of soybean (*Glycine max L.*). *Int. J. Plant Sci.* 168, 307-316.
- KOBATA T., PALTA J.A., TURNER N.C., 1992**, Rate of development of post-anthesis water deficit and grain filling of spring wheat. *Crop Sci* ; 32, 1238-42.
- KOSMA, D.K., BOURDENX, B., BERNARD, A., PARSONS, E.P., LÜ, S., JOUBES, J., JENKS, M.A., 2009**. The impact of water deficiency on leaf cuticle lipids of *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 151, 1918–1929.
- KRAMER P.J., BOYER J.S., 1995**. Water relations of plants and soils (Book). Academic Press, Inc.
- KRIEDEMANN P.E., BARRS H.D., 1981**, In: Kozlowski, T.T. (Ed.), *Water Deficits and Plant Growth*. Academic Press, *New York*, pp. 325-416.
- KRISHNAMURTHY, L., ZAMAN-ALLAH, M., MARIMUTHU, S., WANI, S.P., KESAVA RAO, A.V.R., 2012**, Root growth in *Jatropha* and its implications for drought adaptation. *Biomass Bioenergy* 39, 247–252.
- LABDELLI A., 2011**, étude des effets des variations morpho-structurales du système racinaire pour la tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum durum Desf.*), thèse de MAGISTER, UNIVERSITE D'ORAN ES-SENIA, pp09.

- LAMA A., BEN SALEM M., ZID D. 2004**, La proline est-elle un osmorégulateur chez le blé dur. Communication aux 15es Journées biologiques. Forum des sciences biologiques. Association tunisienne des sciences biologiques.
- LAMAZE T., TOUSCH D., SARDA X., GRIGNON C., DEPIGNY-THIS D., MONNEVEUX P., BELHASSEN E. 1994**. Résistance de plantes a la sécheresse : mécanismes physiologiques. *Le sélectionneur Français*, 45, 75-85.
- LAROUSSE AGRICOLE, 2002** ; Pp420.
- LARSSON S., SVENNINGSSON M., 1986**, Cuticular transpiration and epicuticular lipids of primary leaves of barley (*Hordeum vulgare*). *Physiol Plant*, 68, 13–19.
- LEONARD W. H., MARTIN J. H., 1963**, Cereal Crops. The MacMillan Company, *New York*. Orge: pp. 478-543; Avoine, pp. 544-603.
- LEVITT J., 1980**, Responses of plants to environmental stresses. I-Chilling, freezing and high temperature. Academic Press., *New York, USA*, 607 pages.
- LIU D.L., LOVETT J.V., 1993**, Biologically active secondary metabolites of barley. II. Phytotoxicity of barley allelochemicals. *Journal of Chemical Ecology* 19, 2231-2244.
- MADRP, 2018**, COPYRIGHTS – MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DU DÉVELOPPEMENT RURAL ET DE LA PÊCHE, 2018 Développé par **iintelifox**
- LIU D.L., LOVETT J.V., 1993**, Biologically active secondary metabolites of barley. II. Phytotoxicity of barley allelochemicals. *Journal of Chemical Ecology* 19, 2231-2244.
- LIU K., LUAN S., 1998**, Voltage-dependent K channels as targets of osmosensing in guard cells. *Plant Cell* 10, 1957–1970.
- MADHAVA R.K.V., RAGHAVENDRA A.S., JANARDHAN R.K., 2006**, Printed in the Netherlands. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. *Springer*: 1-14 p.
- MAHDID M., KAMELI A., 1998**, Etude Comparative de la contribution de l'ajustement osmotique chez l'orge (*Hordeum vulgare*) et la fève (*Vicia faba*) sous les conditions de sécheresse; *Recherche Agronomique*, 2, 76-80.
- MAHPARA S., HUSSAIN S.T., FAROOQ J., 2014**, Drought tolerance studies in wheat (*TRITICUM ESTIVUM L.*) *Cercetări Agronomice în Moldova.*, 4 (160), 133-140.
- MALIK, R.S., DHANKAR, J.S., TURNER, N.C., 1979**. Influence of soil water deficits on roots growth cotton seedlings. *Plant Soil* 53, 109–115.
- MARSCHNER, P., 2012**, Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd ed.; Academic Press: London, UK, pp. 178–189.
- MARTYNIAK, L., 2008**. Response of spring cereals to a deficit of atmospheric precipitation in the particular stages of plant growth and development. *Agric. Water Manage.* 95, 171e178.
- MATOH T., MATSUSHITA N., TAKAHASHI E., 1988**, Salt tolerance of the reed plant *Phragmites communis*. *Physiologia Plantarum* 72: 8–14.
- MAYEUX J.H.S., JORDAN W.R., MEYER R.E., MEOLA S.M., 1981**, Epicuticular wax on golden weed (*Isocomaspp*) leaves: variation with species and season. *Weed Sci* 29, 389-393.
- MCGRANAHAN D.A., POLING B.N., 2018**, Trait-based responses of seven annual crops to elevated CO₂ and water limitation. *Renew Agric Food Syst* 33(3), 259–266.
- MCKAY G.A., 1986**, La sécheresse : une perspective globale. In : La sécheresse : la crise est-elle imminente ? compte rendu du symposium canadien d'hydrologie n0 : 16 p.
- MEFTI M., ABDELGUERFI A. ET CHEBOUTI A., 2000** Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula (L.) Gaertn. Options Mediterraneennes HEAM* , 173-176.
- MEKHLouFI L., 1998**. Evaluation phénologique de quelques variétés d'orge (*hordeum vulgare L.*) et leur sensibilité vis-à-vis de déshydratation graminée a Rab. Mém. Ing Agro.INA.Elharrach.p59.
- MELESE B., MARTIN B., 2006**, Ressource végétale de l'Afrique tropicale 1 Céréales et légumes sec ; Ed :Fondation PROTA /Backhuys Publishers/CTA Wageningen, Pays- Bas Pp :93-94-95-96. method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*.28.3:350-356p.
- MENAD, A., 2009**, Contribution à l'étude de l'interaction Génotype x milieu de l'orge. Mémoire magister, INA El Harrach, 70 p.
- MIRBAHAR A.A., MARKHAND G.S., MAHAR A.R., ABRO S.A., KANHAR N.A., 2009**, *Pak. J. Bot.* 41: 1303-1310.
- MITCHELL JH, FUKAI S, COOPER M., 1996**. Influence of phenology on grain yield variation among barley cultivars grown under terminal drought. *Aust. J. Agric. Res.* 47, 757-774.
- MOAYEDI A.A., BOYCE A.N., BARAKBAH S.S., 2010**, The Performance of Durum and Bread Wheat Genotypes Associated with Yield and Yield Component under Different Water Deficit Conditions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 4(1), 106- 113.
- MOFFATT J., SEARS M. R. G., PAULSEN G. M., 1990**, Wheat High Temperature Tolerance During Reproductive Growth. I.

- MOHAMMAD J., AAZIRI M., NAZIR A., SHAH D., JAMAL, H., 1996.** Wheat Yield Components as Affected by Low Water Stress at Different Growth Stages. *Sarhad J. Agr.*, 12,19- 26.
- MOHSENZADEH S., MALBOOBI M.A., RAZAVI K., FARRAHI-ASCHTIANI S., 2006,** Physiological and molecular responses of *Aeluropus lagopoides* (Poaceae) to water deficit, *Environ. Exp. Bot.* 56, 314–322.
- MOIRA R.S., MILENA E., MANZUR A., VICTORIA A., VITALI A., SANDRA M. B., GABRIELA A., 2016,** Evidence for the involvement of hydraulic root or shoot adjustments as mechanisms underlying water deficit tolerance in two *Sorghum bicolor* genotypes, *Journal of Plant Physiology* 192, 13–20.
- MOLNAR, I., GASPAS L., STEHLI L., DULAI S., SARVARI E., KIRALI I., GALIBA G.,AND MOLNAR-LANG M., 2002,** The effect of drought stress on the photosynthetic processes of wheat and of *Aegilops biuncialis* genotype originating from various habitats. *Acta. Biol. Szeged.* 4, 115-116.
- MONGENSEN V.O., JENSEN H.E., ABDUERAB M.D., 1985,** Grain yield, yield components, drought sensitivity and water use efficiency of spring wheat subjected to water stress at various growth stages. *Irrig Sci*; 6, 131-40.
- MONNEVEUX P., BENSALÉM M., 1993,** Tolérance à la sécheresse des céréales en zones méditerranéenne. Edit. INRA, *Paris*, pp. 139-140.
- MONNEVEUX Ph., 1991,** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. *Paris*, pp. 165-186.
- MONNEVEUX PH., 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.).
- MORGAN J.M., 1984,** Osmorégulation and water stress in higher plants, *plant physiology* 35, 299-319.
- MOUELLEF A., 2010,** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire magister Constantine 118P.
- NACHIT, M.M., KETATA, H. 1986,** Breeding strategy for improving durum wheat in mediterranean rainfed areas. Proceeding of 4 the *International Wheat Conference*, 2 - 9 may, Rabat, Morocco.
- NAUTIYAL P.C., RAIGOPAL K., ZALA P.V., PUJARI D.S., BASU M., DHADHAL B.A., NANDRE B.M., 2008,** Evaluation of wild *Arachis* species for abiotic stress tolerance: I. Thermal stress and leaf water relations. *Euphytica* 159:43–57.
- NESMITH D.S., RITCHIE J.T., 1992,** Effects of soil water-deficits during tassel emergence on development and yield component of maize (*Zea mays*), *Field Crops Research*, 28, 251-256.
- NIZAM UDDIN M., MARSHALL D. R., 1989,** Effects of dwarfing genes on yield and yield components under irrigated and rainfed conditions in wheat (*Triticum aestivum*L.). *Euphytica*, 42, 127-134.
- NOURI L., 2002,** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.), en conditions de déficit hydrique. *Thèse de magister en Biologie Végétale*, pp: 4-16.
- OBER S., SHARP P., 1994,** Polyphasic chlorophyll fluorescence transients in plants and cyanobacteria. *Photosynthesis research*. 29, 147-150.
- OGTR, 2008.** The Biology of *Hordeum vulgare* L. (barley). Office of the Gene Technology Regulator, pp: 1-25.
- OUKARROUM A., 2007,** Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. *Thèse Doctorat à l'université de GENÈVE*, 195p.
- PAJE M.M., LUDLOW M.M., LAWN R.J., 1988,** Variation among soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) accessions in epidermal conductance of leaves. *Aust J Agric Res* 39, 363–373.
- PATAKAS, A., NIKOLAOU, N., ZIOZIOIU, E., RADOGLU, K., NOITSAKIS, B., 2002.** The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought-stressed grapevines. *Plant Sci.* 163, 361–367.
- PERKS M.P., IRVINE J., GRACE J., 2002,** Canopy stomatal conductance and xylem sap abscisic acid (ABA) in mature Scots pine during a gradually imposed drought. *Tree Physiology* 22, 877–883.
- PERVEZ, H., ASHRAF, M., MAKHDUM, M.I., 2004,** Influence of potassium nutrition on gas exchange characteristics and water relations in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Photosynthetica*, 42, 251–255.
- QADIR G., MOHAMMAD S., MUMTAZ A. C., 1999,** Effect of water stress on growth and yield performance of four wheat cultivars. *Pak. J. of Biological Sci.*, 2(1), 236-239.
- QUEBEC AMERIQUE, 1996,** encyclopédie visuel des aliments ;Ed : 329, rue de la commune Ouest, 3^e étage, Montréal, Québec, H2Y 2EA ; Pp :331.
- RAVINDRA V., NAUTIYAL P.C., JOSHI Y.C., 1989,** Physiological analysis of drought resistance and yield in groundnut (*Arachis hypogaea* L.), *Trop. Agric. (Trinidad)*, 64, 290–296.
- REBETZKE, G. J., CONDON, R. A., RICHARDS, R. A., & FARQUHAR, G. D., 2002,** “Selection for reduced carbon isotope discrimination increases aerial biomass and grain yield of rain-fed bread wheat”, *Crop Sci.*, 42, 739 -745.
- RICHARDS R.A., PASSIOURA J.B., 1981,** Seminal root morphology and water use of wheat. II. Genetic variation crop. *Cr.Sci* 21, 253 – 255.

- RICHARDS R.A., REBETZKE G.J., CONDON A.G., AG. HERWAARDEN A.G.V., 2002**, Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci.*, 42, 111-121.
- RICHARDS, R.A., CONDON, A.G., REBETZKE, G.J., 2011**. Traits to Improve Yield in Dry Environments. Eds. CIMMYT, Texcoco, Mexico, pp. 88–100.
- RIEDERER, M., SCHREIBER, L., 2001**. Protecting against water loss: analysis of the barrier properties of plant cuticles. *J. Exp. Bot.* 52, 2023–2032.
- ROBERT J., KREMER, MONCEF BEN-HAMMOUDA1 USDA-ARS, 2009**, Allelopathic Plants. 19. Barley (*Hordeum vulgare* L), Ed: Cropping Systems and Water Quality Research Unit 302 Natural Resources Building, University of Missouri, Columbia,Pp.
- ROBERT J.K.,MONCEF B.H., USDA-ARS, 2009**, Allelopathic Plants. 19. Barley (*Hordeum vulgare* L),2009, Ed: Cropping Systems and Water Quality Research Unit 302 Natural Resources Building, University of Missouri, Columbia,Pp.
- ROBINSON J.C., AND BOWER J.P., 1988**, Transpiration from banana leaves in the subtropics in response to diurnal and seasonal factors and high evaporative demand, *Scientia Horticulturae*, (37), 129-143.
- SAHNOUNE M., 2005**, Etude des paramètres morphophysiologiques de résistance à la sécheresse chez l'orge (*Hordium vulgare* L.), thèse doctorat, Institut national agronomique EL HARRACH-ALGER.
- SAMARAH N.H., 2005**, Effects of drought stress on growth and yield of barley. *Agronomy for sustainable development*, Springer Verlag/ EDP Sciences/INRA 25 (1), 145–149.
- SANCHEZ F.J., ANDRE E.F, TENORIO J.L., AYERBE L., 2004**, Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress, *Field Crops Res.* 86, 81–90
- SANCHEZ F.J., MANZANARES M., ANDRES E.F., TENORIO J.L., AYERBE L., 2001.**, Residual transpiration rate, epicuticular wax load and leaf colour of pea plants in drought conditions. Influence on harvest index and canopy temperature. *Eur J Agron* 15:57–70.
- SARFARAZ K.M., MOHYUDDIN H., 2012**, Khalid Usman Khan, Muhammad Aslam Khan, Muhammad Shoab and Fazal-ur-Rehman, Barley (*Hordeum vulgare* L.) A Prophetic Food Mentioned in Ahadith and its Ethnobotanical Importance, University WENSAM College, Gomal University, 1 Dera Ismail Khan, KPK, Pakistan.
- SARFARAZ K.M., MOHYUDDIN H., KHALID U.K., MUHAMMAD A.K., MUHAMMAD S., FAZAL-UR-REHMAN , 2012**, Barley (*Hordeum vulgare* L.) A Prophetic Food Mentioned in Ahadith and its Ethnobotanical Importance, University WENSAM College, Gomal University, 1 Dera Ismail Khan, KPK, Pakistan.
- SARRAFI A., MENTEWEB A., MONNEVEUX PH., 1993**, Variabilité génétique de la fluorescence chlorophyllienne chez les haploïdes double d'orge et son utilisation dans la sélection pour la résistance au stress hydrique. Les colloques n°64, INRA. France. 397-402.
- SCHIELDS R., BURNETT., 1960.-** Determination of protein-bound carbohydrate in serum by a modified anthrone method. *Anal. Chem.* 32, 885-886.
- SCHULZE E.D., BECK E., MÜLLER-HOHENSTEIN K., 2005**, Plant ecology. Ed. *Springer*. 117-143.
- SCOFIELD T., EVANS J., COOK M.G., WARDLAW I.F., 1988**, Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust.J.Plant physiol.* 4, 785-797.
- SHABALA S.N., LEW R.R., 2002**, Turgor Regulation in Osmotically Stressed Arabidopsis Epidermal Root Cells. Direct Support for the Role of Inorganic Ion Uptake as Revealed by Concurrent Flux and Cell Turgor Measurements., 2002. *Plant Physiol.* Vol 129, pp290-299.
- SHABALA, S., CUIN, T.A., 2007**. Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiol. Plant.* 133, 651–669.
- SHARP RE, DAVIS WJ., 1989**. Regulation of growth and development of plants growing with a restricted supply of water. In: Jones HG, Flowers TJ, Jones MB, editors. *Plant under stress*. Cambridge: Cambridge University Press; p : 71–93.
- SHARP, R.E., DAVIES, W.J., 1979**. Solute regulation and growth by roots and shoots of water-stressed maize plants. *Planta* 147, 43–49.
- SHESHSHAYEE M.S., BINDUMADHAVA H., SHANKAR A.G., PRASAD T.G., UDAYAKUMAR M., 2003**, Breeding strategies to exploit water use efficiency for crop improvement. *J. Plant Biol.* 30, 253-268.
- SIDDIQUE K. H. M., KIRBY E. J. M. ET PERRY M. W. 1989**. Ear stem ratio in old and modern wheat varieties: Relationship with improvement in number of grains per ear and yield. *Field Crops Research.* 21, 59-78.
- SIDDIQUE, R. B., HAMID, A. AND ISLAM, M. S. 2000**. Drought Stress Effects on Water Relations of Wheat. *Bot. Bull. Acad. Sin.*, 41, 35-39.
- SIMON M., 1972**, Identification et classification des variétés d'orge cultivées en France(deuxième édition) ; éditions S.E.I.C.N.R.A.Route de St Cyr-VERSAILLES ; Pp : 7, 13.

- SINCLAIR, T.R., HOLBROOK, N.M., ZWIENIECKI, M.A., 2005.** Daily transpiration rates of woody species on drying soil. *Tree Physiol.* 25, 1469–1472
- SLAMA A., 2002,** Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. *Thèse de doctorat en biologie.* Tunis.
- SLAYTER R., 1974,** The effect of internal water status on plant growth development and yield in: plant responses to climatic factors .Proc.of upsal simpsium, *Unesco.*
- SPOLEN W.G., SHARP R.E., SAAB I.N., WU Y., 1993.** Regulation of cell expansion in roots and shoots at low water potentials. In: Smith JAC, Griffiths H, editors. Water deficits. plant responses from cell to community. Oxford: Bios Scientific Publishers; p. 37–52.
- STOYANOV Z.Z., 2005,** *Journal of Central European Agriculture*, 6 (1) 2005, pp. 5-14.
- STUART C.F., KELLAR A., FRANCISCO P., 1993,** "Evolution of Suites of Traits in Response to Environmental Stress," *The American Naturalist* 142, no. (Jul., 1993): S78-S92.
- SVENNINGSSON M., LILJENBERG C., 1986,** Changes in cuticular transpiration rate and cuticular lipids of oat (*Avena sativa*) seedlings induced by water stress. *Physiol Plant* 66, 9–14.
- TAHAA. R.S. , ALHARBYB. H.F. , BAMAGOOSB. A.A. , MEDANIA. R.A. , RADY. M.M., 2020,** Elevating tolerance of drought stress in *Ocimum basilicum* using pollen grains extract; a natural biostimulant by regulation of plant performance and antioxidant defense system , *South African Journal of Botany* 128, 42-53.
- TAMBUSSI E.A., BARTOLI C.G. , BELTRANO J., GUIMET J.J. , .ARAUS J.L, 2000,** *Physiologia Plant*, 108, 398-404.
- TARDIEU F., 2005,** Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress Tolérance des plantes aux déficits hydriques : limites physiques et possibilités de progrès, 337, Issues 1-2, pages 57-67.
- TOMEMORI, H.; HAMAMURA, K.; TANABE, K., 2002** Interactive effects of sodium and potassium on the growth and photosynthesis of spinach and komatsuna. *Plant Prod. Sci.*, 5, 281–285.
- TOMPKINS, D.K., D.B. FOWLER AND A.T. WRIGHT., 1991,** Water use by no till winter wheat influence of seed rate and row spacing. *Agron. J.*, 766-769.
- TURNER N. C, 1979,** Drought resistance and adaptation to water deficit in crop plants. In stress physiology. *Crop Sci.* 53, 648-654.
- TURNER, N.C., 1979.** Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In : Stress and physiology in crop plants, (H. Mussel. RC Staples, R.C. eds.), Wiley Intersciences, *New York*, 303 – 372pp.
- VAN DER WEELE, C.M., SPOLEN, W.G., SHARP, R.E., BASKIN, T.I., 2000.** Growth of *Arabidopsis thaliana* seedlings under water deficit studied by control of water potential in nutrient-agar media. *J. Exp. Bot.* 51, 1555–1562.
- VARTANIAN N., LEMEE G., 1984,** "La notion d'adaptation à la sécheresse" Lab du phytotron, CNRS, Gf sur Yvelle.
- WANG, M., ZHENG, Q., SHEN, Q., GUO, S., 2013.** The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Science*, 14, 7370–7390.
- WATTS D., EL MOURID M., 1988,** Rainfall patterns and probabilities in the semi-arid cereal production region of Morocco. USAID Project No. 608-0136. Settat : Aridoculture Center INRA.
- Wells S.A., Dubetz S.,** Reaction of barley varieties to soil water stress, *Can. J. Plant Sci.* 46 (1966) 507–512.
- WINTERHALTER, L., MISTELE, B., JAMPATONG, S., SCHMIDHALTER, U., 2011.** High throughput phenotyping of canopy water mass and canopy temperature in well-watered and drought stressed tropical maize hybrids in the vegetative stage. *Eur. J. Agron.* 35, 22–32.
- WITCOMBE J.R., HOLLINGTON PA., HOWARTH CJ., READER S., 2009,** Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 363: 703-716.
- WMO, 1990,** World Meteorological Organization : Glossary of terms used in agrométéorology. Genève :n° 40,WMO/TD n° 391,pp: 223.
- YKHLEF N., 2001,** Photosynthèse, Activité photochimique et tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* ; Desf). *Thèse de doctorat.* Univ. Mentouri .Constantine.
- YOKOTA A., TAKAHARA K., AKASHI K., 2006,** Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Ed. *Springer.* 15–39.
- YU H., ZHANG Y., XIE Y., WANG Y., DUAN., ZHANG M., LI Z., 2017,** Ethephon improved drought tolerance in maize seedlings by modulating cuticular wax biosynthesis and membrane stability, *Journal of Plant Physiology*, 214, 123–133.
- ZERRAD W., HILLALI S., MATAOUI B., EL ANTRI S., HMYENE A.,** Etude comparative des mécanismes biochimiques et moléculaires de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur, *Biochimie, Substances naturelles et environnement Congrès international de biochimie.* Agadir, 09-12 Mai, 2006, 361-376.
- ZHU J.K., 2001,** Plant salt tolerance. *Trends Plant Sci.* 6 (2001) 66.

Tableau 01 :Relation entre la RWC et les paramètres physiologiques, morphologiques et biochimiques (l'essai sous serre 2016)

Variable	génotype	stress	RWC	RWL1	RWL2	cire	RS	LR	NR	MSR	MSA	Sucre	K ⁺	NT	LC	NE/plant	NG/E	PMG
Génotype	1	0,01																
Stress	0,01	1																
RWC	-0,16	-0,59	1															
RWL1	0,2	-0,12	-0,05	1														
RWL2	0,12	-0,27	0,07	0,81	1													
Cire	0,18	-0,26	0,02	0,22	0,18	1												
RS	-0,07	0,52	-0,4	-0,02	-0,08	-0,16	1											
LR	-0,32	0,22	-0,15	-0,08	-0,03	-0,15	0,23	1										
NR	0,42	-0,06	-0,06	-0,04	-0,03	0,14	0,08	-0,02	1									
MSR	0,05	-0,13	-0,08	0,15	0,18	0,11	0,21	0,36	0,25	1								
MSA	-0,04	-0,57	0,25	0,12	0,2	0,11	-0,07	0,17	0,01	0,64	1							
Sucre	-0,04	0,37	-0,2	0,06	-0,03	-0,14	0,33	0,08	0,04	0,14	-0,03	1						
K ⁺	0,23	0,24	-0,06	0,12	0,11	-0,11	0,13	-0,03	0,01	-0,23	-0,19	0,24	1					
NT	-0,09	-0,41	0,23	0,01	0,05	0,24	-0,17	0,13	0,04	0,44	0,68	-0,12	-0,21	1				
LC	-0,28	-0,54	0,4	0,06	0,07	0,13	-0,47	-0,21	-0,09	-0,08	0,1	-0,12	-0,06	0,03	1			
NE/plant	-0,11	-0,57	0,36	0,08	0,17	0,12	-0,38	0,09	0,08	0,37	0,66	-0,04	-0,14	0,78	0,37	1		
NG/E	-0,16	-0,51	0,37	-0,06	0,12	0,08	-0,48	-0,08	-0,12	-0,14	0,14	-0,31	-0,02	0,07	0,48	0,31	1	
PMG	-0,04	0,18	-0,23	0,09	0,18	0,1	0,09	0,11	0,03	0,33	0,08	0,17	-0,07	-0,04	0,06	-0,03	0,02	1

Tableau 02 : Relation entre RWC et les paramètres mesurées (essai sous serre 2017)

Variable	génotype	Stress	RWC	RWL1	RWL2	cire	RS	LR	NR	MSR	MSA	Sucre	Potassium
Génotype	1												
Stress	0	1											
RWC	-0,16	-0,38	1										
RWL1	0,04	0,06	-0,06	1									
RWL2	-0,01	-0,05	0,04	0,15	1								
Cire	-0,28	-0,44	0,27	-0,09	0,21	1							
RS	0,04	0,39	-0,07	-0,13	0,05	-0,14	1						
LR	-0,18	-0,23	0,04	0,13	0	0,23	-0,04	1					
NR	0,04	-0,62	0,23	-0,13	-0,07	0,19	-0,2	0,23	1				
MSR	0,21	-0,53	0,23	-0,07	-0,04	0,01	-0,29	0,18	0,6	1			
MSA	0,27	-0,63	0,17	-0,05	0,05	0,24	-0,13	0,23	0,7	0,49	1		
Sucre	-0,08	0,62	-0,35	0,11	-0,12	-0,29	0,09	-0,05	-0,34	-0,32	-0,38	1	
Potassium	0,12	0,04	0,07	0,16	0,14	0,17	0,14	0,11	-0,06	0,04	0,19	-0,16	1

Tableau 03 : Relation entre le rendement les composants du rendement et tous les paramètres mesurés (essai en plein champs)

Variable	Génotype	Stress	RWC	RWL1	RWL2	Cire	RS	Sucre	K ⁺	LC	NE/m ²	NG/E	PMG	Rendement
génotype	1													
Stress	0	1												
RWC	-0,07	-0,33	1											
RWL1	0,09	-0,13	0,12	1										
RWL2	0,25	-0,02	0,02	0,74	1									
Cire	-0,18	0,15	-0,06	0,13	0,07	1								
RS	-0,28	0,07	0,35	0,28	0,27	0,17	1							
Sucre	-0,35	0,45	0	-0,26	-0,33	0,12	-0,02	1						
K ⁺	0,29	0,68	-0,27	-0,17	-0,02	0,01	0,01	0,16	1					
LC	-0,25	-0,63	0,08	0,16	0,01	0,02	-0,05	-0,29	-0,55	1				
NE/m ²	-0,22	-0,5	0,09	0,05	-0,03	0,12	0,03	-0,16	-0,39	0,43	1			
NG/E	-0,18	-0,17	0,32	0,17	0,11	0,12	0,1	0,21	-0,35	-0,02	0,32	1		
PMG	0,13	-0,39	0,2	0,19	0,05	-0,01	-0,11	-0,3	-0,26	0,65	0,01	-0,2	1	
Rendement	-0,19	-0,59	0,09	0,15	-0,1	0,12	0,04	-0,21	-0,56	0,57	0,8	0,39	0,22	1

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا البحث هو تقييم التباين الوراثي لتحمل الجفاف في ثمانية أنماط وراثية للشعير من أصول مختلفة ؛ ويقدر هذا التباين من دراسة العوامل الفسيولوجية والمورفولوجية والبيوكيميائية. كما أنه ومن حيث الإنتاج الزراعي وفعالية كل من الاستراتيجيات، يتم تقييم الإجهاد المائي والتكيف مع العجز المائي من خلال تأثيره على إنتاجية وإنتاج الجينات من الأنماط الجينية المعنية. المحتوى المائي للأنسجة النباتية هو مؤشر قياسي لتقييم درجة الإجهاد الذي يفرضه نقص المياه والتفاعلات المختلفة المسجلة في الاستراتيجيات المختلفة التي طورها النبات. من أجل دراسة مقارنة بين فعالية تجنب و تحمل الإجهاد المائي في الحفاظ على الحالة المائية للشعير، تم اختبار مستويين من عجز المياه (60% FC, 30% FC) و النتائج التي تم تحقيقها هي وثيقة الصلة للغاية.

الكلمات المفتاحية: الإجهاد المائي، الشعير (*Hordeum vulgare L.*)، تحمل الإجهاد المائي، تجنب الإجهاد المائي ، المحصول، تيارت، الجزائر.

Résumé :

Cette recherche a pour principal objectif une évaluation de la variabilité génotypique de la tolérance à la sécheresse chez huit génotypes d'orge d'origines différentes ;cette variabilité est estimée à partir de l'étude des paramètres physiologiques, morphologiques et biochimiques.

Cependant, en termes de production agricole et de l'efficacité de chacune des stratégies, l'évitement et de la tolérance d'adaptation au déficit hydrique est évaluée par son impact sur la productivité et la production de semences des génotypes concernées. La teneur en eau des tissus végétaux est un indicateur de référence pour évaluer le degré de stress imposé par le déficit hydrique et les différentes réactions enregistrées dans les différentes stratégies développées par la plante.

Pour l'étude comparative entre l'efficacité de l'évitement et la tolérance dans la conservation de l'état de l'eau de l'orge, deux niveaux de déficit hydrique (60% FC, 30% FC) ont été testés et les résultats réalisés sont très pertinents.

Mots clés : stress hydrique, orge (*Hordeum vulgare L.*), tolérance, évitement, rendement, Tيارت, Algérie.

Abstract :

The main objective of this research is to assess the genotypic variability of drought tolerance in eight barley genotypes of different origins; this variability is estimated from the study of physiological, morphological and biochemical parameters.

However, in terms of agricultural production and the effectiveness of each of the strategies, the avoidance and tolerance of adaptation to the water deficit is assessed by its impact on the productivity and seed production of the genotypes concerned. The water content of plant tissues is a benchmark indicator to assess the degree of stress imposed by the water deficit and the different reactions recorded in the different strategies developed by the plant.

For the comparative study between the effectiveness of avoidance and tolerance in the conservation of the water status of barley, two levels of water deficit (60% FC, 30% FC) were tested and the results achieved are very relevant.

Key words: water stress, barley (*Hordeum vulgare L.*), tolerance, avoidance, yield, Tيارت, Algeria.
