

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abdelhamid Ibn Badis -Mostaganem

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN AGRONOMIE

Spécialité : Amélioration Productions végétales

Présenté par:

Dibes Alaa Eddin / Mecelti Mohamed Fouad

**Etude de tolérance au stress hydrique chez
quelque variété de blé dur (*Triticum durum* Dest)**

Soutenue publiquement le *08/10/ 2023*

DEVANT LE JURY

Président	TAHRI	Miloud	M.C.A	U. Mostaganem
Encadreur	MELIANI	Hadj Ahmed	M.A.C.C	U. Mostaganem
Examineur	HAMZA.	Lahouaria	M.A.C.C	U. Mostaganem

Année universitaire 2022/2023

REMERCIEMENTS

L'information et la formation ne sont que directives mais le fruit et l'épanouissement en sont la résultante.

Ce travail a atteint son terme grâce à l'assistance et à la collaboration de nombreuses personnes. Je profite de cette occasion de gratitude et de reconnaissance pour remercier tous ceux qui de loin ou de près ont contribué.

Nous nous adressons l'expression de nos très vives gratitude et respects à notre encadreur, Monsieur **MELIANI Hadj Ahmed** pour son soutien, pour ses conseils utiles et sa gentillesse et pour ses appréciations sur ce travail. La confiance et l'orientation qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'il trouve ici, l'expression de nous profonde reconnaissance, nous immense gratitude et nous grand respect, pour tous ses efforts, son savoir, ses idées, sa grande disponibilité, sa confiance et ses encouragements.

Nous allons remercier les membres du jury, qui ont accepté d'être associés à ce travail, et examiner le fruit de ces mois de recherches ;

Le président : Mr TAHRIMiloud

L'examineur : Mme HAMZALahouaria

Nous remerciant monsieur GUDIDER Houcine Docteur en entomologie et ingénieur de l'institut national de protection des végétaux INPV de Mascara, et membre de l'équipe de suivie de la culture des variétés introduit a Mascara, d'accepter notre invitation pour sa contribution et de partager ces compétences ;

Les responsable de la chambre d'agriculture de Mascara de nous avoir procuré le matériel végétale ;

Le personnel de La ferme expérimental de Mazagan pour l'accueil, pour l'aide à la mise en place de l'expérimentation, pour le matériel et l'équipement utilisé ;

Le personnel du laboratoire du Département d'Agronomie de l'Université AHIB Mostaganem, pour les facilités qu'ils nous ont accordé.

Nos remerciements s'adressent à ceux qui ont participé de près ou de loin à réaliser ce modeste travail.



Dédicaces

الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا ان هدانا الله

« *Quand il Ya la soif d'apprendre tout vient à point à qui sait attendre* »

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me donner.

*Papa « **Omar** », rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.*

*Maman « **Malika** », t'as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leurs études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorde santé, longue vie et bonheur.*

*Ma chère grand-mère « **Genoun Yamna** », qui était l'exemple d'une brave femme*

Ma sœur Asma, Et mon frère Slimane,

Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

*Ma chère grand-mère « **Genoun Yamna** », qui était l'exemple d'une brave femme*

A la famille « Mecelti » et « ferrage ». Ils vont trouver ici l'expression de mes sentiments de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter.

A mes très chers oncles

Merci d'être toujours là pour moi

 **FOUAD**

Dédicaces

*Que ce travail témoigne de mes respects A mes parents,
Papa Mostapha et Mama Siham, Grâce à leurs tendres encouragements et
leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la
Poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect,
ma considération et mes profonds sentiments envers eux. Je prie le bon Dieu
De les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.*

Mes chers frères, sœur

Mes très chers oncles ahmed, ben-azouz, rabeih, djalal, yousef, hamada,

Mes super tentes Aicha et Asma et Mes chères tentes

A tous Mes cousins et Cousines sans exception A la famille Dibes et Feitas.

*Ils vont trouver ici l'expression de mes sentiments de respect et de
reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter.*

A tous mes ami(e)s et mes collègues que j'adore sans exception,

*Enfin, je le dédie à tous ceux que je connais et qui me connaissent de
près ou de loin.*

 Alaa

ملخص

العجز في المياه يمثل أهم التحديات غير الحيوية التي تقل بشكل كبير من إنتاجية القمح الصلب (*Triticum durum Desf*) في الجزائر. تطوير أصناف جديدة من القمح تتكيف مع التغيرات المناخية وخاصة تحمل الإجهاد المائي أصبح مسألة استراتيجية مهمة للإنتاج الزراعي في العقود القادمة. يتضمن العمل الحالي جزئين رئيسيين. أولاً، قمنا بدراسة التباين في استجابة ستة أنماط من القمح الصلب (*Triticum durum Desf.*) تحت ظروف شبيهة مراقبة لثلاث مستويات من الري (100٪، 70٪، و40٪ من القدرة على الاحتفاظ بالمياه). تم استخدام مواد نباتية مستوردة وأجريت التجارب بتصميم عشوائي بمربعات مكررة أربع مرات. تم استخدام السمات المورفولوجية والفيزيولوجية لتقييم تحمل أنماط القمح للإجهاد المائي مثل نسبة الانبات ومعاملات النمو. الجزء الثاني من العمل كان تقييم الأداء الزراعي لأنماط القمح تحت ظروف البيوت الزراعية، باستخدام السمات الظاهرية والزراعية. بالنسبة للدراسة الأولى، أظهرت النتائج أن نسبة الانبات كانت مرتفعة نسبياً وكان لديها تأثير سلبي على نمو النبات، بما في ذلك عدد الجذور والمساحة الورقية وارتفاع النبات، وهذه الظواهر ملاحظة أيضاً في النباتات المتعرضة للإجهاد مقارنة بالنباتات الشاهدة. وتزداد هذه التأثيرات مع زيادة شدة ومدى الإجهاد. بالنسبة للدراسة تحت ظروف البيوت الزراعية، أظهرت النتائج أن العجز في المياه أدى إلى انخفاض ارتفاع الساق وطول ساق السنبله وانخفاض طول العقدة الأخيرة، بالإضافة إلى انخفاض عدد الحبوب في كل سنبله ووزن الألف حبة. أظهرت الدراسة أن جميع الأصناف تستجيب بنفس الطريقة للإجهاد المائي ولكن بدرجات متفاوتة.

Résumé :

Le déficit hydrique constitue le principal stress abiotique limitant considérablement la productivité du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en Algérie. Le développement de nouvelles variétés de blé adaptées au changement climatique notamment tolérantes au stress hydrique est devenu un enjeu stratégique pour la production agricole dans les prochaines décennies. Le présent travail comporte deux grandes parties. En premier lieu, nous avons étudié en conditions semi-contrôlées la variabilité de réponse de six génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) soumis à trois niveaux de régime hydrique (100 %, 70 % et 40 % de la capacité de rétention). Le matériel végétal utilisé est d'origine introduite et conduit en blocs randomisé avec quatre répétitions. Des traits morpho physiologiques ont été utilisés pour évaluer la tolérance des génotypes au stress hydrique tels que : la germination et les paramètres de croissances. La deuxième partie de notre travail consistait à l'évaluation des performances agronomiques de nos génotypes sous serre, en se basant sur les caractères phéno-morphologiques et agronomiques. Pour la première étude, Les résultats obtenus montrent que le taux de germination était relativement élevé, en plus l'effet dépressif sur la croissance de la plante, Notamment ; le nombre de racines, hauteur de la plante, et aussi la biomasse aérienne, qui sont aussi observés chez les plantes stressés par rapport aux témoins. Ces effets sont d'autant plus importants que l'intensité et la durée du stress sont élevées. Pour l'étude sous serre, Les résultats obtenus montrent que le déficit hydrique a causé une chute de la hauteur de la tige, de la longueur du col de l'épi, et aussi une réduction de la longueur du dernier nœud, en plus d'une diminution à la fois du nombre de graine par épi et le poids de milles graines. L'étude a montré que toutes les variétés ont la même réponse au stress hydrique, mais à des degrés divers.

Mots clés : Blé dur (*Triticum durum* Desf.), génotype introduit, déficit hydrique, caractères morphologiques ; physiologique et agronomique.

Abstract

Actually, water deficit constitutes the main abiotic stress considerably limiting the productivity of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in Algeria. The development of new wheat varieties adapted to climate change, particularly tolerant to water stress, has become a strategic issue for agricultural production in the coming decades. This work has two main parts. First, we studied in semi-controlled conditions the response variability of six genotypes of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) subjected to three levels of water regime (100%, 70% and 40% of the retention capacity). The plant material used is originally introduced and conducted in randomized blocks with four repetitions. Morphophysiological traits were used to evaluate the tolerance of genotypes to water stress such as: germination and growth parameters. The second part of our work consisted of evaluating the agronomic performances of our genotypes in greenhouses, based on pheno-morphological and agronomic characters. For the first study, the results obtained show that the germination rate was relatively high, in addition to the depressive effect on the height and growth of the plant, in particular; the number of roots, the leaf area, and also the height of the plant, which are also observed in stressed plants compared to controls. These effects are all the more important as the intensity and duration of stress are high. For the greenhouse study, the results obtained show that the water deficit caused a drop in the height of the stem, the length of the neck of the ear, and also a reduction in the length of the last node, in addition to a decrease in both the number of seeds per ear and the weight of thousand seeds. The study showed that all varieties have the same response to water stress, but to varying degrees.

Key words:

Durum wheat (*Triticum durum* Desf.), introduced genotype, water deficit, traits
morphological; physiological and agronomic.

Liste des figures

Figure n° 01 :Centre d'origine de blé dur

Figure n° 02 :Lieux d'origine et diffusion de *Triticum turgidum* à travers le monde (Bozzini, 1988).

Figure n° 03 :Origines génétiques des différentes espèces de blés (Feldman et Sears, 1981).

Figure n° 04 :Production céréalière, utilisation et stocks (F.A.O, 2022).

Figure n° 05 :Statistique agricole superficies et productions des céréales (M.A.D.R, 2022).

Figure n° 06 :Anatomie du grain de blé (Fredot, 2005)

Figure n° 07 :photo descriptive d'épillet et fleur de blé (Hacini, 2014).

Figure n° 08 :Cycle de développement du blé (Zadoks et al., 1974)

Figure n° 09 :phase germination – levée (BOUZID Assia, 2021)

Figure n° 10 :Culture de céréale au stade de tallage (Boyeldieu ,1999)

Figure n° 11 :Les phases successives d'un stress (Larcher, 1995).

Figure n° 12 : schéma du Protocole expérimentale

Figure n° 13 : sélection des graines saines(Dibes.A , Mecelti.M.F)

Figure n° 14 : test de viabilité des graines de blé (Dibes.A , Mecelti.M.F)

Figure n° 15 : mise en germination des graines de blé dur(Dibes.A , Mecelti.M.F)

Figure n° 16 : sortie de la radicule hors des téguments de la graine(Dibes.A , Mecelti.M.F)

Figure n° 17 :Photo de la serre semi contrôlé (Dibes.A , Mecelti.M.F)

Figure n° 18 : opération de tamisage du sol et terreau(Dibes.A , Mecelti.M.F)

Figure n° 19 : mélange et remplissage des pots (Dibes.A , Mecelti.M.F)

Figure n° 20 : dispositif expérimental

Figure n° 21 : Vue du dispositif on pots et gobelets à l'intérieur de la serre(Dibes.A , Mecelti.M.F)

Figure n° 22 :L'application de stress hydrique en pots et gobelets durant (Dibes.A , Mecelti.M.F)

Figure n° 23 : mesure de capacité de rétention(Dibes.A , Mecelti.M.F)

Figure n° 24 : opération de désherbage(Dibes.A , Mecelti.M.F)

Figure n° 25 : détermination du nombre de racine(Dibes.A , Mecelti.M.F)

Figure n° 26 : mesure de la hauteur de la plante(Dibes.A , Mecelti.M.F)

Figure n° 27 : prise du poids de la matière sèche(Dibes.A , Mecelti.M.F)

Figure n° 28 : mesure de la hauteur de plants(Dibes.A , Mecelti.M.F)

Figure n° 29 : mesure de longueur du col et de l'épi(Dibes.A , Mecelti.M.F)

Figure n° 30 :détermination du nombre de graine par épi(Dibes.A , Mecelti.M.F)

Figure n° 31 :Evolution moyenne du taux de germination en fonction du niveau de régime hydrique appliqué.

Figure n°31 : Variation du taux de germination, des différentes variétés en fonction du temps et niveau de régime hydrique appliqué (T1, T2, T3)

Figure n°32 : Nombre moyen de racines formées par les génotypes en fonction des niveaux de régime hydrique appliqué (T1, T2, T3)

Figure n°33 : Variation de la moyenne de Surface foliaire de l'étendard chez six variétés de blé dur en fonction des niveaux de régime hydrique appliqué (T1, T2, T3)

Figure n°34 :Hauteur moyenne de la plante à maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.

Figure n°35 :Hauteur moyenne de la paille à maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.

Figure n°36 : Longueur moyenne de l'épi à la maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.

Figure n°37 : Longueur moyenne de longueur du col de l'épi à la maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.

Figure n°38 : valeurs moyenne du nombre de graine par épi à la maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.

Liste des tableaux

Tableau n° 01 : description du matériel végétale	31
Tableau n° 02 : caractérisation des Echantillons de blé dur	32
Tableau n° 03 : Variation du taux de germination, des différentes variétés en fonction du temps et niveau de régime hydrique appliqué (T1, T2, T3)	73
Tableau n° 04 : Nombre moyen de racines formées par les génotypes en fonction des niveaux de régime hydrique appliqué (T1, T2, T3)	73
Tableau N° 05 : Variation de la moyenne de la hauteur de la plantule chez cinq variétés de blé dur en fonction des niveaux de régime hydrique appliqué (T1, T2, T3)	74
Tableau N° 06 : Variation de la moyenne de biomasse aérienne chez cinq variétés de blé dur en fonction des niveaux de régime hydrique appliqué (T1, T2, T3)	74
Tableau N° 07 : Longueur moyenne de l'épi à la maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.....	74
Tableau N° 08 : Longueur moyenne de paille à la maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.....	75
Tableau N° 09 : Longueur moyenne de col de l'épi (cm) à la maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.....	75
Tableau N° 10 : Longueur moyenne de hauteur de plante (cm) à la maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.....	75
Tableau n° 11 : Longueur moyenne de col de l'épi (cm) à la maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.....	76
Tableau n° 12 : Valeurs moyenne de longueur (long/cm), largeur(larg/cm) et surface de feuille (Surf/cm ²) à la maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.....	76
Tableau n° 13 : valeurs moyenne du nombre de graine par épi à la maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.....	77

Liste des abréviations

FAO : Food and Agriculture Organisation. (Organisation Mondiale de l'Alimentation et de l'Agriculture).

MO : Matière organique.

USDA : Le Département Américain de l'Agriculture.

CIG : Le Conseil International des Céréales.

M.A.D.R : Ministère de l'agriculture et du développement rural.

Mt : Million de tonne.

Table des matières

REMERCIEMENTS

Dédicace

Dédicace

ملخص

Résumé

Abstract

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Table des Matières

Introduction générale 1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Généralité sur les céréales 3

1.1. les céréales 3

1.2 Généralité sur le blé 3

1.2.1 Le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) 4

1.2.2 Le blé dur (*Triticum durum* Desf) 4

2.1 Origine de blé dur 4

2.2 Origine géographique 5

2.3. Origine génétique 7

3. Importance de la culture du blé 8

3.1 Importance alimentaire 8

3.2. Importance économique 8

3.2.1. Dans le monde 9

3.2.2. En Algérie 11

4. Biologie des plantes de blé dur 12

4.1. Classification botanique 12

4.2. Caractéristiques morphologiques 12

4.2.1. Grain 12

4.2.2. Appareil végétative	13
4.2.3. L'appareil reproducteur	14
4.2.4. Appareil racinaire	15
4.3. Cycle de développement	15
4.3.1. La période végétative	16
4.3.2. La période reproduction.....	18
4.3.3. La période de maturation	18
5. Exigences du blé	19
5.1. Exigences pédoclimatiques	19
5.1.1. Température	19
5.1.2. Eau	19
5.1.3. La lumière	20
5.1.4. Sol	20
6. stress hydrique	21
6.1. Effet du déficit hydrique sur la plante.....	21
6.1.1.Effet du stress hydrique sur la germination.....	21
6.1.2. Effet du stress hydrique sur la croissance végétative et la production	22
6.1.2.1.Effet du déficit sur le développement aérien.....	23
6.1.2.2. Effet du déficit hydrique sur le développement racinaire du blé	23
6.1.3. Effet du déficit hydrique sur les composantes du rendement	24
6.2. Les phases du stress.....	25
6.2.1. Phase d'alarme	25
6.2.2. Phase de résistance	25
6.2.3. Phase d'épuisement	26
6.3. Mécanismes d'adaptation des plantes au stress hydrique	26
6.3.1. Stratégie d'esquive ou d'échappement	26
6.3.2. Stratégie de l'évitement	27
6.3.3. Stratégie Tolérance	27

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. But de travail	29
2. Protocole expérimental	30
3. le matériel végétal	31
3.1. Réception des échantillons	31
3.2. Analyse des échantillons	31
4. Méthodes et paramètres mesurés au laboratoire.....	32
4.1. Condition de mise en germination des graines de blé dur	32
4.1.1. Préparation des graines	32
4.1.2. Test de viabilité des graines	33
4.2. Mise en germination des graines	33
4.3. Détermination des paramètres de germination	34
4.3.1. Taux de germination	34
4.3.2. Cinétique de germination	35
5. Méthodes et paramètres mesurés dans la serre	35
5.2. Préparation du substrat	35
5.3. Remplissage des pots et gobelets	36
5.4. Mise en culture	36
5.5. Dispositif expérimental	37
5.6.L'application du stress hydrique	38
5.7. Détermination de la capacité de rétention (CR).....	38
5.8.Désherbage	39
6. Paramètres étudiées	39
6.1. Paramètre de croissance	39
6.1.1. Nombre de racine	40
6.1.2. La hauteur de la plante	40
6.1.3. Biomasse aérienne	40
6.2. Caractères morphologiques.....	41
6.2.1. Surface de la feuille étendard (SFE)	41
6.2.2. La hauteur de la plante (HP)	41
6.2.3. Hauteur du chaume	42
6.2.4. Longueur du col.....	42
6.2.5. La longueur de l'épi	42
6.2.6. Le nombre de talles herbacées	43
6.2.7. Le nombre de grains par épi	43

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Les paramètres physiques de la germination	44
1.1. Taux de germination	44
1.2. Cinétique de germination	45
2. les caractères de croissances	47
2.1. Nombre de racine.....	47
2.2. Hauteur de plantule	48
2.3. Biomasse aérienne	49
3. les paramètres morphologiques	51
3.1. Variation de la surface de la feuille étendard	51
3.2. Hauteur de la plante a maturité	52
3.3. Hauteur de la paille	53
3.4. Variation de la longueur de l'épi	54
3.5. Variation de la longueur du col de l'épi	55
4. les paramètres agronomiques	55
4.1. Nombre de talle	56
4.2. Nombre de graine par épi	56
5. Discussions.....	57
Conclusion.....	60
Référence.....	62
Annexe.....	73

INTRODUCTION

Introduction :

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) est une culture d'hiver typiquement méditerranéenne, dont la production est utilisée exclusivement pour l'alimentation humaine, sous formes de pâtes alimentaires, couscous, et pain (Bataillon et *al.*, 2006). En Algérie, cette culture est conduite en pluviale. Elle est soumise à la variabilité climatique qui se traduit par des contraintes hydriques et thermiques erratiques, notamment dans l'étage bioclimatique semi-aride (Benchohra et Khelloufi, 2000). Cet étage se caractérise par de larges fluctuations spatio-temporelles des quantités de pluies et des températures. De ce fait, les stress abiotiques sont fréquents, affectent le développement et la production des cultures (Baldy, 1974; Mekhlouf et *al.*, 2006), et plus particulièrement lorsque le cycle de la culture tire à sa fin (Bahlouli et *al.*, 2005).

Dans les milieux arides et semi-arides, les stress abiotiques imposent des limites au développement de la plante. La résistance à ces stress est dépendante du génotype qui développe des mécanismes morphologiques, physiologiques et/ou biochimiques pour échapper (esquiver), éviter ou tolérer la contrainte environnementale (Levitt, 1982 ; Neffar, 2013).

Toute stratégie visant à améliorer les niveaux de production de cette espèce, repose impérativement sur la qualité des solutions à apporter aux problèmes évoqués. La lutte contre les effets de la sécheresse nécessite deux voies. La pratique de l'irrigation d'appoint s'avère une solution difficile à atteindre, du fait de la rareté des ressources hydriques dont dispose la majorité des exploitations agricoles. Le recours à la culture des cultivars tolérants au déficit hydrique se montre comme la solution la plus judicieuse pour l'époque actuelle (Zemour, 2014).

La sélection variétale est pratiquée jusqu'à ces dernières années sur la base des programmes d'amélioration qui nous a permis de sélectionner des milliers de variétés, cette sélection a été faite pour répondre à la grande diversité agro-écologique d'une part et aux besoins spécifiques des agriculteurs d'autre part ; ainsi de mettre à la disposition des agriculteurs des variétés performants et adaptés aux conditions du milieu.

L'utilisation de variétés locales bien adaptées aux conditions les plus difficiles, mais possédant un faible potentiel de rendement reste dominante dans la mesure où l'adoption des nouvelles obtentions reste conditionnée par la stabilité de la production d'une année à l'autre

.Les contraintes abiotiques souvent mises en cause dans notre pays sont la sécheresse, les hautes températures terminales et le gel.

Pour faire face à telles situations, un développement plus intense s'est effectué en matière d'introduction de nouvelles variétés dont l'objectif est de rechercher les mieux adaptés à notre climat, les plus résistantes aux maladies, et avec de bonne qualité technologique, dans le but d'homologuer ces nouvelles variétés. Pour ce faire, il devient plus que nécessaire d'avoir des connaissances plus approfondies du comportement de la plante sous conditions limitantes pour développer de nouvelles variétés capables de résister au manque d'eau associé aux températures basses et élevées et à la salinité (Munns et al., 2012 ; Adjel et al., 2013).

La résistance globale d'une plante au stress hydrique apparaît comme le résultat de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires, qui interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de production (Hsissou, 1994). Actuellement, les programmes d'amélioration du blé s'intéressent de plus à l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique. Cette amélioration exige d'étudier, d'identifier et de vérifier les caractères phénologiques, morpho-physiologiques et biochimiques liés au rendement en condition de stress hydrique (Pfeiffer et al., 2000 ; Mouellef ; 2010).

C'est dans cette approche que s'inscrit notre travail de recherche sur le comportement de certaines variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) , cultivé sous serre en conditions semi-contrôlé.

L'objectif de notre travail est d'évaluer l'effet du stress hydrique sur les caractères morpho-physiologiques et agronomiques de six variétés de blé dur d'obtention nouvelle.

Ce mémoire est structuré en trois grandes parties, qui seront précédés par une introduction est achevée par une conclusion, perspectives, et de liste des références ; à savoir,

- Le Chapitre I, est une synthèse bibliographique sur le blé dur, le stress hydrique et les mécanismes d'adaptation
- Le Chapitre II, est l'ensemble du matériel et des méthodes utilisés pendant notre expérimentation ;
- Le Chapitre III, présente l'ensemble des différents résultats et discussions des paramètres étudiés.

CHAPITRE –I
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Généralités sur les céréales :

Le total de la production nationale des céréales est de 3,5 millions de tonnes et se localise dans les régions de l'est du pays, et cette dernière connaît une réduction en raison du stress hydrique qui s'intensifie à cause des conditions de sécheresse et l'absence quasi-totale des précipitations ces dernières années et à cause du manque de fertilisation qui constitue l'un des facteurs les plus déterminants dans l'amélioration de la production céréalières car le blé dur doit absorber 3,5 unités d'azote, le blé tendre 3 unités et l'orge 2 unités afin de produire 1 quintal de grain et puisque le sol en fournit un peu de fertilisants donc pour remédier à la pauvreté des sols algériens, il est nécessaire d'enrichir les terres en éléments minéraux et organiques par l'utilisation des eaux usées épurées riches en matières organiques (MO) et en substance nutritives pour les sols et les plantes (matières organiques). (Hannachi, 2016)

1.1. Les céréales :

Dans le monde environ 70 % des surfaces ensemencées sont consacrées à la culture de céréales (Boudreau, 1992). En Algérie, leur culture joue un rôle nutritionnel, social et économique (Djermoun, 2009). Car elles constituent l'un des aliments de base de l'humanité depuis des milliers d'années à cause de ses sources protéiques et énergétiques (Rahal-Bouziane, 2015). En effet, la consommation individuelle est évaluée en 2000, à 205 Kg/ an en Tunisie, 219 Kg/ an en Algérie et 240 Kg/ an au Maroc (Boulal, 2007), et ils sont considérés aussi en tant que matière première pour la fabrication des aliments de bétail (Fourar-Belaïfa, 2015).

1.2. Généralité sur le blé

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des Graminées. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscant, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments (Bolot, 2009). Le genre *Triticum* appartient à la tribu des Triticées au sein de la famille des Poacées et plus largement au groupe des angiospermes monocotylédones (Bolot, 2009).

1.2.1. Le blé tendre : (*Triticum aestivum* L.)

Le blé tendre est une espèce hexaploïde : $2n = 42$ (Soltner, 2012), annuelle et monocotylédone, composée d'un appareil végétatif herbacée, qui comporte un système

racinaire fasciculé, une tige cylindrique plus au moins creuse et des feuilles engainantes le grain du blé pèse 35 à 50 mg (Bendarradji , 2013).

1.2.2. Le blé dur : (*Triticum durum* Desf) :

Le blé dur est une espèce tétraploïdie $2n = 28$ (Soltner ,2012)et se caractérise par un épi à rachis solide à glumes carénées, jusqu'à la base à glumelle inférieure terminée par une longue barbe colorée, un grain très gros de (45 à 60mg) de sections sub-triangulaires, possédant un albumen vitreux (Louali ,2016).

2.1 Origine du blé dur :

Depuis la naissance de l'agriculture, le blé est la base de la nourriture de l'homme (Ruel, 2006), c'est une espèce connue depuis la plus haute antiquité, dont il constitue la base alimentaire des populations du globe (Yves et Buyer, 2000).

Pendant plusieurs siècles, il a été vénéré comme un dieu et associé à la pluie, l'agriculture et la fécondité (Ruel, 2006).La découverte du blé remonte à 15000 ans avant Jésus-Christ dans la région du croissant fertile, vaste territoire comprenant, la vallée du Jourdain et des zones adjacentes de Palestine, de la Jordanie, de l'Iraq, et la bordure Ouest de l'Iran (Feldman et Sears, 1981 ; Mouellef, 2010).

C'était à une époque où l'homme pratiquait déjà la cueillette et faisait ses débuts comme agriculteur. Cette période coïncidait avec un épisode climatique sec, aboutissant à l'arrêt du mode de vie de 'chasseur-cueilleur', et engendrant la domestication progressive des plantes, associée à la création des premières communautés villageoises (Wadley et Martin, 1993 in Ouazar, 2012).Le blé est l'une des principales ressources alimentaires de l'humanité.

La saga du blé a compagne celle de l'homme et de l'agriculture, sa culture précède l'histoire et caractérise l'agriculture néolithique, née en Europe il y a 8000 ans. La plus ancienne culture semble être le blé dur dans le croissant fertile de la Mésopotamie (Feillet, 2000). Léon Ducellier (1878-1937) en particulier, parcourant le blé fit au début du siècle le recensement d'une flore mal connue. Il découvrit et analysé les nombreuses variétés, qui peuplaient les champs cultivés, recueillit les échantillons les plus caractérisés, les plus productifs, les plus résistants à la sécheresse ou à quelques maladies. Les blés ont d'abord évolué en dehors de l'intervention humaine, puis sous la pression de sélection qu'ont exercée les premiers agriculteurs (Henry et Buysse, 2001)

2.2. Origine géographique :

Le blé est l'une des premières espèces cultivées par l'homme. Depuis plus de 7 000 à 10 000 ans le blé occupait le croissant fertile, zone couvrant la Palestine, la Syrie, l'Irak et une grande partie de l'Iran (Croston et Williams, 1982). Des vestiges de blés, diploïdes et tétraploïdes, remontant au VII^{ème} millénaire avant J.C ont été découverts sur des sites archéologiques au Proche Orient (Harlan, 1975). Le foyer d'origine et le principal centre de diversification du genre *Triticum* est l'Asie du Sud-ouest, en particulier les zones de chênaies de la partie montagneuse du croissant fertile : de la côte méditerranéenne, à l'ouest, jusqu'à l'est, en passant par le désert de Syrie.

Dans cette région sont concentrées de nombreuses espèces de *Triticum* diploïdes et polyplœïdes qui présentent, chacune, une large gamme de variations morphologiques et écologiques (Feldman et Sears, 1981). Selon Hamed (1979), le centre d'origine du blé est le Tigre et l'Euphrate, puis l'espèce s'est étendue en Egypte, en Chine, en Europe et en Amérique (**Figure 1**). Le blé a été diffusé vers l'Afrique à travers l'Égypte vers – 6 000 avant aujourd'hui. D'autres voies d'introduction furent maritimes : à partir du Sud de la péninsule italienne et de la Sicile, parvinrent aux côtes de la Tunisie, du Maroc et de l'Algérie.

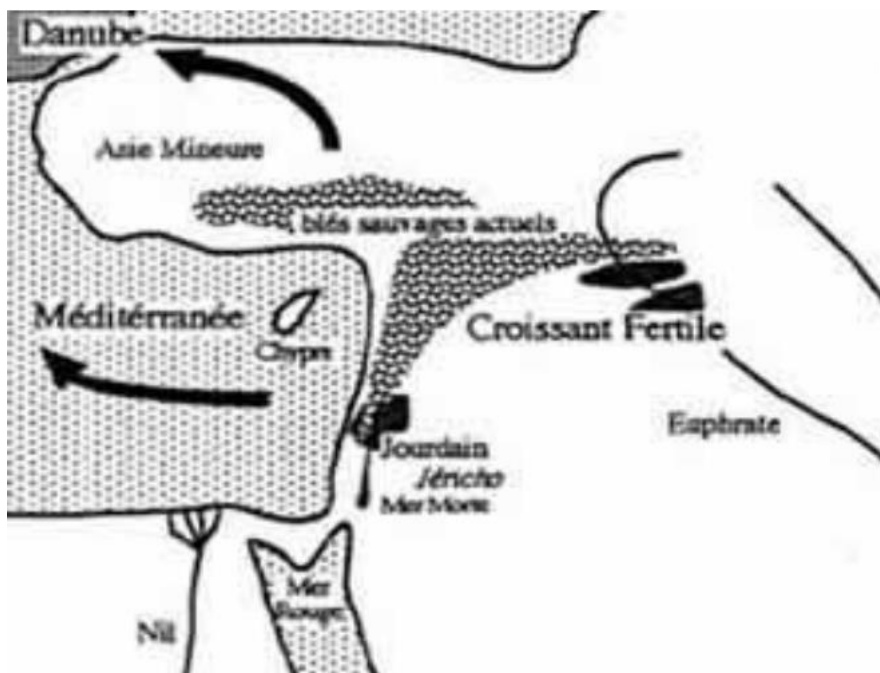


Figure 01 : Centre d'origine de blé dur

Il semble que les courants initiaux concernaient principalement l'amidonnier et de petites quantités de blé nu tétraploïde de la ssp. *Parvicoccum* (Bonjean, 2001). Par ailleurs, Orlov et Vavilov in Gueorguiev et Arifi (1978), considèrent le Maghreb comme origine secondaire du blé. Bonjean et Picard (1990) affirment que le monde Romain a largement contribué à la diffusion des céréales du bassin méditerranéen vers l'Europe centrale et l'Europe de l'Ouest.

L'évolution du blé s'est donc produite dans de nombreux écosystèmes, de manière relativement indépendante jusqu'au XIXe siècle. À ce moment, l'amélioration génétique du blé par choix dans les populations cultivées et par hybridation s'est développée, aboutissant à un brassage important des différentes origines du blé (Doussinault et *al.*, 2001) (figures 1 et 2).

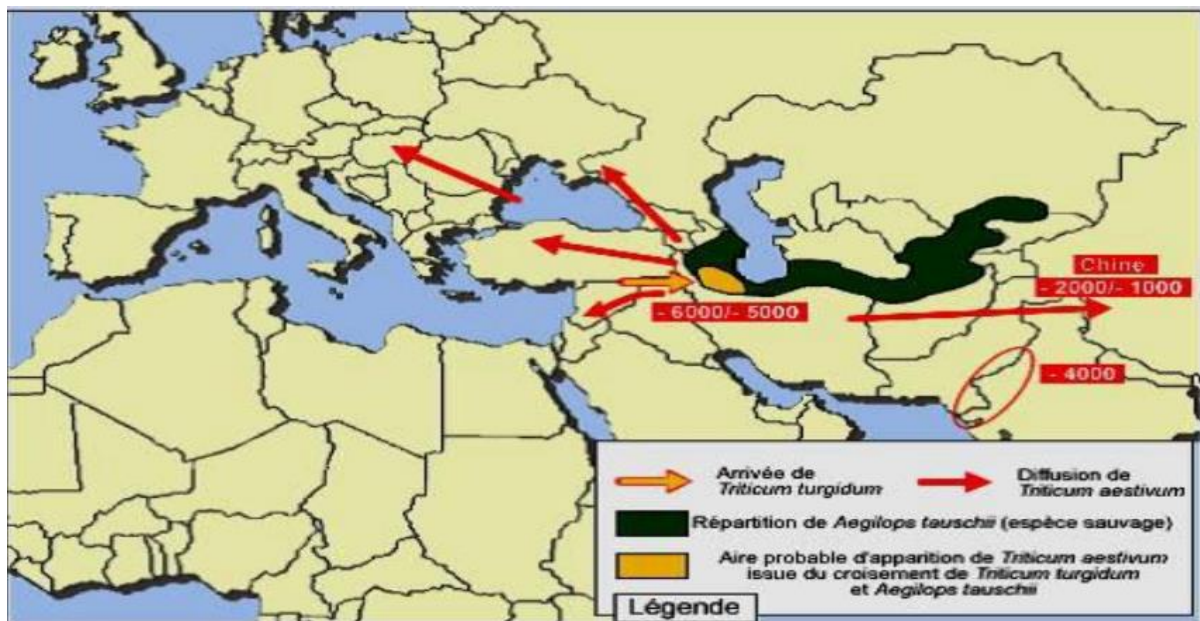


Figure 02 : Lieux d'origine et diffusion de *Triticum turgidum* à travers le monde (Bozzini, 1988).

2.3. Origine génétique :

La domestication et la culture des différentes espèces de blé (*Triticum et Aegilops*) a été un élément fondateur des premières civilisations humaines dans le croissant fertile. Ces différentes espèces de blé ont subi des transformations au fil du temps, les faisant passer de l'état de graminées sauvages à des espèces cultivées. Les différents blés ont été générés par

des événements successifs de polyploïdisation intervenant après des croisements interspécifiques entre des espèces ancestrales diploïdes. Le premier événement, impliquant *Triticum monococcum* et *Aegilops speltoides*, a conduit à l'apparition du blé dur tétraploïde, *Triticum turgidum*.

Le deuxième événement de polyploïdisation a eu lieu entre le blé dur tétraploïde et *Aegilops tauschii*, donnant naissance au blé tendre, *Triticum aestivum*, de structure chromosomique hexaploïde (Chantret et al., 2005). Le génome A provient de *Triticum monococcum*, alors que le donateur du génome B est *Aegilops speltoides* (Dvorak, 1998 ; Gitte et al., 2006). *Triticum durum* a une garniture chromosomique AB (McKey, 1968), c'est une espèce allotétraploïde ($AABB = 2n=4x=28$). Comme telle, chaque paire de chromosomes du génome A a une paire de chromosomes homéologues du B, à laquelle elle est étroitement apparentée (Wall et al., 1971).

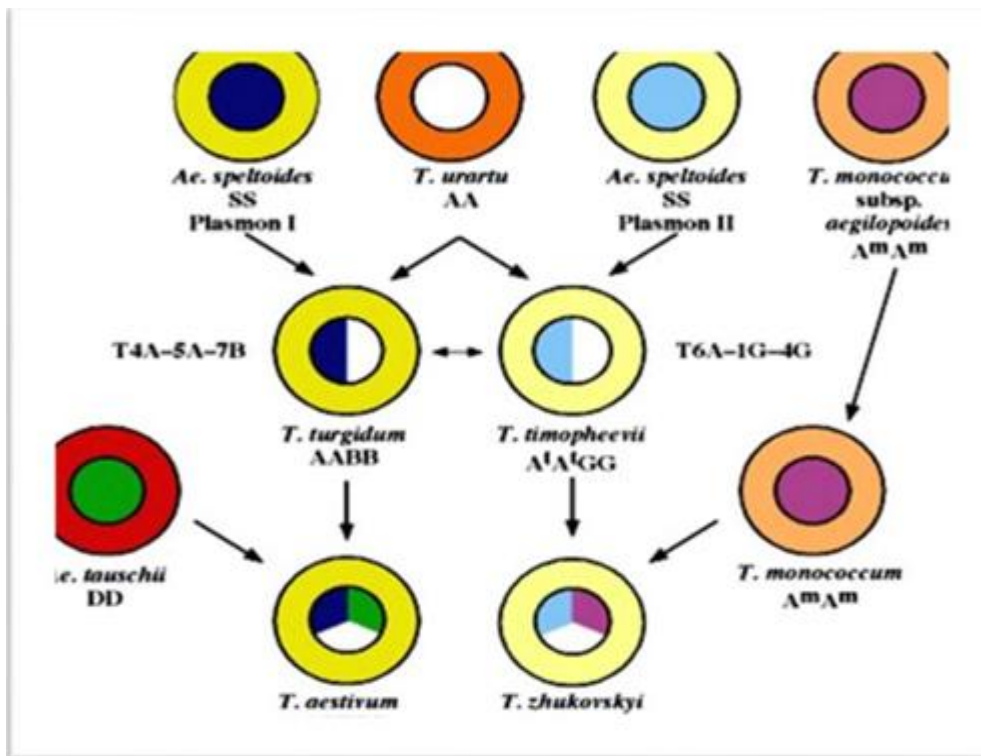


Figure 03 : Origines génétiques des différentes espèces de blés (Feldman et Sears, 1981).

3. Importance de la culture du blé :

3.1. Importance alimentaire :

Le blé est considéré comme la première ressource alimentaire de l'humanité et la principale source de protéines. C'est aussi une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et pour plusieurs applications industrielles. La quasi-totalité de l'alimentation de la population mondiale est assurée par des aliments céréaliers, dont 95 % sont produits par les principales cultures céréalières (Bonjean et Picard, 1991).

3.2. Importance économique

A travers le monde, le blé est cultivé dans de différentes conditions climatiques, des latitudes Nord du Canada et de la Chine aux régions Sud de l'Amérique du Sud et de l'Australie. Le blé est adapté à une large gamme de conditions climatiques et pédologique et il est cultivé principalement en conditions pluviales. Il est surtout adapté aux régions tempérées dont les précipitations se situent entre 250 et 1750 mm (Curtis, 2002).

Le blé est une source alimentaire majeure pour une grande partie de la population mondiale (Curtis, 2002). Les gains de blé contiennent l'essentiel des nutriments ; incluant les carbohydrates (60-80% surtout de l'amidon), les protéines (8-17%) avec une quantité suffisante d'acides aminés essentiels (sauf la lysine, le tryptophane, et la méthionine), les lipides (1,5-2%), les minéraux (1,5-2%), les vitamines et les fibres (Peña, 2002).

Le blé est une céréale aux enjeux économiques très importants. Selon les statistiques de la FAO (2012), pour l'année 2010, le blé est cultivé sur une superficie de 217 million d'hectares et occupe le troisième rang mondial des céréales, en volume récolté, avec 653 millions de tonnes (Mt), derrière le maïs (840 Mt) et le riz (696 Mt). En termes de volume de production, l'Union Européenne (136 Mt) vient en tête de classement, suivie, respectivement, par la Chine (115 Mt), l'Inde (80 Mt) et les Etats Unis d'Amérique (60 Mt).

C'est aussi la céréale la plus importante en Algérie, avec 3,1 Mt récoltées en 2010 pour une surface cultivée de 1,9 M ha soit un rendement de 16,3 qx/ha qui reste faible comparativement à la moyenne mondiale qui est de 30,09 q/ha d'où le recourt de l'Etat Algérien à l'importation massive et la facture ne cesse d'augmenter au fil des ans. A titre indicatif, durant les années 1999/2001, les importations des céréales se chiffrent à 990 millions de dollars. Alors qu'en 2008, elles ont quadruplé, atteignant les 3,62 milliards de dollars. En effet, l'Algérie reste fortement tributaire des achats de blé sur le marché international pour couvrir ses besoins de

consommation. Au cours de la campagne commerciale 2009/10, l'Algérie a importé environ 5,2 millions de tonnes. Elle devance le Maroc et la Tunisie qui ont importé respectivement, 2,3 et 1,4 million de tonnes et vient derrière l'Égypte qui est le plus gros importateur de blé, avec près de 10 millions de tonnes importées (FAO, 2012).

3.2.1. Dans le monde :

Le blé dur représente environ 8 % des surfaces mondiales cultivées en blé, dont 70 % sont situées dans les pays du bassin méditerranéen. La Turquie, la Syrie, la Grèce, l'Italie, l'Espagne et les pays d'Afrique du Nord figurent parmi les principaux producteurs (Monneveux, 2002). L'état de la culture céréalière est lié à l'aménagement des terres, à la production et, par conséquent, aux rendements obtenus. L'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture révisé ses prévisions de production céréalière mondiale pour 2022 à 7922 millions de tonnes, mais reste inférieure de 0,6 % à la production mondiale en 2021 (Figure 04) (F.A.O, 2022).



Figure 04 : Production céréalière, utilisation et stocks (F.A.O, 2022).

Le Conseil International des Céréales (CIG) a réduit de 06 millions de tonnes ses prévisions précédentes concernant la récolte mondiale de céréales pour 2021/2022. La consommation totale de céréales s'élevant désormais à 2295 millions de tonnes. Les stocks mondiaux de céréales étaient estimés à 594 millions de tonnes, soit 03 millions de tonnes de moins que les chiffres communiqués en juin, mais relativement similaires aux niveaux de la campagne

2020/2021. Concernant le blé, la prévision de la production mondiale a été revue à la baisse d'un million de tonnes (Mt), à 788 millions de tonnes, pour la prochaine campagne 2021/2022. En effet, une fois les sécheresses passées, la production américaine ne sera plus que de 47,5 millions de tonnes, alors que la CIG avait précédemment estimé qu'elle atteindrait 51,1 millions de tonnes ; la production canadienne ne sera finalement que de 28,5 millions de tonnes contre 32,3 millions de tonnes attendues, le département américain de l'Agriculture (USDA) ayant abaissé ses prévisions. Pour 2021/2022, la production mondiale de blé a été corrigée de 02 millions de tonnes pour atteindre 792,4 millions de tonnes, dont 47,52 millions de tonnes aux États-Unis (51,66 millions de tonnes en juin), et 28,5 millions de tonnes en Australie (27 millions de tonnes), et 138,2 millions de tonnes dans l'Union européenne (137,5 millions de tonnes), 85 tonnes métriques en Russie (86 millions de tonnes) et 30 millions de tonnes en Ukraine (29,5 millions de tonnes). Une légère baisse des stocks est attendue en fin de campagne 2020/2021 et logiquement basculée vers ceux de 2021/2022, soit 291,7 millions de tonnes (-5,2 millions de tonnes par rapport à juin). Un nombre qui s'est avéré en deçà des attentes des opérateurs (F.A.O, 2022).

2.b. En Algérie :

Les produits céréaliers occupent une place stratégique dans l'alimentation et dans l'économie nationale. Au cours des périodes 2000-2009 et 2010-2017, la superficie des céréales occupait en moyenne annuelle 40% de la surface agricole utile. La superficie ensemencée en céréales au cours de la décennie 2000-2009 est estimée à environ 3200930 hectares dont le blé dur et l'orge occupant la majeure partie de cette superficie, soit environ 74 % de la superficie totale en céréales. Au cours de la période 2010-2017, la moyenne de cette superficie s'est élevée à 3385560 hectares, soit une augmentation de 06 % par rapport à la période précédente (2000-2009). Le taux de production céréalière durant la période 2010-2017 est estimée à 41,2 millions de quintaux, soit une augmentation de 26 % par rapport à la décennie 2000-2009 où le taux de production est estimé à 32,6 millions de quintaux. La production est constituée principalement de blé dur et d'orge, qui représentent respectivement 51 % et 29 % du taux de production céréalier total entre 2010-2017. (M.A.D.R, 2022).

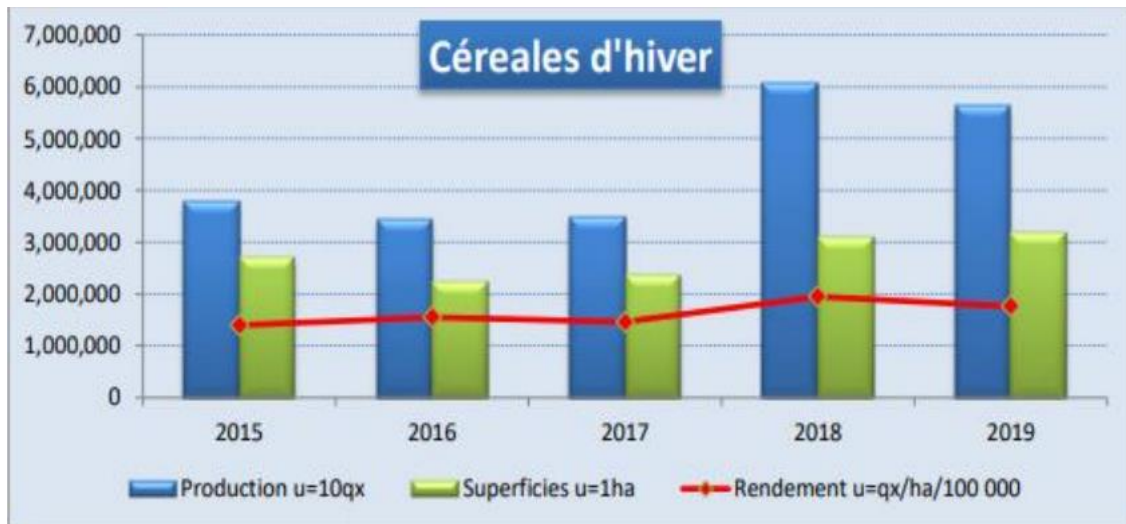


Figure 05 : Statistique agricole superficies et productions des céréales (M.A.D.R, 2022).

4. Biologie des plantes de blé dur :

4.1 Classification (systématique)

Le blé dur est une plante herbacée, appartenant au groupe des céréales à paille. Il est une monocotylédone classée de la manière suivante (Naville, 2005).

Règne	Plantae
Sous-règne	Cormophyte
Embranchement	Spermaphytes
Sous-embranchement	Angiospermes
Super-ordre	Commeliniflorales
Ordre	Poales
Classe	Monocotyledones
Famille	Graminée
Genre	<i>Triticum</i>
Espèces	<i>Triticum durum</i> Desf

4.2. Caractéristiques morphologiques :

4.2.1 Grains :

Sur le plan morphologique, le grain a une forme ovoïde de coloration blanchâtre à brunâtre avec un sillon sur la face ventrale, il est de taille de 6.5 à 8.5mm de long et son diamètre de 3 à 4mm. Histologiquement, le grain de blé dur est formé de trois types de tissus le germe (3% du poids du grain), les enveloppes (17%) et l'albumen (80%) (Fredot, 2005)

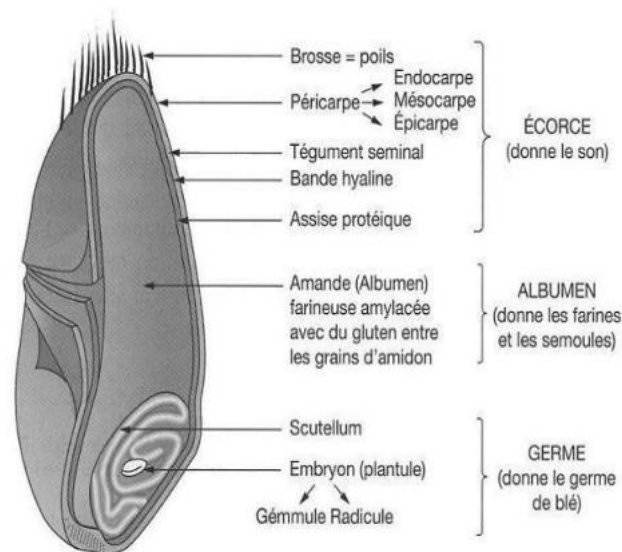


Figure 06 : Anatomie du grain de blé (Fredot, 2005)

4.2.2. Appareil végétatif :

a) La tige :

La tige ne commence vraiment à prendre son caractère de tige qu'au début de la montaison. C'est-à-dire qu'au début de la phase reproductrice (Prats et Clement, 1971). La tige elle-même ou chaume s'allonge considérablement à la montaison, et porte 7 ou 8 feuilles rubanées, engainantes sur toute la longueur d'un entre-nœud, prenant naissance sur le nœud situé en dessous de celui au niveau duquel elles se détachent de la tige (Prats et Clement, 1971)

Sur la partie aérienne, on distingue une tige principale appelée « le maître » brun cylindrique, lisse, plus ou moins creuse, et des tiges secondaires appelées « talles » qui naissent à la base de la plante (Boulal et *al*, 2007).

b) Feuilles

Ont des nervures parallèles et sont terminées en pointe (Prats et Clement, 1971), sont alternes ou distiques (disposées sur deux rangs le long de la tige). Chaque feuille comprend deux parties :

- ❖ une portion inférieure enveloppant l'entre-nœud correspondant, la gaine ; Les gaines attachées au niveau des nœuds sont emboîtées les unes dans les autres pendant leur jeunesse et forment un tube cylindrique entourant la tige qui se déboîte au fur et à mesure de la croissance des entre-nœuds (C moule, 1971).
- ❖ une portion supérieure, le limbe ; Le limbe, à nervures parallèles est nettement plus long que large, ses dimensions variant notablement d'une espèce à l'autre (blé, 15-20 cm X 1,5-2 cm) (Cmoule, 1971).

c) Racines

Le blé dur a deux systèmes racinaires continus. Un système racinaire primaire ou séminal, fonctionnel dès la germination. En général, seules 6 racines fines se forment (Monneveux, 1992), ainsi qu'un système racinaire secondaire groupé ou racine adventive qui émerge lors du tallage, et se substitue progressivement au précédent. Le nombre de racines est d'autant plus important que la période de tallage augmente. Très actives avant la floraison, les racines adventives entrent alors dans un état sénescence (Boulal et *al*, 2007).

4.2.3. Appareil reproducteur :

- **Épi :**

Il est issu du bourgeon terminal du plateau de tallage. Lorsque le développement de la tige est terminé, l'épi apparaît enveloppé dans la dernière feuille, et après quelques jours on peut étudier sa structure en détail. C'est l'épiaison. L'épi comporte une tige pleine ou rachis coudée et étranglée à intervalles réguliers et portant alternativement à droite et à gauche un épillet (Hacini, 2014).

- **Les épillets :**

Ils ne comportent pas de pédoncule il est attaché directement sur le rachis. Les épillets nombreux, jusqu'à vingt-cinq, représentent des petits groupes de fleurs, inséré sur l'axe de

l'épi. Il est protégé à sa base par deux glumes (bractées), les fleurs sont protégées par des glumelles et des glumelles. Après la fécondation, la fleur donne naissance à un fruit unique, le caryopse ou grain, qui comporte un embryon ou germe plaqué sur les réserves (Hacini, 2014).

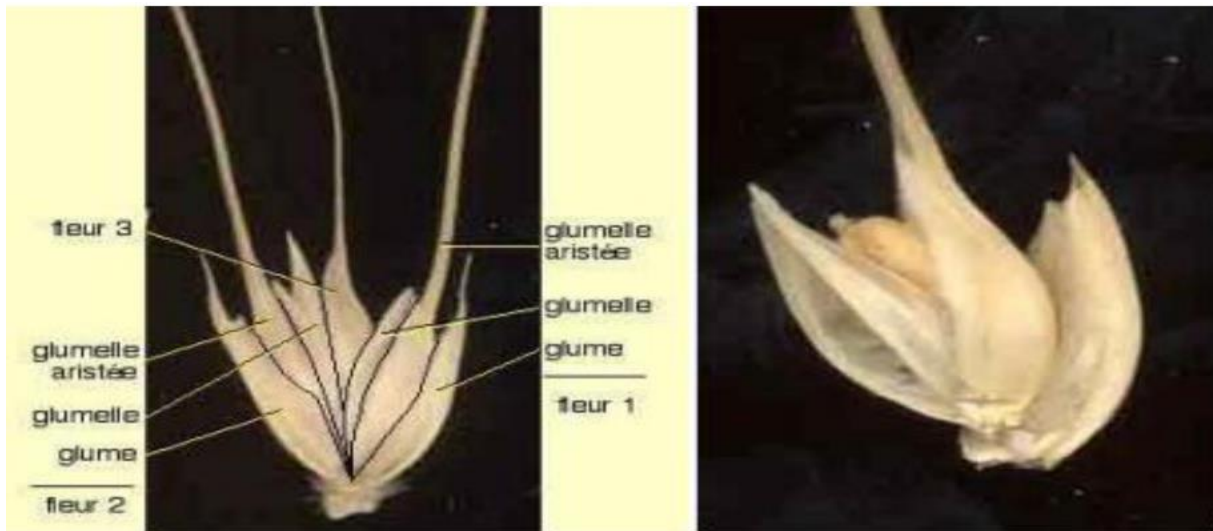


Figure 07 : photo descriptive d'épillet et fleur de blé (Hacini, 2014).

4.2.4 Appareil racinaire :

Le système racinaire est de type fasciculé. En cours de développement. Selon (Belaid, 1996), deux systèmes se forment, à savoir, le système racinaire séminal (primaire) qui fonctionne de la germination au tallage et le système racinaire coronaire (secondaire) qui apparaît au stade tallage.

4.3. Cycle de développement du blé dur

Plusieurs échelles ont été établies pour identifier les stades végétatifs clés du cycle de développement de la culture du blé. Selon Soltner (2016) les échelles de notation les plus utilisées, donc les plus recommandées sont celles de Jonard (1952), Feeks In Large (1954) et de Zadocks (1974) (Figure 8).

Le cycle de développement du blé dur comprend trois grandes périodes. La première période végétative (des feuilles), s'étale de la germination aux premières manifestations de l'allongement de la tige principale. La période reproductrice (des tiges) s'étend du tallage herbacé à la fécondation (Boyeldieu, 1999). Elle apparaît au cours du tallage et regroupe la formation de l'ébauche de l'épi, l'initiation florale (montaison-gonflement) et la méiose-fécondation (Egli, 2017). La troisième période de formation et de maturation des grains est

repérée de la fécondation à la maturation physiologique du grain. A chacune de ces phases concordent des exigences spécifiques de la plante liées aux facteurs et conditions du milieu (Bodson et *al.*, 2019).

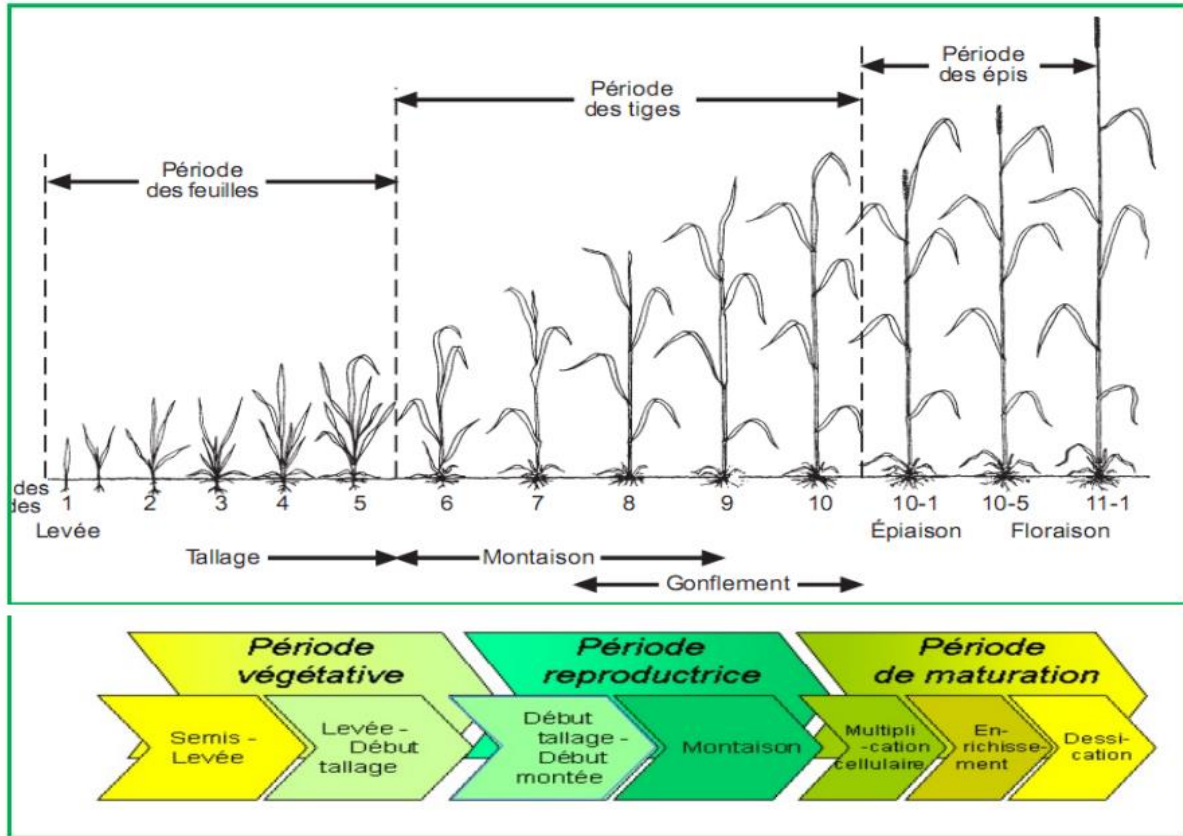


Figure 08 : Cycle de développement du blé (Zadoks et al., 1974)

4.3.1. La période végétative :

3.3.1 Phase germination – levée :

La durée de la levée ou phase semis-levée est le temps qui sépare la date de semis de la date de la levée qui englobe trois étapes successives : la germination qui débute par le passage de la graine de l'état de vie ralentie à l'état de vie active, l'élongation du coléoptile, et enfin l'apparition de la première feuille (Gate, 1995).

Pour passer d'un état de vie lent à un état de vie actif, les grains de blé doivent absorber de l'eau pour dissoudre les éléments métabolisables. Ce dernier peut absorber 40 à 65 % d'eau, mais commence à germer après avoir absorbé 25 % de l'eau (Clément et Prats, 1970). Selon Spilde (1989), la température de germination du blé varie entre 4 et 37°C, mais la température optimale se situe entre 12 et 25°C.

Au cours de la germination la coléorhize s'épaissit en une masse blanche et brise le tégument de la graine au niveau du germe, c'est le début de l'émission des racines primaires, garnis de poils absorbants. En même temps, la coléoptile, gainant la première vraie feuille, s'allonge vers la surface, où il laisse percer la première feuille, c'est la levée (figure 9). La deuxième et la troisième feuille suivent bien après.

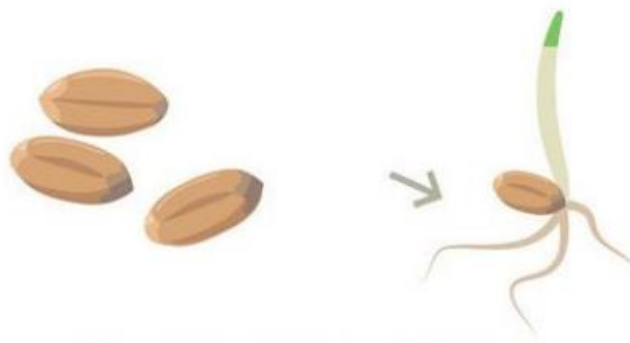


Figure 09 : phase germination – levée (BOUZID Assia,2021)

3.3.2 Stade tallage :

Le tallage commence lorsque la plante à trois à quatre feuilles (figure 10). Le début de ce stade est marqué par l'apparition d'une nouvelle tige sur le maître-brin à l'aisselle de la feuille la plus âgée. D'autres tiges (talles) prennent naissance à partir des bourgeons situés à l'aisselle des feuilles de la tige principale et sont appelées talles primaires, puis d'autres talles apparaissent de la même façon sur les bourgeons des feuilles se trouvant sur les talles primaires et sont appelées talles secondaires, puis des tertiaires peuvent apparaître aussi selon le même processus (Gate, 1995).

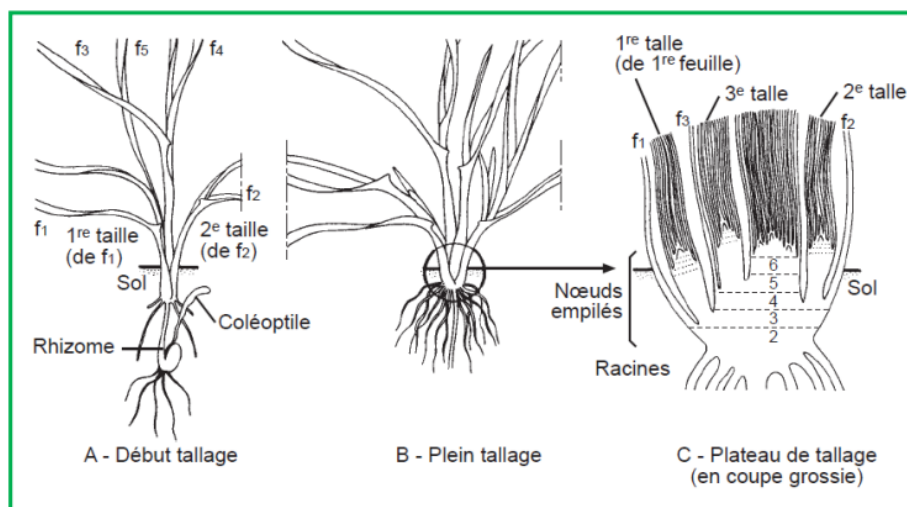


Figure 10 : Culture de céréale au stade de tallage (Boyeldieu ,1999)

Selon Clément-Grandcourt et Prats, (1971) ; Clark et *al.*, (2002), le tallage est un caractère variétal mais il dépend aussi de l'importance de la fumure azotée, de la date de semis, et de la température qui conditionne la période de tallage.

La fin du tallage est celle de la fin de la période végétative. Elle marque le début de la phase reproductrice, conditionnée par la photopériode et la vernalisation, dès l'élongation des entre nœuds (Steinfert et *al.*, 2017).

4.3.2. Période de reproduction :

Cette période se caractérise par la formation et la croissance de l'épi. Elle s'étend du stade épilcm, montaison, au stade de la floraison. La montaison débute à la fin du tallage. Elle se distingue par l'allongement des entre-nœuds et la différenciation des pièces florales (Grandcourt et prats, 1971). L'épiaison débute Une fois l'épi émerge de la gaine de la feuille étendard. Au cours duquel la formation des organes floraux se termine. La floraison débute 4 à 5 jours plus tard et dure de trois à six jours, selon les conditions météorologiques. À ce stade, on parle de gonflement, le nombre total d'épi est défini, de même que le nombre total de fleur par épi (Bebba, 2011).

Une fois fécondée, l'ovaire grossit rapidement. Au bout de deux semaines après la fécondation, l'embryon est physiologiquement fonctionnel et peut produire une nouvelle plantule (Bozzini, 1988).

4.3.3. Période de maturation :

Cette phase marque la modification du fonctionnement de la plante qui sera orientée vers le remplissage des grains à partir de la biomasse produite. On observe alors, une augmentation du volume et du poids des grains.

Cette période est caractérisée par trois stades successifs : le stade grain laiteux où les enveloppes des futurs grains sont formées, puis vient le stade grain pâteux qui correspond au remplissage des cellules par translocation des assimilats provenant de la photosynthèse, et enfin le stade de maturité physiologique ; à ce stade il n'y a plus de migration de la matière sèche vers le grain et le poids sec et définitif du grain est atteint (Gate, 1995).

5. Les Exigences de la culture de blé dur :

Triticum durum Desf. N'a pas les mêmes exigences que le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Il a des besoins élevés en ensoleillement, une faible résistance au froid et à l'humidité. Le blé dur peut être cultivé dans toutes les régions, cependant, de fortes pluies pendant la maturité peuvent affecter la qualité du grain (Bennasseur, 2003). Le blé dur requiert une terre, bien drainant, mais pas trop sujette au stress hydrique surtout pendant la période de l'accumulation des réserves dans le grain (Clément, 1981). Les principaux facteurs limitant la culture et le développement du blé sont la température, la lumière, l'eau et le sol (Soltner, 1988).

5.1. Exigences pédoclimatiques :

5.1.1. Température :

La température idéale pour le développement du blé est de 22 à 25°C (Boukensous, 2014). Les exigences globales en température sont assez importantes et varient entre 1800 et 2400 °C selon les variétés. De même la température agit sur la vitesse de croissance, elle ne modifie pas les potentialités génétiques de croissance ; c'est la somme de température qui agit dans l'expression de ces potentialités. Chaque stade de développement du blé nécessite des températures particulières (Belaid, 1987).

Mekhlouf et *al.*, (2001) situent les exigences en température pour les stades suivants :

- **Stade levée** : La somme des températures = 120 °C.
- **Stade tallage** : La somme des températures = 450 °C.
- **Stade plein tallage** : La somme des températures = 500 °C.
- **Stade épi 1cm** : La somme des températures = 600 °C.

5.1.2. L'eau :

La germination ne se réalise qu'à partir d'un degré d'imbibition d'eau de 30%. En effet, C'est durant la phase épi 1Cm à la floraison que les besoins en eau sont les plus importants. La période critique en eau se situe entre 20 jours avant l'épiaison jusqu'à 30 à 35 jours après la floraison (Loue, 1982).

Les besoins en eau sont estimés à environ 800 mm en zone aride, c'est de la phase épi 01 cm pendant la floraison où les besoins en eau sont les plus grands. La période critique de l'eau est de 20 jours à 35 jours après la floraison (Ondo, 2014).

Selon Bonnefoy et Moynier (2014) ; les besoins en eau de la culture du blé varient comme suit :

- Durant la phase (épis 1 cm – 2 nœuds), d’une durée de 20 à 25 jours, elle est de 60 mm
- Durant la phase (2 nœuds – floraison), d’une durée de 30 à 40 jours, elle est de 160 mm
- Durant la phase (floraison - grain laiteux), d’une durée de 20 à 25 jours, elle est de 140 mm
- Durant la phase (grain laiteux – maturité), d’une durée de 15 à 20 jours, elle est de 90 mm

5.1.3. La lumière :

Le blé est adapté aux jours longs, il faut que la durée d’éclairement soit d’environ 12 heures pour que l’épi commence à monter dans la tige (Simon et al., 1989). L’intensité lumineuse et la ventilation agissent également directement sur l’intensité de la photosynthèse, dont dépendent à la fois la résistance du rendement (Soltner, 2005).

5.1.4. Sol :

Le blé dur apprécie les sols limoneux, argileux calcaires ou les sols argileux siliceux profonds, il a besoin d’un sol sain, se ressuyant bien en hiver et à bon pouvoir absorbant. En terre peu profond, il y a risque de sécheresse en période critique (phase de palier hydrique).

Du point de vu caractéristique chimique, les blés dur sont sensible au à la Salinité ; un pH de 6,5 à 7,5 semble indiqué puisqu’il favorise l’assimilation ce qui entrave la croissance et en particulier celle des racines (Maachi, 2005).

6. Stress hydrique :

Plusieurs auteurs (Monnveux et al. 1986, Zerrard et al., 2008 ; Adda et al., 2013, Arous et *al.*, 2020) ont montré que la sécheresse sous ses différentes formes, constitue l’un des facteurs majeurs limitant la croissance, le développement et la productivité des différentes espèces végétales.

Il se traduit chez les plantes par une série de modifications qui touchent les caractères morphologique, physiologique (Brisson, 2008) et biochimiques à partir du moment où les besoins en eau de la plante son supérieures aux quantités disponibles (Mefti et *al.* , 2001).

le déficit hydrique constitue un important facteur limitant pour la production des cultures céréalière dans les zones arides et semi-arides (El mourid et *al.*, 1996) qui se caractérisent par une forte irrégularité des précipitations (Boutifrass et *al.*, 1994). Le climat méditerranéen est caractérisé par des périodes de sécheresse erratiques imprévisibles, ce qui limite considérablement les productions végétales et celle des céréales en particulier (Adda et *al.*, 2005). Chaque année, les surfaces perdues à cause des stress hydrique et salin varient autour de 20 millions d'ha dans le monde. En Algérie, la rareté et le caractère irrégulier des précipitations (200 à 600 mm/an) peuvent être les facteurs d'une perte partielle ou totale de production, en particulier dans le cas des céréales.

6.1. Effet du déficit hydrique sur la plante :

Les stress abiotiques, notamment le stress hydrique, limitent sérieusement la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale (Wang et *al.*, 2003).

Chez le blé dur, le déficit en eau affect son développement et ralenti son taux de croissance, ceci engendre un faible tallage, une réduction de la surface foliaire (Legg et *al.*, 1979), ceci se traduit par réduction de biomasse finale (Villegas et *al.*, 2001).

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)

6.1.1.Effet du stress hydrique sur la germination :

L'effet du stress hydrique va dépendre de son intensité, de sa durée, du stade de développement de la plante ainsi que du génotype et de son interaction avec l'environnement (Yokota et *al.*,2006). Ce phénomène est l'un des facteurs environnementaux qui affecte le plus la germination des espèces cultivées et réduit leur survie au cours des stades précoces de développement.

En absence d'humidité suffisante, la graine même si elle est correctement placé dans le sol, elle n'évolue pas, retardant ainsi, la levée de la culture, et en cas de persistance de sécheresse, la situation peut se traduit par une absence de levée (Feliachi et *al.*, 2001).

La sécheresse est l'un de principaux facteurs environnementaux qui affecte grandement la germination des espèces cultivées et réduit leur survie au cours des stades précoces de développement. Au cours de cette phase, c'est le métabolisme des carbohydrates qui se trouve fortement affecté (Ingram et *al.*, 1996), à travers la perturbation du fonctionnement

enzymatique impliqué dans ce processus. Il a été démontré que le glycéraldéhyde-3-déshydrogénase cytotogiques est fortement induite par le déficit hydrique ce qui est l'origine d'un changement de l'acuité de la glycolyse (Velasco et *al.*, 1994).

Selon Bray et *al.* (1989), De nombreux gènes contrôlant le métabolisme des sucres simples sont régulés en amont par les variations de l'hydratation cellulaire. Quoique l'hydrolyse de l'amidon et la libération des sucres réducteurs énergétiques constituent une étape incontournable dans le déroulement de la germination, mais indirectement la disponibilité des carbohydrates pendant cette phase assure un rôle de protection contre le déficit hydrique. Ils constituent les principaux osmolytes impliqués dans l'ajustement osmotique, assurent une protection des macromolécules essentiellement membranaires.

6.1.2.Effet du stress hydrique sur la croissance végétative et la production :

Outre son rôle dans la photosynthèse, dans le transport et l'accumulation des éléments nutritifs ainsi que dans la division cellulaire et la régulation thermique, l'eau joue un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes cultivées (Riou, 1993). Ainsi un déficit hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante ou sa production par rapport au potentiel du génotype. Un déficit hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (Debaeke et *al.*1996;Attia, 2007).

Dans les conditions de déficit hydrique, il ya un ralentissement des activités biologiques à plusieurs niveaux : métabolisme, croissance et turgescence. Le stress hydrique fait réduire le nombre de feuilles par plante, la surface foliaire et la longévité des feuilles (Atti, 2002; Shao et *al.*, 2008). Du point de vue agronomique, la réduction du nombre de grains et la réduction du rendement sera toujours observée (Tardieu et *al.*, 2006).

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).

6.1.2.1. Effet du déficit sur le développement aérien :

Le développement végétatif d'une plante cultivée sous conditions hydriques limitantes est fortement perturbé(Chaves et *al.*, 2002 ; Lepon et *al.*,2006), Chez le blé dur, le déficit en eau

affect son développement et ralentit son taux de croissance, ceci engendre un faible tallage, une réduction de la surface foliaire, ceci se traduit par réduction de biomasse finale (Villegaset al., 2001), les plantes soumises à un déficit hydrique voient généralement leur sénescence foliaire s'accélérer ; et une perte trop importante d'eau peut conduire à la mort des cellules, (Kramer et Boyer , 1995 ; Bouchakbe et al., 2006).

Un manque d'eau peut engendrer des pertes de rendement plus ou moins importantes selon sa durée, son intensité et le moment où il apparaît au cours du cycle de la plante ; le nombre de thalle est réduit en cas de déficit hydrique. On note principalement une diminution importante de la taille, de la longueur des entre nœuds, du nombre de feuilles (Gate, 1995 ; Courtoi et al., 2000 in Attia, 2007 ; Inra, 2006 ; Lebon et al, 2006 ; Attia, 2007) .

Garcia del moral et al., (2003) montre que le déficit hydrique peut affecter la durée des stades de croissance, en effet la durée du cycle de semis à l'anthèse se raccourcit au fur et à mesure qu'augmente le déficit hydrique, particulièrement le stade de la floraison qui se manifeste par sa diminution.

6.1.2.2. Effet du déficit hydrique sur le développement racinaire du blé :

Le développement du système racinaire joue un rôle essentiel dans l'alimentation hydrique et minérale de la plante (Benlaribi et al., 1990). Le blé dur met en place un système racinaire très développé dans le cas d'un déficit hydrique, ce qui a une conséquence sur les produits photosynthèse qui seront détournés la production de grains (Baldy, 1973).

Une diminution importante de la longueur et le nombre des racines, cette diminution est due probablement à un arrêt de la division et de l'élongation cellulaire au niveau de la racine (Bendarradji et al., 2016).

Selon Daaloulet al., 2002, démontre qu'en conditions de déficit hydrique, le blé dur intensifie la longueur des racines séminales ainsi que leur ramification dans les couches de sol le plus humides, alors il existe une variation génotypique dans la morphologie des systèmes racinaire de blé face à la sécheresse (EL fakhri et al., 2010).

Les plantes à enracinement superficielle et peu dense souffrent plus du déficit hydrique que ceux à enracinement profond (El hassani et Persoons, 1994).

6.1.3. Effet du déficit hydrique sur les composantes du rendement :

Le nombre d'épi par plant, la fertilité des épis et le poids du grain qui intervient d'une façon prépondérante dans la détermination du rendement final, demeurent les composantes les plus importantes en présence d'un déficit hydrique. L'absence de l'irrigation peut diminuer le rendement de certains génotypes de blé dur de 31 % (Alidib et *al.*, 1992). Le nombre de grain par épi du blé tendre est compris entre 42 et 53 grains, si ce blé est mis en présence d'un déficit hydrique, ce nombre décroît à 36-50. Ait kaki (1993), a trouvé une variation négligeable de 28 à 29 g du poids de 1000 grains entre une culture de blé dur irriguée normalement et une autre soumise à une contrainte hydrique.

La sécheresse réduit la hauteur et le diamètre de la tige, raccourcit les entre nœuds, et diminue la surface foliaire (May et Thrope, 1962 ; in : Zair, 1991).

La section de la tige d'une variété de blé dur "Polinicum" passe de 0.507 cm² pour une plante irriguée à 0.161 cm² pour celle qui est soumise à un stress hydrique (d'après les observations d'Ait Kaki, 1993).

Le rendement en grain chez le blé dépend fortement du nombre de grains par épis, du poids de grain par épi et du nombre d'épi par mètre carré. Le manque d'eau combiné avec des températures élevées, entraîne une diminution du poids de mille grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et a pour conséquence une réduction de la taille des grains (échaudage), réduisant ainsi le rendement (Debaeke et *al.* 1996 ; Slama et *al.* 2005).

6.2. Les phases du stress :

Une plante soumise à un stress passe par plusieurs étapes selon sa réaction en relation avec l'intensification progressive ou la durée du stress (Larcher, 2003).

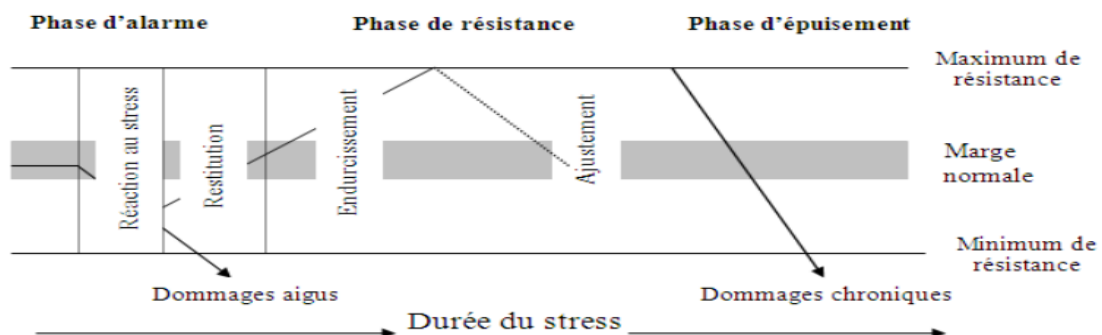


Figure 11 : Les phases successives d'un stress (Larcher, 1995).

6.2.1. Phase d'alarme :

Elle débute par la déstabilisation d'un certain nombre de structures, en particulier, les membranes et d'un certain nombre de fonctions (processus biochimiques et métabolismes énergétiques) indispensables pour la poursuite normale des activités vitales de la plante. Le catabolisme l'emporte sur l'anabolisme, c'est la réaction fondamentale du stress. Puis il y a une apparition rapide des processus de réparation et de restauration de l'état initial par la synthèse de molécules de protection ; c'est la réaction de restitution ou de récupération. Si le facteur de stress disparaît, il y a retour à l'état initial.

6.2.2. Phase de résistance :

Si le facteur de stress continue, ou bien s'intensifie, la plante accentue ses processus de protection avec apparition de certains nouveaux caractères. L'exposition graduelle au stress induit des modifications physiologiques et fait que la plante augmente sa résistance, survit et se reproduit au cours de la période de stress (endurcissement). L'endurcissement est une acclimatation au stress et correspond à une étape de résistance maximale. Si l'intensité du stress reste stable, un haut degré de résistance est développé par la plante, alors s'ensuit un retour à une situation d'activité normale (ajustement), plus ou moins proche de celle de départ.

6.2.3 Phase d'épuisement :

Lorsque l'état du stress dure très longtemps, ou si l'intensité des facteurs du stress augmente, cette phase peut se mettre en place avec apparition de dommages irréversibles dus au facteur lui-même, menant ainsi à l'effondrement des fonctions de la plante. La réponse au stress est donc une interaction entre l'effort de s'adapter et les processus potentiellement létaux dans le protoplasme. La contrainte, l'adaptation et la résistance sont des parties interconnectées de l'événement entier (Larcher, 2003).

6.3. Mécanismes d'adaptation des plantes au stress hydrique :

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 (esquive, évitement et tolérance) (Turner, 1986 a). La résistance d'une plante à une contrainte hydrique 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). La résistance globale d'une plante au stress hydrique apparaît comme le résultat de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de production (Hsissou, 1994).

Les formes d'adaptation aux stress abiotiques définies par Levitt, (1972), les classifient en trois grands types d'adaptation au stress hydriques et qui sont :

6.3.1. Stratégie d'esquive ou d'échappement :

L'esquive consiste en un ensemble d'astuces dont se sert la plante pour conserver le potentiel hydrique de ses tissus à un niveau assez élevé durant les périodes de déficit hydrique afin d'éviter leur déshydratation. Donc sa qui consiste a réalisé le cycle pendant la période favorable en évitant la sécheresse terminale (Gâte, 1995).

Le développement phénologique rapide avec une floraison précoce, permet à la plante d'éviter les périodes sèches (Gate, 1995, Jones, 1992 ; Kiani, 2007).

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). De ce fait le rendement grain est positivement corrélé à la précocité d'épiaison (Mekhlouf, 2006). La précocité de l'épiaison est efficacement utilisée comme critère de sélection pour améliorer les productions des zones sèches (Ali Dib, 1992 ; Ben Salem et *al.*, 1997).

6.3.2. Stratégie de l'évitement :

L'évitement est défini comme la capacité d'une plante à supporter une sécheresse en évitant une déshydratation des tissus. Donc le maintien du potentiel hydrique interne satisfaisant en présence de contrainte hydrique (Levitt, 1985 ; Turner, 1986 ; Clavel et *al.*, 2005). Ce mécanisme se fait selon deux réponses :

-La première réponse est l'aptitude des racines à exploiter les réserves en eau du sol sous stress (Hsiao et Acevedo, 1974 ; Passiourra, 1988 ; Adda et *al.*, 2005). Optimisation de l'absorption d'eau est liée à un ensemble complexe de caractères morphologiques des racines

: masse et volume, ramification, profondeur (Ramanijulu et Bartels ,2002 ; Adda et *al* ,2005 ; Sahnoune, 2005).

Un bon développement de l'axe principal racinaire au blé d'exploiter l'eau des horizons profonds du sol (Hurd,1974 ; Monneveux,1991). Selon Tahri et Shad (1983), le poids des graines et le rendement chez le blé dur en zone semi aride, sont conditionnés par le développement du système racinaire.

-La seconde réponse est constituée par la réduction de surface foliaire, la régulation de l'ouverture et fermeture des stomates (Turner, 1977 ; Ludlow et *al.*,1990) , la présence de cire à la surface des feuilles et l'enroulement foliaire (Clarck,1986).

Elle permet à la plante de traverser des périodes de sécheresse en privilégiant la limitation de la perte en eau, ce qui restreint la chute de potentiel hydrique des tissus. Les pertes d'eau peuvent être minimisées à court terme par le control de la transpiration par la régulation stomatique et, à plus long terme, par la diminution du rayonnement absorbé grâce à l'enroulement des feuilles, au développement d'une couche dense de trichomes ou à la modification de l'angle des feuilles (Larcher, 2000).

6.3.3. Stratégie Tolérance :

La tolérance est la stratégie qui permet à la plante d'assurer ses fonctions métabolique et physiologique malgré une dégradation de son état hydrique (Blum et *al.*, 1981 ; Grieu et *al.*, 2008). Philippe, 2008 la définit comme la capacité d'une plante à limité sa chute de productivité en réponse à une sécheresse ponctuelle.

Il apparaitre comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse. Le maintien de la turgescence lors d'un déficit hydrique confère à la plante une meilleure tolérance au déficit hydrique interne. Les solutés d'osmo-régulation sont généralement des acides organiques, des acides aminés, des sucres et du proline.

Les plantes tolérantes peuvent garder leurs stomates ouverts en maintenant la turgescence par l'ajustement du potentiel osmotique, obtenu par accumulation d'ions minéraux et/ou de composés organiques. L'espèce tolérante dispose de mécanismes de protection ou de réparation de l'intégrité membranaire (Djebbar, 2012).

CHAPITRE -II
MATERIELS ET METHODES

II. Matériel et méthodes :

L'expérimentation a été menée en deux parties; la première partie au laboratoire de biologie végétale, où on a fait l'analyse des échantillons de blé, ainsi que des tests concernant les paramètres de germination et de croissances ; et la deuxième partie au champ où des essais ont été réalisés

1. But de travail :

Notre essai consiste à étudier l'effet du déficit hydrique sur le processus de la germination des graines de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Les effets des variations des potentiels hydriques adoptés dans les différents milieux de germination sur l'évolution d'imbibition des graines et leurs germinations, ont été estimés. Le travail comporte également l'évaluation des effets du stress hydrique sur la croissance végétative chez les jeunes plantules. Les six génotypes utilisés dans la réalisation des différents essais permettent par conséquent d'estimer la variabilité de leur comportement dans des conditions de sécheresse au cours de cette phase de développement, caractérisant cette espèce.

Un essai conduit en serre (semi contrôlé) sous trois niveaux de stress hydriques est réalisé dans le but d'une caractérisation des propriétés agronomique du matériel végétal utilisé.

La présente étude a pour but d'étudier la variabilité de réponse de 6 génotypes de nouvelle Obtention de blé dur (*Triticum durum* Desf.) soumis aux stress hydrique via l'utilisation des paramètres liés à la germination et croissance ainsi que les paramètres morphologique et agronomique.

2. Protocol expérimental :

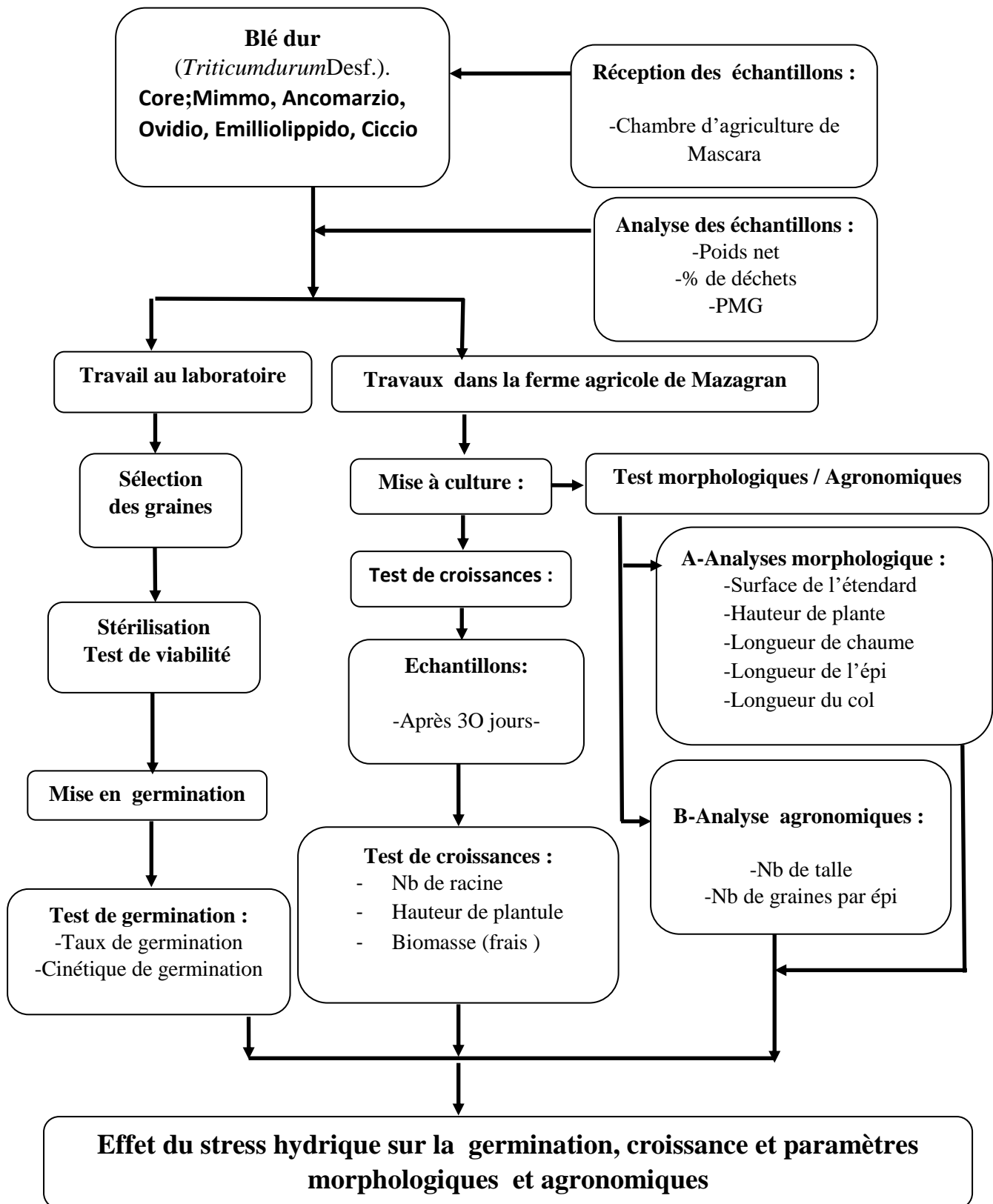


Figure n° 12 : schéma du Protocole expérimentale

3. le matériel végétal :

Les variétés utilisées dans ce travail font l'objet de test de culture dans la wilaya de Mascara. Les échantillons nous été livrer par les responsable de la chambre d'agriculture, un des acteurs mobilisé pour le suivi de la culture, ainsi que d'autres organismes tel que le CNCC, ITGC, OAIC et INPV.

Les échantillons de blé dur sont mis en marché par la société AXIUM de Constantine selon la déclaration d'un membre responsable de suivi dans cette opération.

3.1. Réception des échantillons :

Les six génotypes de blé dur qui ont fait l'objet de ce travail, nous ont été préconisés par la chambre d'agriculture de Mascara, ou les échantillons sont mis dans des sachets en papier, étiquetés en mentionnant le nom de l'espèce. Les graines sont transportées au laboratoire, puis conservées dans les conditions ambiantes, à l'abri de l'humidité, pendant une durée de trois mois en vue d'une post-maturation pour pouvoir entamer nos essais de germination.

Le travail est réalisé sur six génotypes de blé dur (*T durum* L.)

Tableau N ° 01 : description du matériel végétale

Génotypes	Nom et pédigré	origine
V1	Core	Italie
V2	Mimmo	
V3	Ciccio	
V4	Ancomarzio	
V5	Ovidio	
V6	Emillio lippido	

3.2. Analyse des échantillons :

Avant de commencer le Protocole expérimental, nos échantillons font l'objet de certain nombre de test d'analyse, afin de d'assimilé la qualité de ces dernier.

La description de chaque variété a été effectuée sur un tableau récapitulant les caractéristiques, Voir le poids de chaque l'échantillon, la pureté spécifique (pourcentage des impuretés, des graine cassé, male formé, échaudé). Sur le tableau sus-indiqué est noté également le poids de 1000 graines en utilisant une balance électronique de précision.

Tableau N° 02 : caractérisation des Echantillons de blé dur

variétés	poids(g)	déchets		PMG (g)
		(g)	%	
core	88,52	4,76	5,38	51,61
mimmo	70,38	18,66	26,51	40,46
ciccio	89,02	9,15	10,28	39,94
ancomarzio	115,06	2,39	2,08	49,57
ovidio	83,15	17,8	21,41	38,52
emillio lippido	109,58	18,4	16,79	44,84

4. Méthodes et paramètres mesurés au laboratoire:

4.1. Condition de mise en germination des graines de blé dur :

Dans le but de déterminer les effets du stress hydrique sur la germination des graines de blé dur *Triticum durum* Desf, un essai de germination a été effectué sous les différents niveaux de stress voir 100%, 70% et 40% de la quantité d'eau usuellement utilisé pour l'imbibition, et selon la littérature elle est fixé par 5 Ml pour une boîte pétri de 10 cm.

4.1.1. Préparation des graines :

Les graines choisies doivent être saines, elles ont été sélectionnées selon leur taille et leur forme, Pour tous les traitements (fig.n° 13).

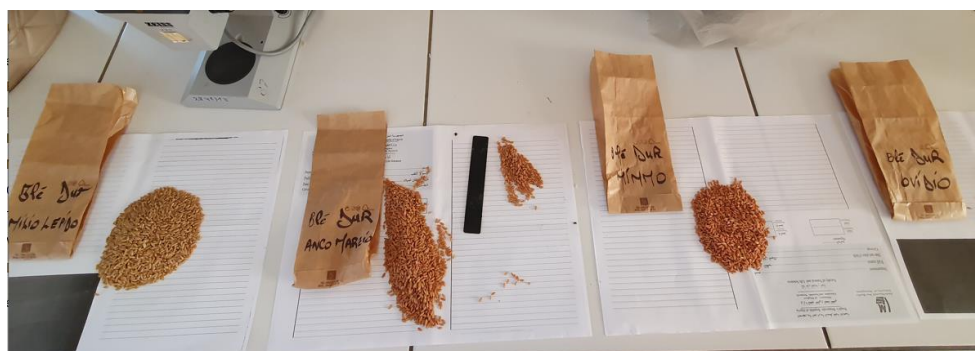


Figure n° 13 : sélection des graines saines (Dibes.A et Mecelti.M.F ; 2023)

Pour chaque espèce (traité et non traité) 300 graines saines sont choisies et trempées dans la solution de l'eau de javel dilué, suivies de 4 lavages à l'eau distillée courante pour éliminer les résidus de javel.

4.1.2. Test de viabilité des graines :

Nous avons utilisé le test densimétrique afin de tester la viabilité de chaque graine. Ce dernier consiste à mettre chaque lot de graines dans un récipient d'eau distillée, les graines qui tombent au fond sont considérées comme mures, celles qui remontent en surface sont soit immatures ou bien mortes et sont ainsi enlevées du lot (Côme, 1970).

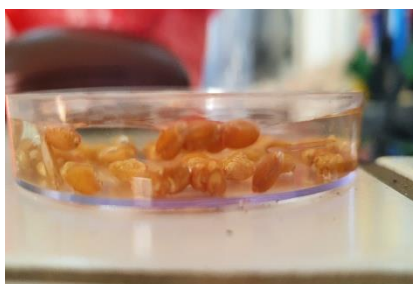


Figure n° 14 : test de viabilité des graines de blé (Dibes.A et Mecelti.M.F ; 2023)

4.2. Mise en germination des graines :

Les graines ont subi les différentes étapes énumérées précédemment. Nous avons utilisé pour chaque niveau de stress hydrique, 100 graines de chaque génotype réparties dans une boîte de Pétri en verre de 20 Cm de diamètre et 2,5 de profondeur tapissées de 2 couches de papier filtre.

Les boîtes de semis contenant les génotypes sont imbibés avec de l'eau distillée à raison de 20 ml, 14 ml et 8 ml respectivement pour chaque niveau de stress hydrique de T1 (100%), T2 (70%) et T3 (40%). Les boîtes sont mises à l'obscurité dans un incubateur réglé à une température de 22°C (fig n° 15).

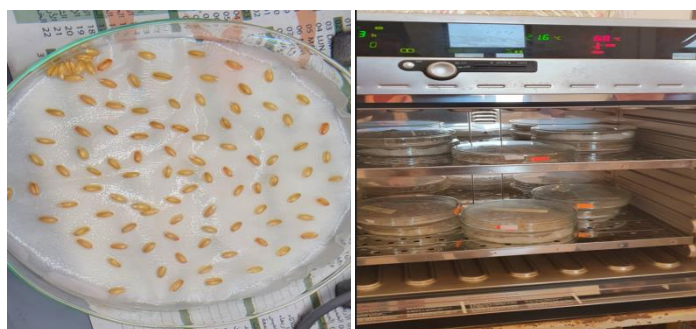


Figure n° 15 : mise en germination des graines de blé dur (Dibes.A et Mecelti.M.F ; 2023)

La germination est repérée par la sortie de la radicule hors des téguments de la graine dont la longueur est d'au moins de 2 mm (Sayar et *al.* 2010, Daur I. 2018).



Figure n° 16 : sortie de la radicule hors des téguments de la graine (Dibes.A et Mecelti.M.F ; 2023)

Le suivi de la germination a été réalisé sur une période de 10 jours, le comptage des graines germées a été effectué quotidiennement. A la fin de cette expérience, nous avons déterminé, le taux de germination (TG), le temps moyen de germination (TMG), les longueurs de la tige et de la racine ainsi que la biomasse fraîche des plantules.

4.3. Détermination des paramètres de germination :

4.3.1. Taux de germination : Il s'exprime sous la forme d'un rapport de graines germées sur nombre total de graines ((Côme 1970, Mazliak, 1982).

$$G = (g / Ng) \times 100$$

G : Taux de germination (%)

g : Nombre de graines germées

Ng : Nombre de graines mises à germer

4.3.2. Cinétique de germination :

La cinétique de germination est une courbe de germination qui décrit le déroulement de la germination du lot de semences considéré placé dans des conditions bien précises. Elle représente le plus souvent l'évolution des pourcentages de germination cumulés en fonction du temps.

C'est un paramètre qui permet de mieux appréhender la signification écologique du comportement germinatif des variétés étudiées ainsi que l'ensemble des événements qui commencent par l'étape d'absorption de l'eau par la graine et se terminent par l'élongation de l'axe embryonnaire et l'émergence de la radicule (Côme, 1970 ; Hajlaoui et *al.*, 2007).

5. Méthodes et paramètres mesurés dans la serre :

L'étude a été conduite dans une serre (fig.n° 17) à la ferme agricole expérimentale du département d'agronomie de la faculté des sciences de la nature et de la vie, l'université de Mostaganem , se situe à cheval de la commune de Mazagran et de Hassi Mameche. Elle est distante de 5,8 km du chef-lieu de Mostaganem, et S'étend sur une surface de 62,74 ha.



Figure n° 17 : Photo de la serre semi contrôlé (Dibes.A et Mecelti.M.F ; 2023)

5.2. Préparation du substrat :

Le 29/01/2023 on a prélevé un échantillon de sol dans une zone arable, et éliminer les éléments grossiers avec un tamis pour faire un mélange de sol prélevé et du terreau (fig. n° 18).



Figure n° 18 : opération de tamisage du sol et terreau (Dibes.A et Mecelti.M.F ; 2023)

5.3. Remplissage des pots et gobelets :

Chaque récipient gobelets (10 cm de hauteur et 07 Cm de longueur) et pots ((25 cm de hauteur et 15 Cm de longueur) a été perforé à la base et remplis par du substrat à savoir, 80 g de terreaux pour les gobelets, et 3 KG de substrat (2/3 sol agricole de la ferme expérimental et 1/3 de terreau) (Fig n° 19).



Figure n° 19 : mélange et remplissage des pots (Dibes.A et Mecelti.M.F ; 2023)

5.4. Mise en culture :

Deux type de mise en culture sont adopter, une pour les testes de croissances(en gobelet), le deuxièmes pour les testes morphologique et agronomiques(en pots).

Nous avons semis 04 et 08 graines respectivement par génotype dans des gobelets et pots (pour calculer la moyenne de chaque paramètre), ils sont irrigués régulièrement 2 fois par semaine.

Ils sont placé dans une serre au niveau de la ferme expérimental de mazagran a une température en moyenne 25°C / 05°C (jour/ nuit): et d'humidité relative 60-80 % et luminosité naturel.

5.5. Dispositif expérimental :

Les génotypes sont semés dans un dispositif expérimental randomisé en blocs avec (fig 20), deux facteurs (traitement hydrique et génotype) ; le traitement hydrique avec trois niveau

d'irrigation ; témoin T1 (100 % CR), stress modéré T2 (70% CR), et stress sévère T3 (40 % CR) et les six génotypes. Avec quatre répétitions de chaque combinaison factorielle. Ces blocs sont classés comme suit:

- Un bloc 01 irrigué a 100% de la capacité au champ.
- Un bloc 02 irrigué a 70% de la capacité au champ.
- Un bloc 03 irrigué a 40% de la capacité au champ.

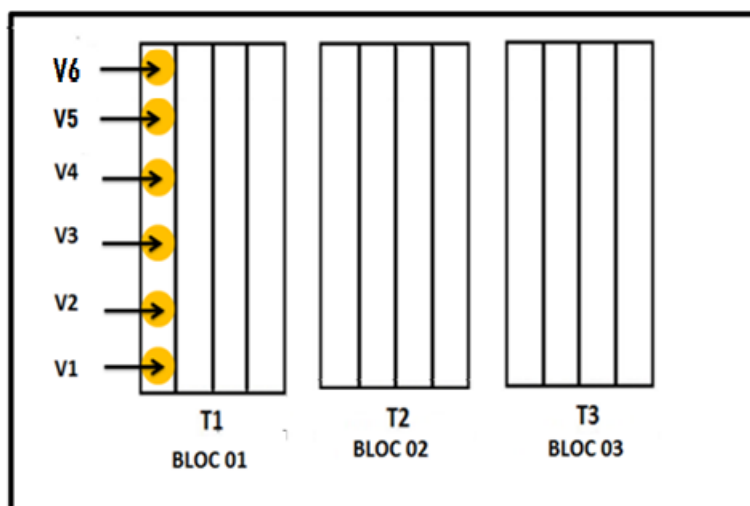


Figure n° 20 : dispositif expérimental



Figure n° 21 : Vue du dispositif on pots et gobelets à l'intérieur de la serre (Dibes.A et Mecelti.M.F ; 2023)

5.6.L'application du stress hydrique :

Le semis a été réalisé le /02/2023, et nous avons appliqué le stress hydrique aux plantes par deux niveau de stress hydrique T2 (70%) ,T3 (40%) et T1 (100%)est considéré comme un témoin (Fig.n° 22).



Figure n° 22 :L'application de stress hydrique en pots et gobelets durant (Dibes.A et Mecelti.M.F ; 2023)

5.7. Détermination de la capacité de rétention (CR)

L'arrosage des plantes est réalisé en tenant compte de la capacité de rétention (CR) calculé de la manière suivante (le protocole pratiqué par INRAA) :

Nous avons déposé 1.8 KG(P1) de sol dans un pot en plastique perforé à la base, ensuite l'eau est versé dans le pot jusqu'à saturation, tout en couvrant le pot à l'aide d'un papier aluminium pour éviter l'évaporation de l'eau.

Après 24h (le temps indispensable à l'élimination de l'eau de gravitation) le pot est pesé de nouveau (P2= 2.3 kg) (Fig.n° 23).



Figure n° 23 : mesure de capacité de rétention (Dibes.A et Mecelti.M.F ; 2023)

La différence entre P1 et P2 est la quantité d'eau retenue par le sol et déterminé par l'équation suivante :

$$CR= P2- P1$$

T1 : plante témoin resevant 100% de CR (500 ml).

T2 plante sous stress modéré de 70 % CR (350 ml)

T3 planté sous stress sévère de 40 % CR (200 ml)

NB : La même procédure est maintenue pour le calcul de la capacité de rétention (CR) dans le cas de gobelet avec un poids de substrat de 80 g (CR= 80 ml).

5.8. Désherbage :

Pendant les premiers stades de la culture, nous avons observé une gamme variée d'espèces adventices; monocotylédones ainsi que certaines dicotylédones. Toutefois, du fait de l'envahissement des mauvaises herbes, nous avons effectué des passages périodiques de désherbage manuel dès l'installation du dispositif (fig.n° 24).



Figure n° 24 : opération de désherbage (Dibes.A et Mecelti.M.F ; 2023)

6. Paramètres étudiées :

Afin d'estimer l'effet de trois niveaux de stress hydrique sur la croissance végétale des plants ainsi que les variations des caractères morphologiques et agronomiques de blé dur, plusieurs paramètres ont été pris en considération :

6.1. Paramètre de croissance :

Après 30 et 60 jours de stress , des prélèvements ont été réalisés sur des plantes de chaque génotype et pour chaque niveau de stress hydrique.

6.1.1. Nombre de racine :

Le nombre de racine a été pris en tenant compte de la moyenne de trois racines de chaque plantule et par la suite ces trois moyennes font l'objet d'une seule répétition.



Figure n° 25 : détermination du nombre de racine (Dibes.A et Mecelti.M.F ; 2023)

6.1.2. La hauteur de la plante :

Les mesures de la hauteur de la partie aérienne s'effectuent du collet jusqu'au dernier nœud à l'aide d'une règle graduée (fig. 26).

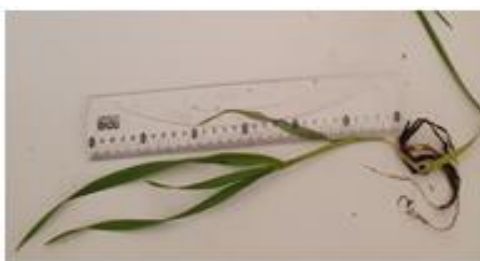


Figure n° 26 : mesure de la hauteur de la plante (Dibes.A et Mecelti.M.F ; 2023)

6.1.3. Biomasse aérienne :

Le poids de la matière sèche de la partie aérienne de la plante est déterminé après passage du matériel végétal frais à l'étuve à 80°C pendant 24h.

Le poids des échantillons sec est déterminé à l'aide d'une balance électronique de précision.



Figure n° 27 : prise du poids de la matière sèche (Dibes.A et Mecelti.M.F ; 2023)

6.2. Caractères morphologiques:

Pour rendre compte l'effet des différents degrés du stress hydrique sur les paramètres morphologiques des six variétés testés nous avons étudiée les paramètres suivants :

6.2.1. Surface de la feuille étendard (SFE) :

La longueur et la plus grande largeur de la feuille étendard ont été mesurées sur un échantillon de 5 feuilles prises au hasard au stade épiaison. La surface moyenne de la dernière feuille entièrement développée a été estimée selon Spagnoletti-Zeuli et Qualset (1990):

$$\text{SFFE (cm}^2\text{)} = 0.607 \times (\text{L} \times \text{l})$$

SFFE : Surface moyenne de la feuille étendard (cm²), L : Longueur moyenne de la feuille étendard (cm), l : largeur moyenne de la feuille étendard (cm), et 0.607 : coefficient de régression de la surface estimée à partir du papier grammage sur celle déduite par le produit (L x l).

6.2. 2.La hauteur de la plante (HP) :

La hauteur des plantes a été estimée sur un échantillon de 04 plantes / génotype/ bloc, au stade maturité à partir du ras du sol jusqu'au sommet de l'épi, barbes non compris (Cauwel et *al.*, 2000), à l'aide d'un mètre ruban, et elle est exprimée en Cm.

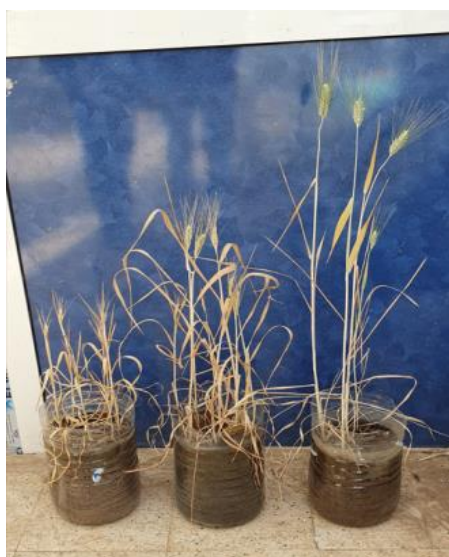


Figure n° 28 : mesure de la hauteur de plants (Dibes.A et Mecelti.M.F ; 2023)

6.2.3. Hauteur du chaume : La hauteur de la tige est mesurée en centimètre de la base de la tige à la base de l'épi.

6.2.4. Longueur du col(LC) Ce caractère est mesuré en centimètre à partir du dernier nœud jusqu'à la base du rachis.



Figure n° 29 : mesure de longueur du col et de l'épi (Dibes.A et Mecelti.M.F ; 2023)

6.2.5. La longueur de l'épi (LE) Elle est estimée sur un échantillon de 04 épis / génotype/ bloc, au stade maturité à partir de la base de l'épi (1er article du rachis) jusqu'au sommet de l'épillet terminal. Elle est exprimée en Cm.. Les épis ont été choisis indépendamment de celles de la hauteur de la plante.

6.2.6. Le nombre de talles herbacées Il est déterminé par comptage direct du nombre de talles herbacées pour 03 plantes /génotype /bloc, au stade fin tallage le 14/02/2018. La moyenne des talles herbacées / plante est ensuite déterminée.

6.2.7. Le nombre de grains par épi (NGE) :

Il est obtenu par comptage direct du nombre de grains / épi d'un échantillon de 04 épis / génotype/ bloc choisis de manière aléatoire et battus manuellement (fig.n° 30).



Figure n° 30 : détermination du nombre de graine par épi (Dibes.A et Mecelti.M.F ; 2023)

CHAPITRE –III
RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Les paramètres physiques de la germination :

1.1. Taux de germination :

Le taux de germination, en conditions de stress hydrique, donne toujours une idée plus ou moins précise du comportement des variétés étudiées.

La figure (n° 31) présente les variations du taux de germination %, des différentes variétés du blé dur étudiées (core, mimmo, ciccio, ancomarzio, ovidio, emilliolippido) en fonction de différents niveaux de stress hydrique.

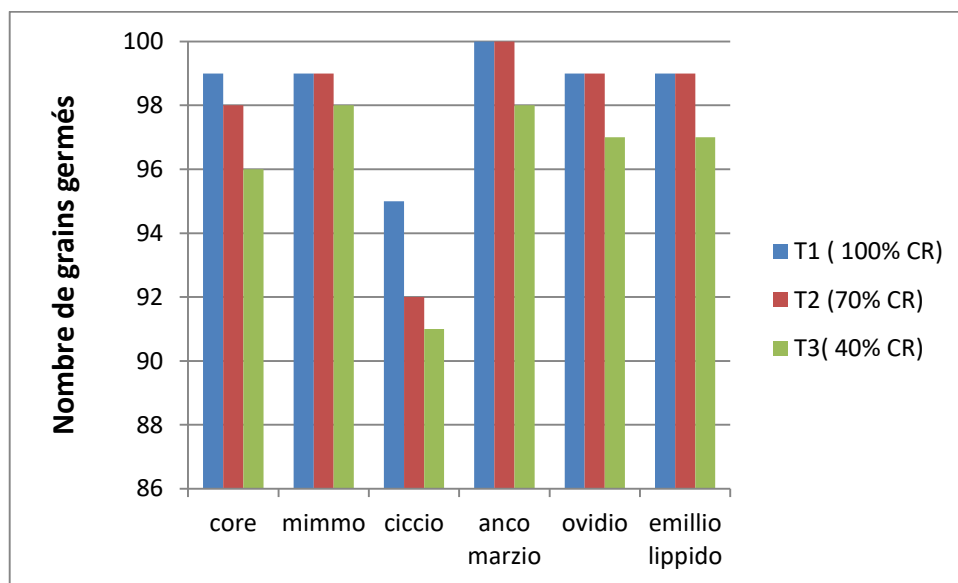


Figure n° 31 : Evolution moyenne du taux de germination en fonction du niveau de régime hydrique appliqué.

On remarque que les valeurs des six génotypes varient entre 91% et 100% pour tous les niveaux de traitement hydrique.

-Alors que les valeurs de germination enregistrée pour T2 (70% CR) sont presque identiques au témoin, elles varient entre 99 % et 100% dans tous les traitements à l'exception des deux génotypes core et ciccio qui enregistrent respectivement les valeurs de 98 et 95%.

- Pour le traitement T3 (40% CR), elles sont moins proches des valeurs du témoin, et elles varient entre 96% et 98% à l'exception du génotype ciccio qui enregistre la valeur la plus faible estimé a 91%.

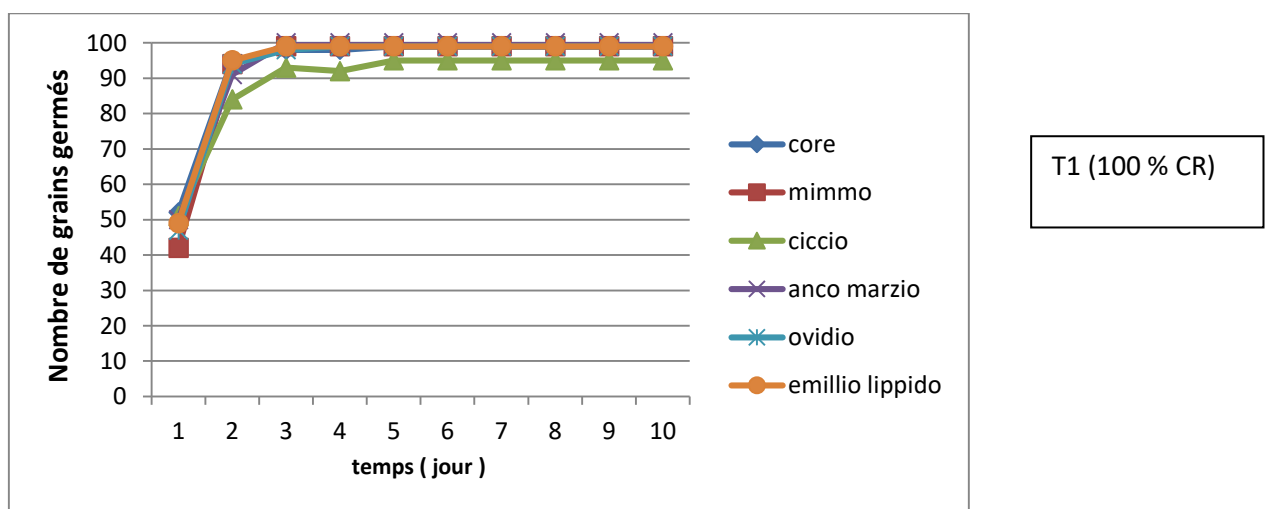
1.2. Cinétique de germination :

Les courbes illustratives de la cinétique de germination (Fig. 32) montrent clairement que les taux de germination évoluent progressivement en fonction du temps mais prennent des schémas faiblement différents en fonction de régime hydrique appliquée.

L'analyse de la cinétique montre généralement une première phase de latence, due à l'imbibition des graines, une deuxième phase exponentielle où l'on assiste à une accélération de la germination et enfin une troisième phase caractérisée par un palier indiquant un arrêt de germination.

Chez tous les génotypes et pour les différents niveaux de stress hydrique appliqué, la phase de latence est très courte et ne dure qu'un seul jour ; la phase exponentielle de germination dure environ 48 heures, avant d'atteindre la phase stationnaire où la germination s'arrête après un maximum de germination au boue de 72h après la mise en germination. L'effet dépressif du déficit hydrique sur la germination se manifeste au cours de l'une ou de l'ensemble de ces trois phases, selon le degré d'abaissement du potentiel hydrique, et s'exprime par un abaissement dans le nombre de la germination des graines. Ainsi dans les trois milieux d'imbibition (T1, T2 et T3), la limite d'estimation de la moyenne de germination située à 72h, présente respectivement des taux de l'ordre de 98,5, 97,83 et 96,2 %. L'influence d'abaissement du potentiel hydrique s'est soldée par des faible diminutions des taux de germination évalués à -0,7 et -2,3 % respectivement au niveau des traitements conduits en T2 (70 % CR) et T3 (40% CR).

Cependant quelques soit le traitement appliqué les variétés ciccio a toujours donné la cinétique la plus faible en comparaison avec les autres variétés.



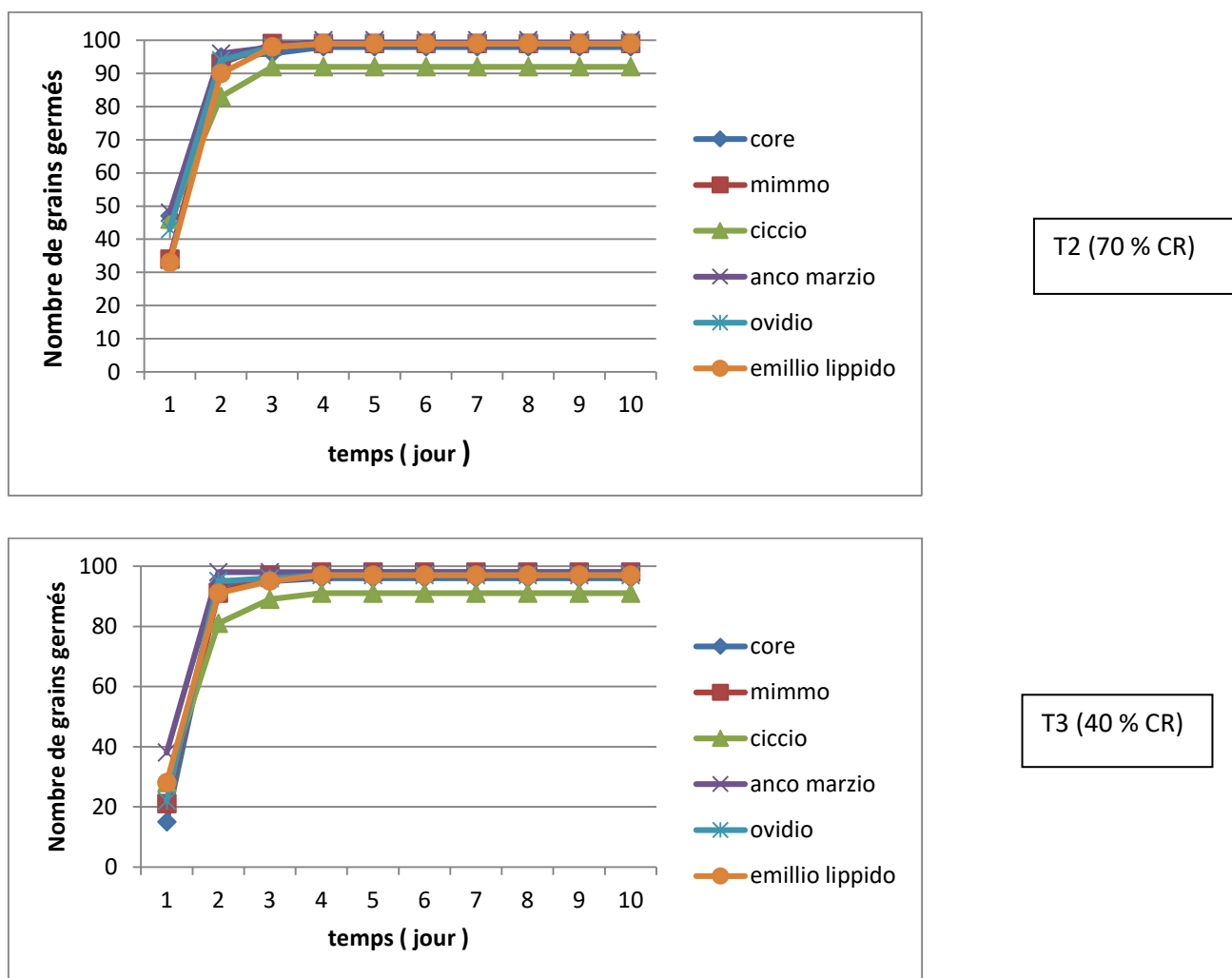


Figure n° 32 : Variation du taux de germination, des différentes variétés en fonction du temps et niveau de régime hydrique appliqué (T1, T2, T3)

2. Paramètres de croissances :

2.1. Nombre de racine :

Les six génotypes après une période de stress hydrique, on manifesté des modifications sur le plan morphologique de la plante notamment le nombre de racine qui se traduit par une diminution de cette variable. Ces variations ont été imposées par le régime hydrique appliqué et la nature des génotypes conduits .

Ainsi, chez tous les génotypes de blé dur et à degrés différents, l'application des niveaux d'alimentation hydrique déficients a provoqué une réduction des valeurs de nombre de racine. Toutefois, cette influence s'est montrée différente parmi les six génotypes testés (fig. 33).

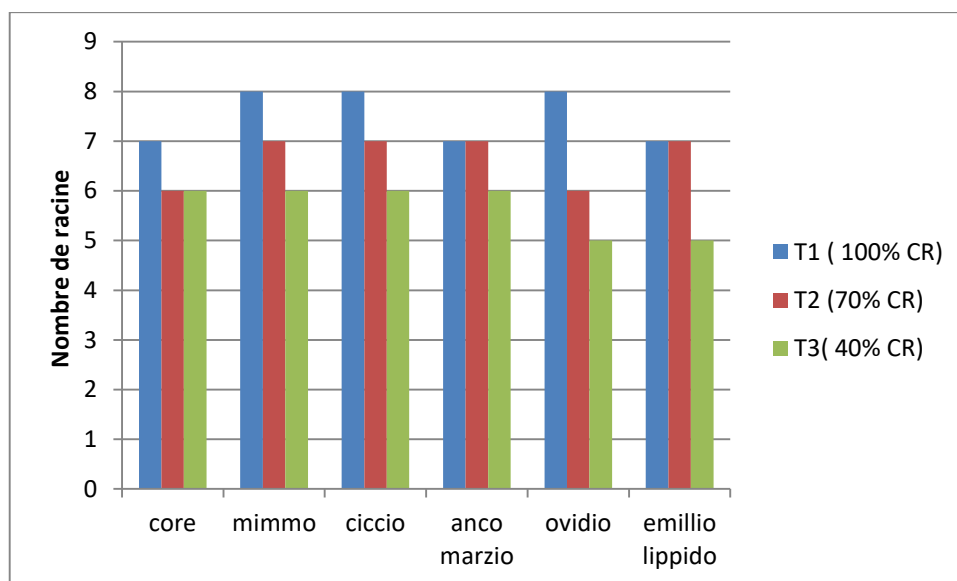


Figure n° 33 : Nombre moyen de racines formées par les génotypes en fonction des niveaux de régime hydrique appliqué (T1, T2, T3)

D'une manière générale, c'est au niveau du lot témoin (T1) que les valeurs des racines sont les plus élevées avec une moyenne de 7,5 racines/plant. Les réductions enregistrées dans les traitements T2 et T3 sont évaluées à -11,1% et -24,4 %.

À l'échelle de traitement T1 (100 % CR), on note que les génotypes Mimmo, Ciccio et Ovidio à l'échelle de traitement T1 (100 % CR) a formé le nombre de racines le plus élevé avec 08 racines contrairement au autres qui non eu que 07 racines/plant.

A l'échelle du traitement mené à T2 (70 %CR), les valeurs du nombre de racines se limitent entre 07 et 06 racines/plant,

Dans le traitement conduit à T3 (40% CR), les valeurs du nombre de racines vacillants entre 05 racines/plant (EmillioLipido, Ovidio) et 06 racines/plant (Mimmo, Core, Ciccio et Anco Marzio).

Dans les mêmes conditions hydriques, les génotypes Core et Anco Marzio se révèle comme les moins sensible à l'expression de ce paramètre en indiquant un taux de régression -14,28 %, par rapport au lot témoin, tandis que, Ovidio et EmillioLipido s'avère le plus sensible (-37,5 et -28,6 %).

2.2. Hauteur de plantule :

Les valeurs relatives à la hauteur de plantule sont également variables parmi les génotypes et en fonction du régime hydrique appliqué aux plantes (fig.n°34).

Les moyennes génotypiques de la hauteur de la plantule varient faiblement entre les trois traitements hydriques où les valeurs observées atteignent dans l'ordre 42,33 cm, 34,88 cm et 24,7 cm respectivement sous les traitements hydriques de 100%CR, 70%CR et 40%CR.

On relève que les valeurs obtenues dans le traitement hydrique témoin, où les génotypes, Ovidio et Ciccio ont inscrit les plus hautes valeurs avec dans l'ordre 46 cm et 45 cm.

Au niveau du lot mené à 70%CR, les hauteurs des plantules oscillent entre 32cm (Anco Marzio) et 38 cm (Ovidio), alors que chez les plantes conduites à une humidité de 40%CR les valeurs extrêmes sont détenues par Waha (22 cm) et Ovidio (29,5 cm).

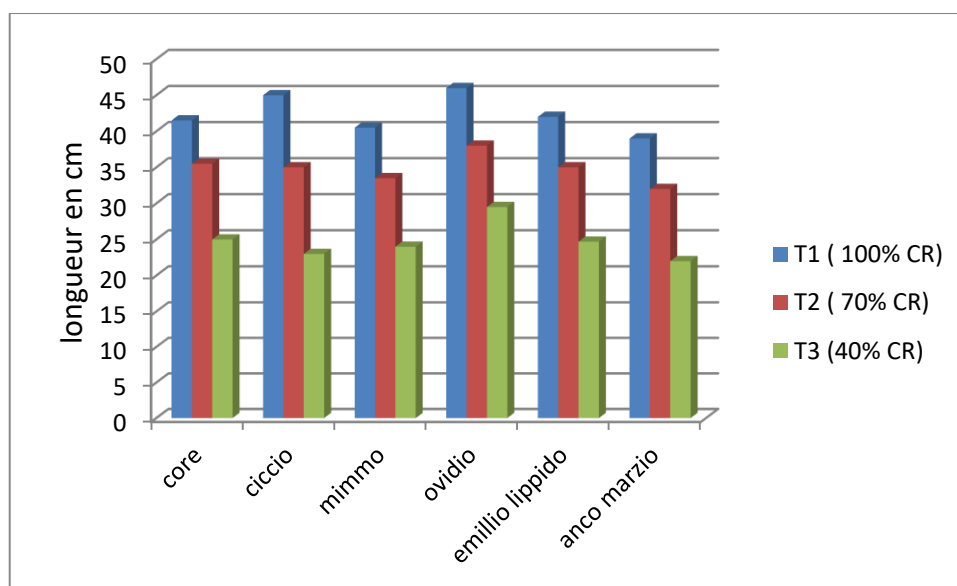


Figure n° 34 : Variation de la moyenne de la hauteur de la plantule chez six variétés de blé dur en fonction des niveaux de régime hydrique appliqué (T1, T2, T3)

Ainsi, un comportement divers de l'ensemble des génotypes face à cette situation hydrique, les génotypes affichent les réductions les plus importantes de -17,71 % et -41,65% respectivement pour le traitement T2 (70% CR) et T3 (40 % CR).

2.3. Biomasse aérienne :

Les valeurs relatives au poids de la biomasse aérienne sont également variables parmi les génotypes et en fonction du régime hydrique appliqué aux plantes.

Les résultats moyens obtenus (fig.n°35), montrent une nette prédominance du poids de biomasse aérienne au niveau des témoins par rapport aux niveaux de régime hydrique appliqué.

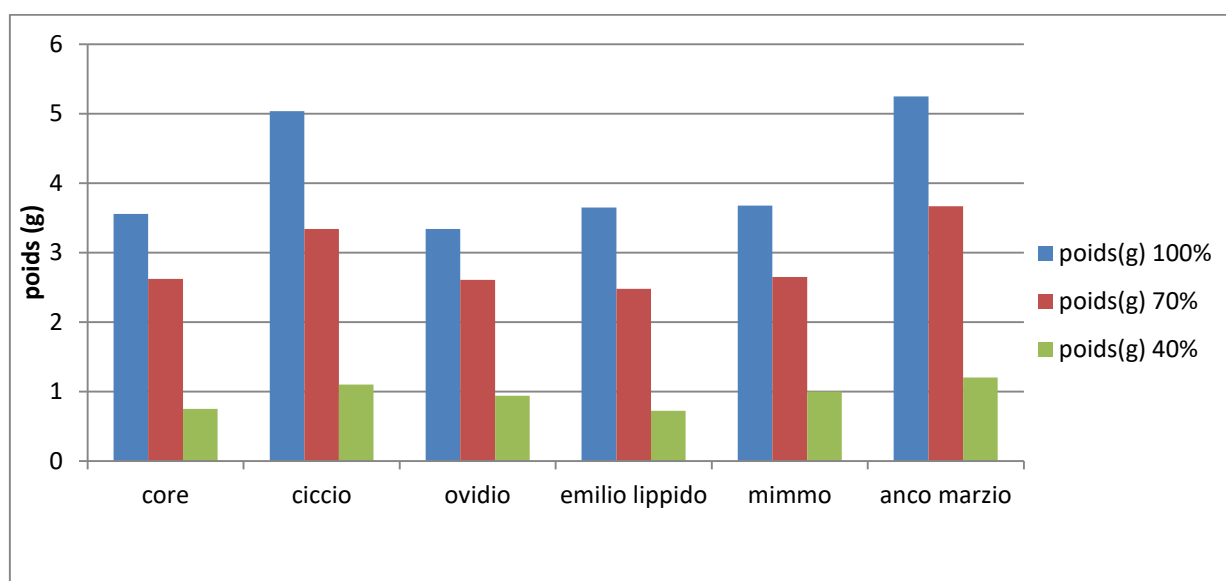


Figure n° 35 : Variation de la moyenne de biomasse aérienne chez cinq variétés de blé dur en fonction des niveaux de régime hydrique appliqué (T1, T2, T3)

Ainsi, les valeurs moyennes génotypiques sont de l'ordre 3,75 g (traitement à 100%CC), 2,89g (70%CR) et 0,97g (40%CR).

Les variations de grandeur du poids biomasse aérienne s'annoncent important au fur et à mesure que le niveau de stress augmente, réalisant ainsi une réduction de -22,86% pour le niveau de stress T2 et -74,15 % pour le niveau de stress T3 par rapport au témoin.

3. les paramètres morphologiques :

3.1. Variation de la surface de la feuille étendard :

Globalement, on constate une diminution progressive de la surface foliaire chez les six variétés par rapport au témoin (fig.n°36).

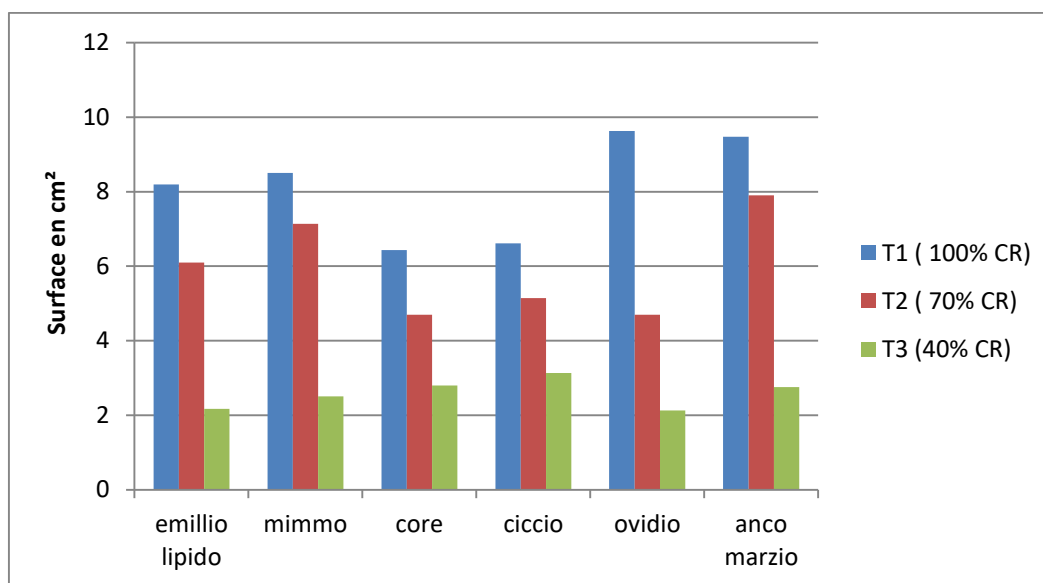


Figure n° 36 : Variation de la moyenne de Surface foliaire chez cinq variétés de blé dur en fonction des niveaux de régime hydrique appliqué (T1, T2, T3)

L'application du déficit hydrique a un effet dépressif sur la longueur et la largeur de la dernière feuille (étendard) d'où la moyenne de la surface résultante présente une nette diminution entre les trois traitements hydriques où les valeurs observées atteignent 8,13 cm², 5,95 cm² et 2,58 cm² respectivement sous les trois traitements hydriques de 100%CC, 70%CC et 40%CC.

Ainsi, un comportement divers de l'ensemble des génotypes face à cette situation hydrique, les génotypes affichent les réductions les plus importantes de -26,9% et -68,5% respectivement pour le traitement T2 (70% CR) et T3 (40 % CR).

3.2. Hauteur de la plante à maturité :

Nous remarquons que la hauteur des plantes diminue en fonction de l'intensité du stress hydrique appliqué. Pour la variable hauteur de la plante, les deux niveaux de stress hydrique T2 et T3 ont causé une réduction significative de cette variable qui fluctue de 65,54 cm chez les plantes non stressées à 52,71 cm et 35,31 cm respectivement pour les niveaux de stress T2 et T3, soit une diminution de -19,58 % et -46,13% respectivement .

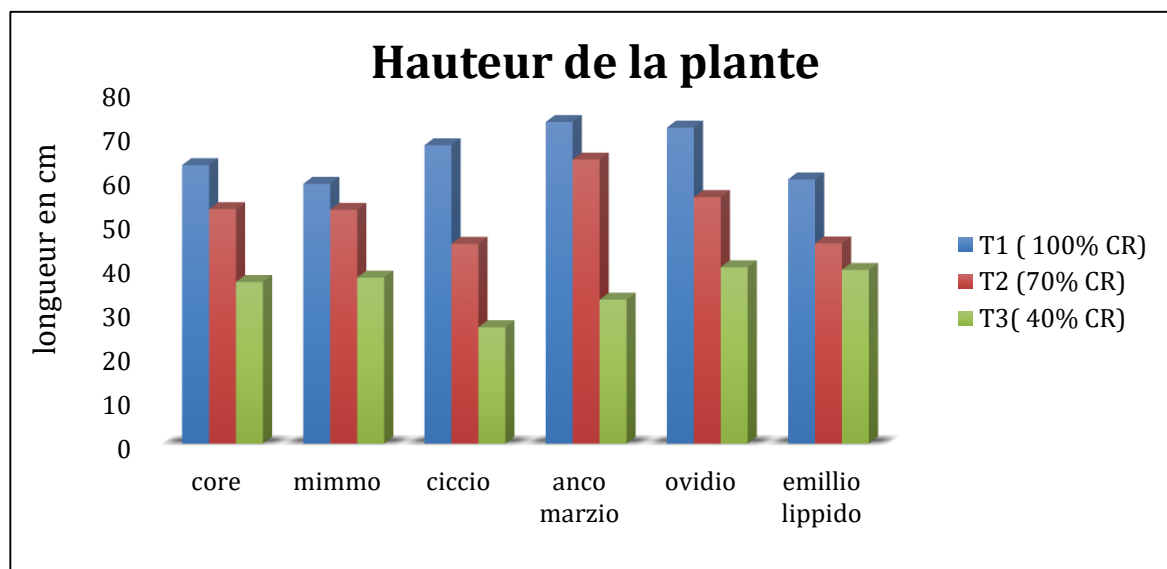


Figure n° 37 : Hauteur moyenne de la plante à maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.

Sous une contrainte hydrique modérée T2 (70 % CR) , seuls les génotypes V1 (Core) , V2(Mimmo) et V 4(ancomarzio) qui maintiennent des hauteurs proches des témoins, avec des réductions entre 10,04 % à 15,87%. Pour le génotype, V5 (ovidio) et V6 (emilliolippido) présente des réductions moyenne de l'ordre de -22,03 % et -24,27% respectivement .Tandis que la plus forte réduction est observée pour le génotype V3 (Ciccio) avec un taux de réduction de -33,11 %.

L'augmentation de la sévérité du stress (T3), provoque une réduction significative de la hauteur pour tous les génotypes, la plus faible réduction et enregistrée pour le génotype V6 (emilliolippido) de l'ordre -34,31%, et la plus forte réduction est enregistrée chez la V3 (ciccio) de l'ordre de -61,11%.

III.3.3. Hauteur de la paille :

Les résultats des mesures de la hauteur moyenne de la paille sont également très variables parmi les génotypes expérimentés (fig. n° 38).

Les valeurs moyenne obtenues sont comprises dans l'intervalle délimité par 45,78 cm, 34,39 cm et 19,75cm respectivement pour les trois niveaux stress hydriques T1 (100%), (70%) et (40%), réalisant ainsi une réduction de -24,88% pour le niveau de stress T2 et -57,24% pour le niveau de stress T3.

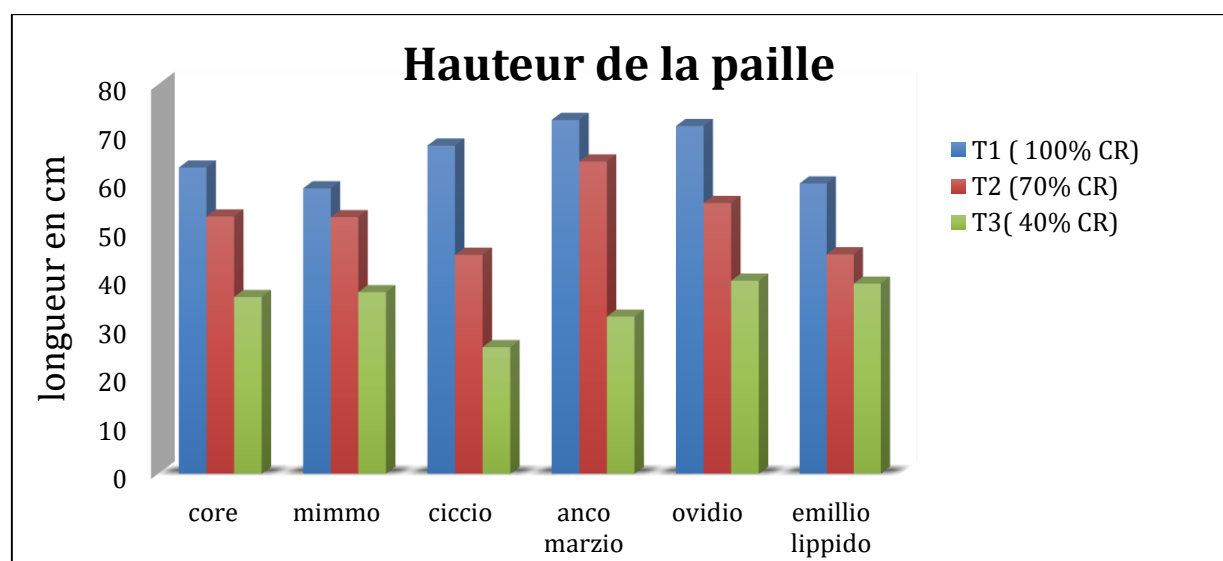


Figure n° 38 : Hauteur moyenne de la paille à maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.

Les valeurs obtenues lors de stress modéré T2 (70% CR) sont comprises dans l'intervalle délimité par 28,75 cm et 39,5 cm extériorisées dans l'ordre par les génotypes V6 (emilliolippido) et V5 (ovidio). Pour le génotype, V3 (ciccio), V1 (core) et V5(ovidio) présente des réductions moyenne de l'ordre de -24,17 % , -24,27% et -25,94 % respectivement .Tandis que la plus forte réduction est observée pour le génotype V6 (emilliolippido) avec un taux de réduction de -30,47 %.

L'augmentation de la sévérité du stress (T3), provoque une réduction significative de la hauteur pour tous les génotypes, la plus faible réduction et enregistrée pour le génotype V5 (ovidio) de l'ordre -46,22%, et la plus forte réduction est enregistrée chez la V2 (mimmo)de l'ordre de -67,07%.

III.3.4. Variation de la longueur de l'épi avec barbe :

Les six géotypes après une période de stress hydrique, on manifesté des modifications sur le plan morphologique de la plante notamment la longueur de l'épi qui se traduit par une diminution de cette variable. Les mesures de la longueur de l'épi à la maturité après que la culture ait été soumise à une période de stress hydrique sont représentées dans la figure n°39.

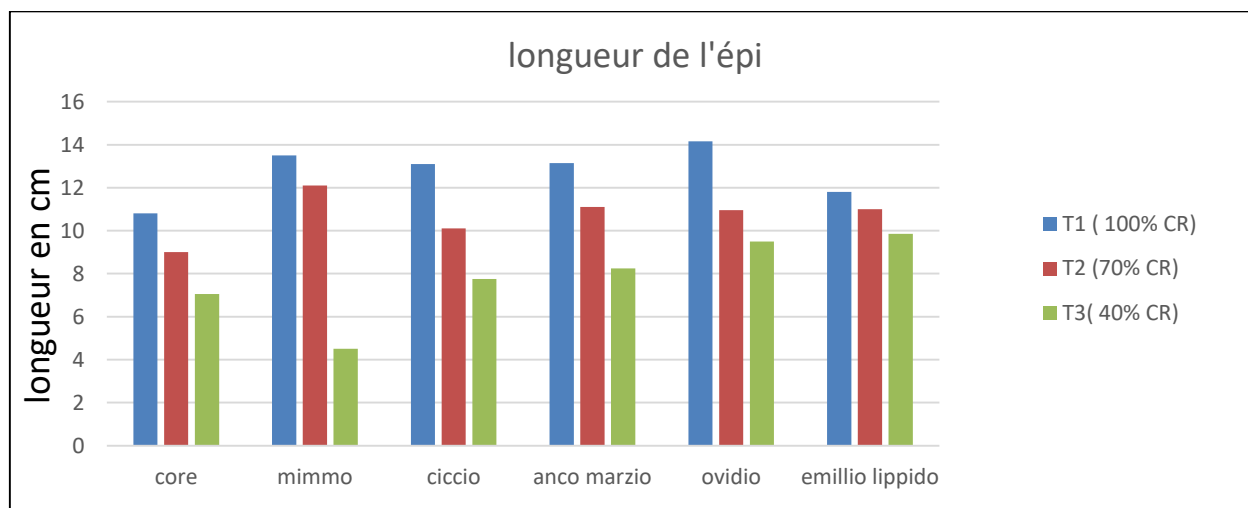


Figure n° 39 : Longueur moyenne de l'épi à la maturité chez six géotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.

Pour l'ensemble des géotypes, l'effet du stress hydrique provoque une réduction de la longueur de l'épi. Toutefois, cette réduction est significative pour la contrainte hydrique sévère (T3). Au cours de ce traitement T3 (40% CR), la longueur moyenne de l'épi des six géotypes passe de 12,75 cm, pour le témoin à 7,41 cm, soit une réduction de -41,88 %. Pour le stress hydrique modéré (T2), cette valeur passe de 12,75 cm à 10,71 cm, soit une réduction de -16 % (tab.3). Les valeurs enregistrées de longueur de l'épi sous conditions d'irrigation optimale (T1) s'étalent de 10,8 cm pour le géotype V1 (core) à 14,15 cm chez le géotype V4 (ovidio) (fig. 22).

Tous les géotypes enregistrent une diminution significative de la longueur de l'épi sous stress hydrique modéré (T2), les géotypes V3(mimmo) V1(core) et V4(ancomarzio) présente une diminution faible estimer -10,37, -15,6 et -16,7% . Ainsi la plus grande diminution est de -22,6 % et -22,9% enregistré pour les géotype V5(ovidio) et V3(ciccio) . Sous stress hydrique sévère (T3), la diminution de la longueur de l'épi est plus importante. Les valeurs vont de 4,5 cm pour le géotype V2(mimmo) à 9,85 cm chez la variété

V(Emilliolipido) qui enregistre une faible diminution en longueur de l'épi (-16,44 %), alors que la plus grande variation est observée pour le génotype V2(mimmo) avec -66,6 %.

III.3.5. Variation de la longueur du col de l'épi (LCE) :

Concernant le col de l'épi, les résultats moyens montrent que les variations des valeurs détenues par ce paramètre entre les trois situations hydriques semblent faibles.

Dans le traitement hydrique témoin (100%CR), la longueur du col de l'épi vacille entre des extrêmes de 15,75 cm extériorisée par AncoMarzio et 10,9cm enregistré par le génotype Ovidio.

Dans le traitement conduit à 70%CR, la valeur moyenne génotypique de la longueur du col de l'épi s'évalue à 10,17 cm, où les génotypes Anco Marzio en détiennent la valeur extrême.

Enfin sous la situation hydrique du niveau de 40%CR, les valeurs du col de l'épi fluctuent entre 8,95 et 7,3 cm enregistrées respectivement par les génotypes AncoMarzio et Ciccio.

Les variations de grandeur de la longueur du col de l'épi s'annoncent important au fur et à mesure que le niveau de stress augmente, réalisant ainsi une réduction de -18,38% pour le niveau de stress T2 et -37, 43 pour le niveau de stress T3 par rapport au témoin.

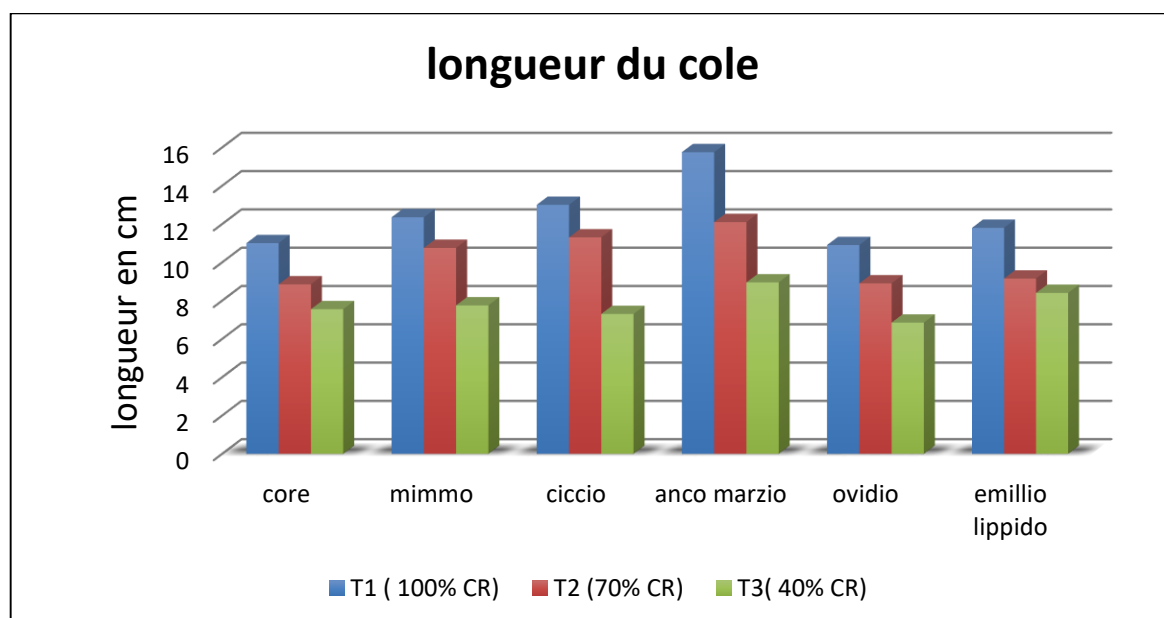


Figure n° 40 : Longueur moyenne de longueur du col de l'épi à la maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.

III.4. les paramètres agronomiques :

III.4.1. Nombre de talle :

Pour l'ensemble des génotypes, l'effet du stress hydrique sur le nombre de thalle pour ce variable est non significatif, puisque ce dernier étant absent chez tous les variétés mis a par la présence du mètre brin.

II.4.2. Nombre de graine par épi :

Les résultats obtenus de notre travail (Tableau 6) montrent que le nombre de grain /épi retenus sont très distinctes parmi les génotypes conduits. La soumission des génotypes sous stress hydrique provoque un effet remarquable sur le nombre de grain/épi (Fig.n°).

Au niveau du lot témoin T1 (100%CR), les génotypes Anco Marzio (34 grain/épi) et Ciccio (31 grain/épi) se distinguent par le nombre de grain /épi le plus grand (Tableau 04).

Au niveau du lot mené à 70%CR, le nombre de grain/épi oscillent entre 10 grain/épi (Core) et 21 grain/épi (Anco Marzio), alors que chez les plantes conduites à un traitement hydrique de 40%CC les valeurs extrêmes sont détenues par Anco Marzio (8 grain/épi) , Ovidio et Ciccio (7 grain/épi).

L'application du déficit hydrique a un effet dépressif sur le nombre de grain par épi , la réduction moyenne de ce paramètre atteint -39,1 % et -75,48 % respectivement pour les traitement T2 (70% CR) et T3 (40% CR).

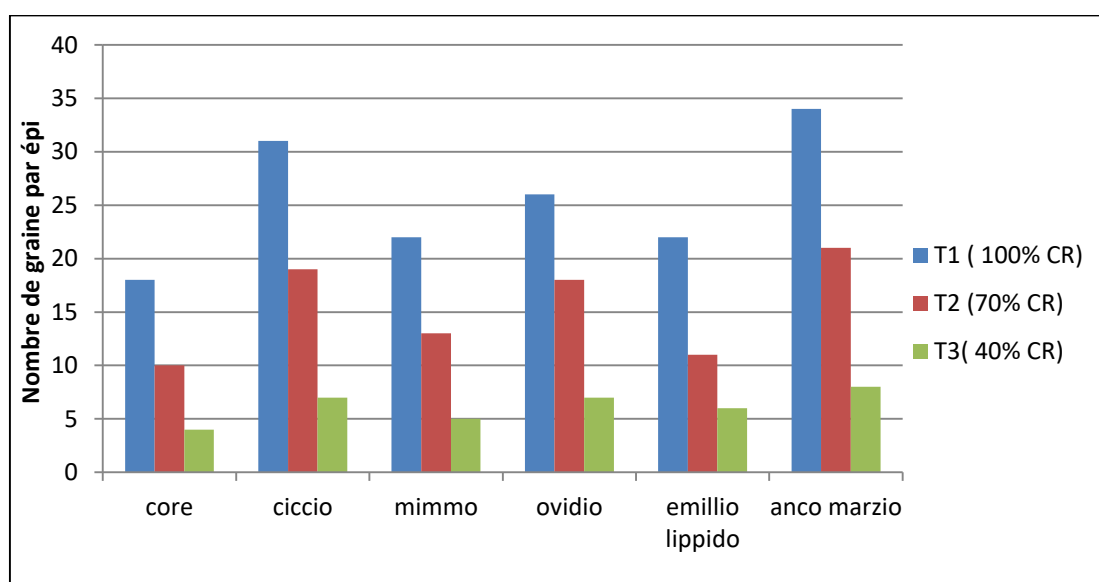


Figure n° 41 : valeurs moyenne du nombre de graine par épi à la maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.

Discussion :

Le stress hydrique appliqué selon différents niveaux de capacité au champ, affecte tous les paramètres morfo-physiologiques et agronomiques de la plante chez les six variétés étudiées, d'où la réponse se voit globalement de la même façon en suggérant ainsi l'effet génotypique très prononcé du fait que ces variétés sont de la même espèce (*Triticum durum* Desf.),

La tolérance à la sécheresse pendant la phase de germination constitue un critère important, pour l'évaluation de l'aptitude des variétés de blé dur à tolérer un déficit hydrique, durant leur première phase de développement. Le procédé de germination consiste en une prise d'eau par la graine (imbibition) puis d'une élongation de l'embryon menant au final à l'apparition des racicules (Bewley et *al.*, 1994 : Hamla, 2016).

Pour la cinétique de germination, l'existence de 03 phases successives comme suit : la première phase est une phase de latence, nécessaire à l'apparition des premières germinations où le taux de germination reste trop faible. La durée de cette phase se varie selon la concentration utilisée, elle est courte dans les témoins de blé dur. La deuxième phase est une phase un peu linéaire avec une augmentation rapide évoluant proportionnellement au temps dans tous les niveaux de stress appliqué. La troisième phase stationnaire correspond à un palier traduisant la capacité germinative dans les conditions de l'expérience, puisqu'au cours de la germination, l'activité biologique du grain continue à se développer, et lorsque la production enzymatique et la modification de l'endosperme ont atteint leurs niveaux optimaux, cette activité doit être arrêtée (Mortet, 2019).

La réduction de la croissance est l'une des premières manifestations du déficit hydrique (Saab et Sharp, 1989). D'après Bewley et Black (1994), Wang et *al.* (2003), le déficit hydrique limite sérieusement la croissance des plantes ainsi que leur productivité végétative.

Selon Debaeke et *al.*, (1996) Le stress hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs. Le stress hydrique imposé a provoqué une réduction de la longueur et du nombre des racines, d'autant plus importante que le stress est sévère. Cette réduction peut être consécutée à un arrêt de la division et de l'élongation cellulaire au niveau des racines. Ceci entraînant une sorte de lignification du système racinaire, permettant aux plantes d'entrée dans une 'vie ralentie', probablement dans l'attente de conditions plus favorables (Vartanian, 1973 In : Hamla, 2016). La longueur du coléoptile est aussi une caractéristique variétale fortement

influencée par les effets du milieu. Le stress hydrique pendant le stade jeune plantule peut inhiber le développement du coléoptile.

Selon Moud et Maghsoudi, (2008) un faible taux de croissance du coléoptile est associé à une faible aptitude à l'osmorégulation. 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.

Les résultats de l'étude de la réponse des plantes de blé dur des génotypes soumises à un stress hydrique montrent des modifications des paramètres morphologiques tels que la hauteur de la tige, longueur de col de l'épi, la longueur de dernier entre nœud, longueur de l'épi, nombre de graine par épi, le poids de mille graines.

Les variations de la hauteur de la plante se traduisent par les conditions climatiques défavorables survenues durant cette campagne. En effet, l'avènement des hautes températures, le plus souvent associé au déficit hydrique, accélère le développement de la plante au détriment de la croissance (Bahlouli, 2006). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par (Abbassenne, (1997). Il faut signaler, que la hauteur de l'ensemble des génotypes sont réduit par l'effet du stress hydrique mais cette réduction est d'autant plus importante que le stress est sévère.

Les composantes du rendement tel que le nombre de grains/épis et le PMG sont très affecté par le stress hydrique. En effet le rendement est la résultante de trois composantes principales qui sont le nombre d'épis, celui des grains/épi et le poids du grain (Fellah et *al.*, 2002 ; Benmahammed et *al.*, 2010). Ces composantes se forment à des différentes phases végétatives réparties tout le long du cycle de la plante. Tout déficit hydrique qui affecte la formation d'un ou plusieurs composantes, affecte le rendement. La phase de maturation correspond à la période de remplissage du grain. L'effet du déficit hydrique, au cours de cette dernière phase, se traduit par une diminution de la taille du grain (Bahlouli et *al.*, 2005).

Ces résultats corroborent avec celle de (Calderini, 1999), qui montrent que le nombre de grains par épi est la composante la plus liée aux variations du rendement grain du blé et par conséquent, le poids moyen du grain peut être une importante source de variation du rendement grain particulièrement dans les régions caractérisées par des stress (Acevedo et *al.*, 1999).

Ces résultats sont en accord avec d'autres études réalisées sur des collections de géotypes de céréales cultivées, sous régime pluvial ou irrigué (Condon, 2002), en région méditerranéenne (Araus, 2003) et même dans d'autres régions (Sayre, 1995 ; Fischer, 1998).

Chez les céréales, le poids de 1000 grains (PMG) est un paramètre qui décrit la capacité d'accumulation des substances de réserves en conditions environnementales optimales. Le remplissage des grains se fait essentiellement par la translocation des assimilats issus de la photosynthèse. Les limitations qui apparaissent à ce niveau (remplissage du grain) peuvent être liées beaucoup plus à la capacité du géotype au stockage des réserves, qu'aux capacités photosynthétiques.

Benmahammed (1996) signale que le poids de 1000 grains est un bon critère de sélection indirecte pour améliorer le rendement. Triboi et *al.*, (1985) mentionnent que la variation du poids du grain est définie comme le produit de deux variables, vitesse (V) et durée (D) de remplissage. La vitesse représente le facteur prédominant dans l'élaboration du poids du grain, elle est contrôlée principalement par le nombre de grains produits par mètre carré.

Cependant, les conditions climatiques peuvent influencer le poids de 1000 grains. Certains auteurs (Shpiler et Blum, 1986, Wadlaw 2002) affirment que les hautes températures réduisent le poids des grains en agissant directement sur le taux de remplissage qui est une conséquence de la durée de remplissage des grains.

Le PMG est une caractéristique variétale sujettes des fluctuations liées en particulier à l'échaudage, dépend fortement des conditions climatiques et de la nutrition azotée durant la maturation. Grignac (1981), affirme que le poids de mille grains diminue considérablement sous l'effet des fortes températures et d'un déficit hydrique au moment du remplissage du grain.

L'adaptation est un mécanisme nécessaire pour les variétés à adopter dans les régions arides et semi- arides, pour tolérer la sécheresse (Slama et *al.*,2005).

Conclusion

Conclusion :

La culture du blé dur au niveau de la zone aride et semi-aride est confrontée à plusieurs contraintes abiotiques qui sont les causes principales de la faiblesse des rendements et l'irrégularité de la production (Mekhlouf, 2009).

Dans cette zone, la sélection de génotypes, de blé dur tolérants et performants, est un objectif important dans les programmes de sélection (Oulmi et *al.*, 2014). Dans de tels environnements, les essais multi-sites et multi-saisons sont généralement conduits pour analyser l'amplitude de l'interaction génotype x environnement rencontrée (Adjabi et *al.*, 2007).

La production du blé dur, en conditions défavorables, peut être augmentée par une amélioration génétique ou par une meilleure maîtrise des techniques culturales. L'adoption d'une nouvelle technique en zone de stress est limitée surtout par l'attitude négative des agriculteurs qui ne voient toujours que les charges que cela encourt (Benbelkacem, 1997).

L'adoption de nouveaux cultivars mieux adaptés aux conditions défavorables est mieux acceptée par les agriculteurs, parce qu'elle ne coûte pas chère et représente la technologie la plus facile à transférer (Ceccarelli et Grando, 1989).

Mais, il est difficile de faire un progrès quelconque, lorsque les stress qui entravent la croissance de la plante augmentent en fréquence et en intensité, et surtout, lorsqu'ils sont imprévisibles parce qu'ils sont de nature intermittente, pouvant se manifester à n'importe quel stade de développement du blé dur. Néanmoins, la nature a doté la plante de mécanismes qui lui permettent de tolérer les stress prévalant, à des degrés variables. L'exploitation de cette diversité peut déboucher sur une meilleure adaptation au milieu associée à la régularité des rendements. Et c'est dans ce contexte que notre travail s'inscrit.

Pour ce faire, une stratégie globale a été suivie, associant des études phénotypiques et génotypiques en intégrant différents caractères physiologiques, morphologiques et agronomiques. L'étude a permis de donner une vue globale des comportements de 6 génotypes de nouvelle obtention de blé dur (*Triticum durum* Desf.) soumis à trois niveaux de stress hydrique (100 %, 70 % et 40 % de la capacité de rétention) via l'utilisation des paramètres liés à la germination et croissance ainsi que les paramètres morphologique et agronomique.

Pour les paramètres morpho-physiologique montrent que le taux de germination était relativement élevé pour la totalité des génotypes testé ce qui la confère une bonne tolérance au condition de stress, en plus l'effet dépressif sur la croissance de la plante, Notamment ; le nombre de racines, la hauteur de la plante, ainsi que la biomasse, qui sont aussi observés chez les plantes stressés par rapport aux témoins. Ces effets sont d'autant plus importants que l'intensité et la durée du stress sont élevées.

Pour ce qui est des paramètres analysés , la majorité des génotypes stressé (T2 70% CR , 40 % CR) ont affiché des valeurs inférieures à celles du témoin (T1 100% CR), et ce pour l'ensemble des paramètres étudiés, a savoir les traits morphologiques (surface de la feuille étendard, Hauteur de la plante, Longueur de chaume , longueur de l'épi, longueur de col de l'épi). Ainsi que les traits agronomique (nombre de talle, nombre de graine par épi et poids de mille graines). Toutefois, nous pouvons signaler que les génotypes utilisent les mêmes stratégies pour tolérer le stress hydrique.

Notre étude peut constituer une valeur scientifique prometteuse. Cependant, l'ouverture des nouvelles perspectives, dans le but de rentabiliser d'avantage nos investigations, reste judicieuse :

- Reprise de cette étude dans des différents endroits (terrains agricoles) avec des conditions édapho-climatiques
- L'étude de plus de caractères agronomiques relatifs au développement végétatif et au rendement (Tallage et composantes du rendement).
- L'élargissement de cette collection du blé en y apportant des nouvelles accessions provenant de toutes les régions ayant la même spécificité des zones arides et semi-arides.
- L'étude de rendement et ces composantes sur plusieurs sites et plusieurs années pour confirmer la stabilité de la performance des variétés blé dur testé, et Pour mieux connaître le comportement des lignées testées à l'égard des maladies et des stress les plus prévalent en Algérie.

Ces objectifs enferment de réels efforts de recherche pour exploiter d'avantage les ressources génétiques de blé disponibles et répondre encore aux nouveaux enjeux de l'alimentation humaine en matière d'innovation et différenciation des produits.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références

- ❖ Abbassenne, F., Bouzerzour, H., & Hachemi, L. (1997). Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. *Ann. Agron. INA, El Harrach*, 18:24-36.
- ❖ Acevedo E.H., Silva P.C., Silva H.R., Solar B.R., 1999 ; Wheat production in Mediterranean environments. In: Satorre, E.H., Slafer, G.A. (Eds.), *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. The Haworth Press Inc., New York, pp. 295–331.
- ❖ Adda, A., Sahnoune, M., Kaid-harch, M. and Merah, O. 2005. Impact of water deficit intensity on durum wheat seminal roots. *Comptes Rendus - Biologies*, 328(10–11): 918–927.
- ❖ Adjel, F., Kadi,Z., Bouzerzour, H., Benmahammed A. (2013). Salt stress effects on seed germination and seedling growth of barley (*Hordeum Vulgare* L.) genotyps. *Journal of agriculture and Sustainability*.volume 3, Numbre 2, 2013, 223-237
- ❖ Adjel, F., Kadi,Z., Bouzerzour, H., Benmahammed A. (2013). Salt stress effects on seed germination and seedling growth of barley (*Hordeum Vulgare* L.) genotyps. *Journal of agriculture and Sustainability*.volume 3, Numbre 2, 2013, 223-237
- ❖ Ait kaki. (1993) : Contribution a l'étude des mécanismes morpho physiologiques et biochimiques de tolérance au stress hydrique de 5 variétés de blé dur (*triticum durum*). Thèse magister en Biologie végétale, institut des sciences biologiques, constantine, 120 p.
- ❖ Ali dib T. Monneveux P. et Araus J. (1992) : Adaptation a la sécheresse et notion d'ideotype chez le blé dur. II- Caractères physiologiques d'adaptation *Agronomie*,12, pp 381-393.
- ❖ -Araus J.L., Villegas D., Aparicio N., Garcia Del Moral .Lf., El Hani S., Rharrabti Y., Ferrio J.P., Royo C., 2003. Environmental factors determining carbon isotope discrimination and yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Crop Science* 43, 170–180.
- ❖ Arous, A. Adda, , M. Belkhodja, , A. Bouzid, O.Merah, “The contribution of green plant parts to grain filling of durum wheat under water deficit“. *Bulg. J. Agric. Sci.*, 26 (4): 809– 815. 2020.
- ❖ Atti S. 2002. Assessment of soybean (*glycine max* (l.) merr.) water stress, lipochito oligosaccharides application and spectatral responce. These Master, Département of Agricultural and Biosystems Engineering Macdonald Campus of Mc Gill, University Montreal, Canada, 128p.
- ❖ Attia, F., 2007. Effet du stress hydrique sur le comportement éco physiologique et la maturité phénologique de la vigne *Vitis vinefera* L. Etude de cinq espèces autochtones de Midi pyreneés : Thèse de doctorat Institut national polytechnique de Toulouse. France.194 p.
- ❖ Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A. Et Hassous, K. L., 2008.Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semiarid conditions. *Agro*, 4: 360-365.

- ❖ Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A., Hassous K.L. (2005). Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi arid conditions. *Pakistan Journal of Agronomy*, 4: 360-365.
- ❖ Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A., Hassous K.L. (2005). Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi arid conditions. *Pakistan Journal of Agronomy*, 4: 360-365.
- ❖ Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Hassous, A. (2006). Etude des liaisons entre le rendement, la durée de vie de la feuille étendard, la vitesse de remplissage et la remobilisation des assimilats de la tige du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. *Annales INA*, 27: 15- 36.
- ❖ Bajji, , S. Lutts, , J. Kinet, M., "Physiological changes after exposure to and recovery from polyethylene glycol-induced water deficit in callus cultures issued from durum wheat (*Triticum durum* Desf.) Cultivars differing in drought resistance". *Journal of Plant Physiology*, 156(1), 75–83. 2000.
- ❖ Baldy C. 1973. Etude fréquentielle du climat, son influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. Versailles : INRA, Dép. Bioclimatologie/Ministère de l'Agriculture.
- ❖ Baldy, C. (1974) . Utilisation efficace de l'eau par la végétation en climats méditerranéens. *Bull. Soc. Botan. Fr* 131 (2, 3, 4) (Actual. Botan.) 491-499
- ❖ Baldy, C. (1974) . Utilisation efficace de l'eau par la végétation en climats méditerranéens. *Bull. Soc. Botan. Fr* 131 (2, 3, 4) (Actual. Botan.) 491-499
- ❖ Barnabás, B., Jager, K. and Feher, A. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell & Envir.*, 31(1): 11–38.
- ❖ Bataillon T., Chantret N., Cenci A., Gautier M.F., Joudrier Ph., Haudry A., Muller M.H., Poncet C., Prospero J.M., Ronfort J., Roumet P., Santoni S., Thuillet A.C., David J. (2006). Impacts d'événements démographiques et sélectifs sur la diversité des plantes cultivées: apports de l'analyse du polymorphisme allié à la théorie de la coalescence. *Les Actes du BRG*, 6: 243-257.
- ❖ Bataillon T., Chantret N., Cenci A., Gautier M.F., Joudrier Ph., Haudry A., Muller M.H., Poncet C., Prospero J.M., Ronfort J., Roumet P., Santoni S., Thuillet A.C., David J. (2006). Impacts d'événements démographiques et sélectifs sur la diversité des plantes cultivées: apports de l'analyse du polymorphisme allié à la théorie de la coalescence. *Les Actes du BRG*, 6: 243-257.
- ❖ Beba, S., (2011). Essai de comportement de deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Lara Carioca et vitro) conduite sous palmier dattier au niveau de région d'Ourgla. Université Merbah, Ourgla. Ingénieur d'état agronomie saharienne, 9.
- ❖ Belaid D. (1996). Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed. Office des publications universitaires, Ben-Aknoun (Alger), 206 p.
- ❖ Belaid D., 1987- Etude de la fertilisation azotée et phosphatée d'une variété de blé dur (Hedba) en conditions de déficit hydrique, Mémoire de magistère. I.N.A 109p.

- ❖ Belkhodja M., 1996. Action de la salinité sur le comportement physiologique, métabolique chez la fève (*Vicia faba* L.) thèse Doct. Université d'Oran, 255p.
- ❖ Ben Salem M., M. Ben Naceur, E. Zid, and R. H. Karray, "Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance," *Sécheresse*, vol. 16, no. 3, pp. 225–229, 2005.
- ❖ Benchohra B., Khelloufi B. (2000). Impact du risque climatique sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride : approche éco-physiologique. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 11(1): 45-51.
- ❖ Benchohra B., Khelloufi B. (2000). Impact du risque climatique sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride : approche éco-physiologique. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 11(1): 45-51.
- ❖ Bendarradji L (2013). Selection in vitro pour la tolérance aux stress salin et thermique chez le blé tendre (*triticum aestivum* L.). Thèse de Doctorat en Biotechnologie Végétale, Université Constantine -1-, Constantine, 143p .
- ❖ Benlaribi M., Monneveux P., Grignac., 1990. Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur. *Ed Agronomie* 10, pp. 305-322.
- ❖ BENLARIBI M., MONNEVEUX P., GRIGNAC., 1990. Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur. *Ed Agronomie* 10, pp. 305-322.
- ❖ Benmahammed A., 1996. Association et héritabilités de quelques caractères à variation continue chez l'orge (*Hordeum vulgare*L.). Thèse de Magister. INA El Harrach, 80 p.
- ❖ Benmahammed, A., Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, A., & Bouzerzour, H. (2010). Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 14: 177-186.
- ❖ Bennasseur, A., (2003).Référentiel pour la conduite technique de la culture de blé dur (*Triticum durum* Desf.) : P 24-38.
- ❖ Bewley J.D. and Black M., 1994. *Seeds - Physiology of development and germination.* ; 2nd Edition. Plenum Press, New York, NY. 445 p.
- ❖ Blum ; L. Shpiler, "Heat tolerance for yield and its components in different wheat cultivars ".*Euphytica* 51: 257–263, 1991.
- ❖ Bodson, B., De Proft, M., & Watillon, B. (2019). *Livre Blanc Céréales* (Gembloux, ed.). Agro Bio Tech.P364
- ❖ Bodson, B., De Proft, M., & Watillon, B. (2019). *Livre Blanc Céréales* (Gembloux, ed.). Agro Bio Tech.P364
- ❖ Bolot S , Abrouk M ,Masood-Quraishi U, Stein N, Messing J ,Feuillet C Salse J (2009) .The 'inner circle'of the cereal genomes. *Current opinion in plant biology*, 12(2) : 119-125.
- ❖ Bonnefoy. M Moynier J-L (2014) ; Besoins en eau des céréales. Colloque au champIrrigation-le Magneraud, Arvalis, France.

- ❖ Bouchabke O., TARDIEU F. & SIMONNEAU T., 2006. Leaf growth and turgor in growing cells.
- ❖ Boudreau A, Ménard G (1992). Le blé : éléments fondamentaux et transformation. Dominique Jonson, Sain-Foy, 435 p.
- ❖ Boukensous W., 2014. Etude de l'efficacité de quelques fongicides sur le contrôle des maladies foliaires du blé et l'impact du traitement sur le développement et le rendement de la culture. Mémoire de master, Spécialité : Phytopathologie et Phytopharmacie. 72p.
- ❖ Boulal H, Zaghouane O, El Mourid M, Rezgui S (2007) .Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). ITGC, INRA, ICARDA, Algérie , 176p .
- ❖ Boulal H, Zaghouane O, El Mourid M, Rezgui S (2007) .Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). ITGC, INRA, ICARDA, Algérie , 176p .
- ❖ Boulal, H., El Mourid, M., Rezgui, S., Zeghouane, O., (2007). Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Edition: ITGC, INRA Algérie et ICARDA : P 176.
- ❖ Boulal, H., El Mourid, M., Rezgui, S., Zeghouane, O., (2007). Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Edition: ITGC, INRA Algérie et ICARDA : P 176.
- ❖ Bouthier A., Deswarte J. C., Deumier, J. M. 2012. Irrigation des céréales, blé tendre, blé dur, orge de printemps. Edition ARVALIS. Institut du végétal. 40p.
- ❖ Bouzid Assia, 2021 : Effet de déficit hydrique et la nature de l'organe sur l'activité des enzymes de formation de l'amidon lors de remplissage du grain chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : Thèse de doctorat, Spécialité : Adaptation et productivité des plantes cultivées, Université Ibn Khaldoun de Tiaret
- ❖ Boyeldieu J. (1999). Blé tendre, Techniques Agricoles-Fascicule n°2020, Paris
- ❖ Boyeldieu J. (1999). Blé tendre, Techniques Agricoles-Fascicule n°2020, Paris
- ❖ Bozzini, A., (1988). Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. In: Fabriani, G., & Lintas, C. (eds.). Durum - Chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA, pp. 1-16.
- ❖ Bozzini, A., (1988). Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. In: Fabriani, G., & Lintas, C. (eds.). Durum - Chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA, pp. 1-16.
- ❖ Bray E. et Ziegler P. 1989. Biosynthesis and degradation of starch in higher plants. Annual Review of Plant Physiol. And plant mol. Bio. 40: 95-117.
- ❖ Brisson, "Modéliser la réponse des cultures à la contrainte hydrique avec le modèle STICS pour comparer des stratégies et anticiper les changements climatiques". Note technique Agroclim INRA Avignon, pp : 9-18. 2008.
- ❖ Calderini D.F., Reynolds M.P., Slafer G.A., 1999. Genetic gains in wheat yield and associated physiological changes during the twentieth century. In: Satorre, E.H., Slafer, G.A. (Eds.), Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination. The Haworth Press Inc., New York, pp. 351-377.
- ❖ Cauwel B., Verjux N., Bonin G., 2000. Protocole de suivi d'essais comparant des variétés de céréales a paille d'hiver en conduite biologique, diffusion : ITAB Institut Technique de l'Agriculture Biologique

- ❖ Chaves, M.M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C.P.P, Osorio M.L., Carvalho, I., Faria T. & Pinheiro, C., 2002. How plants cope with water stress in the field? photosynthesis and growth. *Annals of Botany* 89.
- ❖ Clement, J.M., (1981). Larousse Agricole. P 115-119.
- ❖ Clément-Grandcourt et Prats. 1971. Les céréales. J.-B. Baillere et fils, Paris, 351 p.
- ❖ Come DG. (1970). Les obstacles à la germination. Ed. Masson, Paris. pp 162.
- ❖ Condon A.G, Richards R.A., Rebetzke G.J., Farquhar GD., 2002. Improving intrinsic water-use efficiency and crop yield. *Crop Science* 42, 122–131.
- ❖ Daur I. 2018. Effects of hydro and hormonal priming on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seed germination under salt and drought stress. *Pakistan Journal of Botany* 50(5) : 1669-1673.
- ❖ Debaeke,P.,Cabelguenne,M.,Casals,M ., Puech, J., 1996. Elaboration du rendement du blé d'hiver en condition de déficit hydrique. Mise au point et test d'un modèle de stimulation de laculture de blé d'hiver en conditions d'alimentation hydrique et azotées variées: Epicphase- blé .*J. Agron.* 16,25- 46.
- ❖ Djebbar R., 2012. Effet du stress hydrique sur le métabolisme cellulaire de plantes de tabac sauvage (*Nicotiana sylvestris*) et d'un mutant mitochondrial (CMSII). Thèse de Doctorat d'état, Université Houari Boumediene, Alger, Algérie, 233 p.
- ❖ Djermoun A (2009). La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie*, 1 :45-53.
- ❖ Egli, D. B. (2017). Seed biology and yield of grain crops. In CABI (Ed.), *Seed biology and yield of grain crops* (2eme Editi). <https://doi.org/10.1079/9781780647708.0000>
- ❖ Egli, D. B. (2017). Seed biology and yield of grain crops. In CABI (Ed.), *Seed biology and yield of grain crops* (2eme Editi). <https://doi.org/10.1079/9781780647708.0000>
- ❖ El Fakhri M, Nsarellah N, Mahboub S, Bidania, et El BouhmadiI K. (2008) Test morphologiques et biochimiques pour la tolérance au stress hydrique chez le blé dur (*Triticumaestivumdesf*). *Al Awamia* : 5-18.
- ❖ El hassani T.A. & Persoons E. 1994. *Agronomie moderne. Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale.* (éd). AUPELF-UREF : 544 p.
- ❖ Feliachi K., Amroune R. et Khaldoune, 2001. Impact de la sécheresse sur la production des cereals cultivées dans le nord de l'Algérie: *céréaliculture N0 35*.ED. ITGC. Algérie.
- ❖ Fellah A., Benmahammed A., Djekoun A.et Bouzerzour H., 2002 :Sélection pour améliorer la tolérance au stress abiotique chez le blé dur (*Triticum drums Desf.*) .Actes de l'IAV Hassan II, (Maroc) 22, 161-170.
- ❖ Fischer, H., Werner, M., Wagenbach, D., Schwager, M., Thorsteinsson, T., Wilhelms, F., Kipfstuhl, J. and Sommer, S. (1998). Little Ice Age clearly recorded in northern Greenland ice cores. *Geophysical Research Letters* 25: doi: 10.1029/98GL01177. issn: 0094-8276.
- ❖ Fourar-Belaifa R, Fleurat-Lessard F (2015). Évaluation expérimentale de la sensibilité aux attaques du charançon du riz de variétés d'espèces céréalières cultivées en Algérie. *Cahiers Agricultures*, 24(5): 283-291.
- ❖ Fredot E, (2005). *Connaissance des aliments.* 1èreédition. Lavoisier. Paris, 397p.
- ❖ Fredot E, (2005). *Connaissance des aliments.* 1èreédition. Lavoisier. Paris, 397p.
- ❖ French, R. J. and Schultz, T.E. 1979. Effects of time of sowing on wheat phenology in South Australia. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, 19:89–96.

- ❖ Garcia Del Moral L F., Rharrabti Y., Villegas., And Royo C.,2003 Evaluation of Grain Yield and Its Components in Durum Wheat under Mediterranean Conditions: An Ontogenic Approach *Crop Sci.* 31,266-274.
- ❖ Gate P., 1995. *Ecophysiologie du blé*. Ed. ITCF. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris, 419 p.
- ❖ Gate P., 1995. *Ecophysiologie du blé*. Ed. ITCF. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris, 419 p.
- ❖ Grieu, P. Maury, P. Debaeke, and S. Ahmad, “Améliorer la tolérance à la sécheresse du tournesol : apports de l’écophysiologie et de la génétique.” *Innov. Agron.*, vol. 4, pp. 91–99, 2008.
- ❖ Grignac P.H., 1981. Rendement et composantes du rendement du blé d’hiver dans l’environnement méditerranéen français. Communication au conseil scientifique. Italie, Pp 185-194.
- ❖ Gull, H., Saeed, B., Khan, A. Z., Latif, U., Ali, K., Rehman, J. and Rehman, S. 2012. Yield and yield contributing traits of wheat cultivars in relation with planting dates and nitrogen fertilization. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 7(6): 386-395.
- ❖ Hacini N, 2014 : Etude de l’interaction Génotype X Environnement et effet de l’origine de quelques cultivars de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sur les aptitudes adaptatives et qualitatives”, Thèses de doctorat, département de biologie, Université BADJI Mokhtar de Annaba.
- ❖ Hajlaoui H., Denden M. et Bouzlama M. 2007. Etude de la variabilité intra spécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) au stade germination. *Tropicicultura* 25(3) : 168-173.
- ❖ Hamla, C. (2016) Caractérisation des gènes de tolérance à la sécheresse chez le blé dur : étude du rôle des déhydrines et des aquaporines. Thèse de doctorat, Université des Frères Mentouri, Constantine, 181 p.
- ❖ Hannachi A , Khelfi S, Souileh N (2016) . Effet de l’irrigation par des eaux usées traitées (EUT) sur une culture de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Revue Agriculture*, 12: 40-46.
- ❖ Hsiao T.C., Acevedo E.,1974 : Plant responses to water deficit. Efficiency and drought resistance. *Edit. Agric. Metropol.* Vol.14,pp 59-84.
- ❖ Hsissou D. (1994). Sélection in vitro et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thèse de doctorat. Univ. Catholique de Louvain.
- ❖ Hsissou D. 1994. Sélection In vitro et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thèse de doctorat. Univ. Catholique de Louvain.
- ❖ Hurd EA. ,1974 : Growth of roots of seven varieties spring wheat at high and low moisture levels. *Edit. Agro. J*, Vol.60,pp 201-205.
- ❖ Ingram J., Bartels D. 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Ann. Rev. Plant Physio. Plant Mol. Biol.* 47 : 377-403.
- ❖ INRA, 2006. Sécheresse et agriculture : réduire la vulnérabilité de l’agriculture à un risque.
- ❖ Jalaluddin, D., Khan, S. U. and Ali, I. 2009. Physiological assessment of drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties under moisture stress conditions. *BIOLOGIA (PAKISTAN)*, 55(1-2): 1-9 Stapper et Harris (1989)

- ❖ Jonard, P., Koller, J., & Vincent, A. (1952). Evolution de la tige et de l'épi chez la variété de blé Vilmorin 27 au cours de la période de reproduction. *Ann. Amélior. Plant*, 2(1), 31- 54.
- ❖ Karamanos, A. J., Economou, G., Papastavrou, A. and Travlos, I. S. 2012. Screening of Greek wheat landraces for their yield responses under arid conditions. *International Journal of Plant Production*, 6 (2): 225–238.
- ❖ Morgan et Condon (1986)
- ❖ Kobata, T., Palta, J. A. and Turner, N.C. 1992. Rate of development of postanthesis water deficit and grain filling of spring wheat. *Crop Sci.*, 32: 1238-1242.
- ❖ Kramer, P.J. & Boyer, J.S., 1995. *Water relations of plants and soils*. Academic Press, California.
- ❖ Lavergne, J. and Briantais, J.M., 1996. Photo system-II heterogeneity. In: Ort DR and Yocum CF (eds). *Oxygenic photosynthesis: The light reactions*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 265-287.
- ❖ Lang, A., (1965). Effects of some internal and external conditions on seed germination. In *Differenzierung und Entwicklung/Differentiation and development* (P 2495-2540). Springer, Berlin, Heidelberg.
- ❖ Larcher W., 1995. *Physiological plant ecology* (3rd edition). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 528 p.
- ❖ Larcher W., 2003. *Physiological Plant Ecology*, 4th Edn. Berlin. Heidelberg. Springer Verlag, 433 p.
- ❖ Larcher, W. (1995). Plant under stress. In, *Physiological Plant Ecology*. 3ème ed. Springer, 321-448.
- ❖ Large, E. C. (1954). Growth stages in cereals. Illustration of the Feekes scale. *Plant pathology*, 3, 128-129.
- ❖ Lepon E., 2006. Effet du déficit hydrique de la vigne sur le fonctionnement du couvert, l'élaboration du rendement et la qualité. INERA Sup Agro, UMR, Laboratoire d'Ecophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux, 4p.
- ❖ Levitt J. (1982). *Responses of plants to environmental stresses*. Academic Press, New York.
- ❖ Levitt J. (1982). *Responses of plants to environmental stresses*. Academic Press, New York.
- ❖ Louali Y(2016). Production de génotypes mutants chez le blé dur (*Triticum durum*) : une source de variabilité génétique pour la tolérance à la sécheresse. Thèse de Doctorat en Biotechnologie et Génomique Végétale, Université des Frères Mentouri, Constantin, 169p.
- ❖ Loue A., 1982(A)- Le potassium et les céréales. Dossier K2O, SCPA n°22, pp140
- ❖ Maachi L. (2005). Etude de comportement d'une céréale à grains sous centre pivot dans la région de Ouargla : Evaluation de l'efficacité de l'irrigation et de la fertilisation azotée, Thèse., Ing, agro, Sah. ITAS, Ouargla, 91p.
- ❖ Madhava Rao K.V., Raghavendra A. S. et Janardhan Reddy K. 2006. Printed in the Netherlands. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer: 1-14 p.
- ❖ Mefti M., A. Abdelguerfi, and A. Chebouti, "Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula* (L .) Gaertn .," vol. 176, pp. 173–176, 2001.
- ❖ Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Hadj Sahraoui, A. (2006). Adaptation de variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride; Sécheresse, 17, 507-513.

- ❖ Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Dehbi, F., Hannachi, A., (2001). Rythme de développement et variabilité de réponses du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux basses températures. Tentatives de sélection pour la tolérance au gel. In Proceeding séminaire sur la valorisation des milieux semi-arides. Oum El Bouaghi, Vol. 23, P 75-80.
- ❖ Mekhlouf, H. Bouzerzour, A. Benmahammed, A. Hadj Sahraoui, And N. Harkati, “Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride,” Sécheresse (Montrouge), vol. 17, no. 4, pp. 507–513, 2006.
- ❖ Mishra, S. P. and Mohapatra, P. K. 1987. Soluble carbohydrates and floret fertility in wheat in relation to population density stress. *Annals of Bot.*, 60: 269-277.
- ❖ Monneveux P., 1991 : Quelles stratégies pour l’amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique chez les céréales d’hiver ? In L’amélioration des plantes pour l’adaptation aux milieux arides (Chalbi N., and Demarly Y. eds.) Aupelfuref,Edit.John libbey Eurotext Montrouge pp 165-186.
- ❖ Monneveux, P., (1992). Croissance et développement du blé. Document interne INRA, P 38.
- ❖ Monneveux, P., Rekika, D., Acevedo, E. and Merah, O. 2006. Effect of drought on leaf gas exchange, carbon isotope discrimination, transpiration efficiency and productivity in field grown durum wheat genotypes. *Plant Science*, 170(4): 867–872.
- ❖ Mortet, A., (2019). Etude du rôle de quelques plantes graminées et légumineuses dans la phytoremédiation des sols pollués par les hydrocarbures (Doctoral dissertation, Université Abdelhamid Ben Badis Mostaganem. P 59-121.
- ❖ Mouellef A. (2010). Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire de Magistère. Université Mentouri. Constantine.
- ❖ Mouellef A. (2010). Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire de Magistère. Université Mentouri. Constantine.
- ❖ Moule C., 1971- Céréales 2. Phytotechnie spéciale. Ed. La maison rustique, Paris, 236p
- ❖ Moule C., 1971- Céréales 2. Phytotechnie spéciale. Ed. La maison rustique, Paris, 236p
- ❖ Munns, R., James, J. A., Xu, B., Athman, A., Conn, S. J., Jordans, C., Byrt, C. S., Hare, R. A., Tyerman, S. D., Tester, M., Plett, D., Gilliam, M. (2012) Wheat grain yield on saline soils is improved by an ancestral Na⁺ transporter gene. *Nature Biotechnology*, 30: 360 - 364.
- ❖ Munns, R., James, J. A., Xu, B., Athman, A., Conn, S. J., Jordans, C., Byrt, C. S., Hare, R. A., Tyerman, S. D., Tester, M., Plett, D., Gilliam, M. (2012) Wheat grain yield on saline soils is improved by an ancestral Na⁺ transporter gene. *Nature Biotechnology*, 30: 360 - 364.
- ❖ Naville M. (2005). La biodiversité des espèces cultivées : Analyse dans le cas du blé, Paris: Université Paris XI, Paris, 20p
- ❖ Naville M. (2005). La biodiversité des espèces cultivées : Analyse dans le cas du blé, Paris: Université Paris XI, Paris, 20p
- ❖ Neffar F. (2013). Analyse de l’expression des gènes impliqués dans la réponse au stress abiotique dans différents génotypes de blé dur (*Triticum durum*) et d’orge (*Hordeum vulgare*) soumis à la sécheresse. Thèse de Doctorat. Université Ferhat Abbas Setif-1

- ❖ Neffar F. (2013). Analyse de l'expression des gènes impliqués dans la réponse au stress abiotique dans différents génotypes de blé dur (*Triticum durum*) et d'orge (*Hordeum vulgare*) soumis à la sécheresse. Thèse de Doctorat. Université Ferhat Abbas Setif-1
- ❖ Ondo, E., (2014). Caractérisation d'une collection de variétés anciennes de blé pour leur réponse à la mycorhization et impact sur la qualité du grain, thèse de doctorat, université de Bourgogne
- ❖ Passioura J.B., 1988 : The role of root system characteristics in the drought resistance of crop plants. In international rice research institute. Drought resistance in crop, with emphasis on rice Vol. 37, pp 449-57.
- ❖ Passioura, 2004 mentionne qu'elle est la résultante de nombreuses modifications phénologiques, morphologiques et biochimique, reflétant différents types d'adaptation (esquive, évitement et tolérance).
- ❖ Pfeiffer W. H., Sayre K. D., Reynolds M. P. (2000). Enhancing genetic grain yield potential and yield stability in durum wheat. *Options méditerranéennes* .40: 83-93p
- ❖ Pfeiffer W. H., Sayre K. D., Reynolds M. P. (2000). Enhancing genetic grain yield potential and yield stability in durum wheat. *Options méditerranéennes* .40: 83-93p
- ❖ Prats J., et Clement G., 1971-Les céréales 2ème édition. J B. aillière et fils, Paris, pp 9-23- 315
- ❖ Prats J., et Clement G., 1971-Les céréales 2ème édition. J B. aillière et fils, Paris, pp 9-23- 315
- ❖ Prats J., et Clement G., 1971-Les céréales 2ème édition. J B. aillière et fils, Paris, pp 9-23- 315
- ❖ Rahal-Bouziane H (2015) . L'orge En Algérie : Passé, Présent Et Importance pour la sécurité alimentaire, face aux nouveaux défis. *Recherche Agronomique*, 27(01) :1-24
- ❖ Ramanjulu S, et Bartels D., 2002. Drought and desiccation induced modulation of gene expression plant cell.25:141-151.
- ❖ Riou, C., 1993. L'eau et la production végétale. *Revue. Sécheresse*. 2, 75- 83.
- ❖ Sayar R., Bchini H., Mosbahi M. & Khemira H., 2010. Response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) growth to salt and drought stresses *Czech J. Genet. Plant Breed*, 46(2) : 54-63.
- ❖ Sayre K.D, Acevedo E., Austin R.B., 1995. Carbon isotope discrimination and grain yield for three bread wheat germplasm groups grown at different levels of water stress. *Field Crops Research* 41, 45-54.
- ❖ Shao H. B., Chu L. Y., Cheruth A. J., Zhao C. X. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C. R. Biologies* 331 :2015-225.
- ❖ Sheoran, I. S. and Saini, H. S. 1996. Drought-induced male sterility in rice: Changes in carbohydrate levels and enzyme activities associated with the inhibition of starch accumulation in pollen. *Sexual Plant Reprod.*, 9(3): 161- 169.
- ❖ Shpiler L and Blum A., 1986. Differential reaction of wheat cultivars to hot environments. *Euphytica*, 35: 483-492.
- ❖ Simon, H., Codaccioni, P., Lecoq, X., (1989). Produire des céréales à pailles, Science Technique et Application, Lavoisier.
- ❖ Soltner D (2012). Les grandes productions végétales. Sciences et Techniques Agricoles, Brousseau, 472p .

- ❖ Soltner, D. (2016). LES GRANDES PRODUCTION VEGETALES (22e EDITIO; science et techniques agricoles, ed.). Science et techniques agricoles.p 76 .
- ❖ Soltner, P., (1988). Les grandes productions végétales, les collections sciences et techniques agricoles. the role of proline accumulations in halophytes planta.
- ❖ Soltner, P., (2005). Les bases de la production végétale : La plante et son amélioration. 4ème Ed. Collection et Techniques Agricoles. P 248.
- ❖ Spagnoletti-Zeuli, T.L. and Qualset, P.O. 1990. Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. *Plant Breeding*, 105: 189 - 202.
- ❖ Steinfart, U., Fukai, S., Trevaskis, B., Glassop, D., Chan, A., & Dreccer, M. F. (2017). Vernalisation and photoperiod sensitivity in wheat: the response of floret fertility and grain number is affected by vernalisation status. *Field Crops Research*, 203, 243-255.
- ❖ Tardieu F., Zivy M. 2006. Amélioration génétique de la tolérance des cultures à la sécheresse. In : Sécheresse et agriculture réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Ed. Expertise scientifique collective, INRA, Paris, 242-257.
- ❖ Triboi E., Planchon J., Magne J., 1985. Déterminisme du poids moyen du grain chez le blé. Effet sur la variation du rendement. *CR Acad. Agri de France* 71 : 871- 886.
- ❖ Turner NC. 1986. Adaptation to water deficit: a changing perspective. *Aust J Plant Physiol*13: 175-
- ❖ Villegas D., Aparicio N., Blanco R. et Royo C., 2001. Biomass accumulation and Main Stem Elongation of Durum Wheat Grown under Mediterranean Conditions. *Annals of Botany*, 88: 617-627.
- ❖ Wang, W., Vinocur, B., Altma, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* (2003) 218: 1–14
- ❖ Waraich, E. A., Ahmed, R., Ali, A. and Ullah, S., 2007. Irrigation and nitrogen effects on grain development and yield in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Bot.*, 39(5): 1663-1672.
- ❖ Wardlaw I.F., 2002. Interaction between drought and chronic high temperature during kernelFilling in wheat in a controlled environment, *Annals of Botany*, 90: 469-476.
- ❖ Yokota A., Takhara K., Akashi K., 2006. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer: 15-39.
- ❖ Yokota A., Takahara K., Akashi, K. (2006). Water stress. In *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer, Dordrecht. pp. 15-39.
- ❖ Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14(6), 415-421.
- ❖ Zair M. (1991) : Contribution a l'étude de l'influence du déficit hydrique sur le développement du blé en zone semi arides. *Revue céréaliculture* n 24, pp 9-12.
- ❖ ZEMOUR Kamel, 2014 : Etude des effets du déficit hydrique sur le processus de germination chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Magistère. Université Abou Bekr Belkaïd –Tlemcen.
- ❖ ZEMOUR Kamel, 2014 : Etude des effets du déficit hydrique sur le processus de germination chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Magistère. Université Abou Bekr Belkaïd –Tlemcen.
- ❖ Zerrad, W., Maataoui, B. S., Hilali, S., , L., DE MOHAMMEDIA, T. and DE SETTAT, T. 2008. Comparative Study of Biochemical Stress Resistance Mechanisms

- [in French: Etude Comparative des Mécanismes Biochimiques De Resistance au Stress]. Lebanese Science Journal, 9(2): 27–36.
- ❖ Zhang, H., Oweis, T., Garabet, S. and Pala, M. 1998. Water use efficiency and transpiration efficiency of wheat under rainfed and irrigation conditions in a Mediterranean environment. Plant Soil, 201: 295–305.

ANNEXE

Tableau n° 03 : Variation du taux de germination, des différentes variétés en fonction du temps et niveau de régime hydrique appliqué (T1, T2, T3)

variétés	Traitement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
core	T1 (100% CR)	52	95	98	98	99	99	99	99	99	99
	T2 (70% CR)	47	95	96	98	98	98	98	98	98	98
	T3 (40% CR)	15	94	95	96	96	96	96	96	96	96
mimmo	T1 (100% CR)	42	94	99	99	99	99	99	99	99	99
	T2 (70% CR)	34	93	99	99	99	99	99	99	99	99
	T3 (40% CR)	21	91	97	98	98	98	98	98	98	98
ciccio	T1 (100% CR)	51	84	93	92	95	95	95	95	95	95
	T2 (70% CR)	46	83	92	92	92	92	92	92	92	92
	T3 (40% CR)	28	81	89	91	91	91	91	91	91	91
anco marzio	T1 (100% CR)	50	91	100	100	100	100	100	100	100	100
	T2 (70% CR)	48	96	98	100	100	100	100	100	100	100
	T3 (40% CR)	38	98	98	98	98	98	98	98	98	98
ovidio	T1 (100% CR)	47	94	98	99	99	99	99	99	99	99
	T2 (70% CR)	43	94	98	99	99	99	99	99	99	99
	T3 (40% CR)	22	95	96	97	97	97	97	97	97	97
emillio lippido	T1 (100% CR)	49	95	99	99	99	99	99	99	99	99
	T2 (70% CR)	33	90	98	99	99	99	99	99	99	99
	T3 (40% CR)	28	91	95	97	97	97	97	97	97	97

Tableau n° 04 : Nombre moyen de racines formées par les géotypes en fonction des niveaux de régime hydrique appliqué (T1, T2, T3)

variété	T1 (100% CR)	T2 (70% CR)	T3 (40% CR)
core	7	6	6
mimmo	8	7	6
ciccio	8	7	6
anco marzio	7	7	6
ovidio	8	6	5
emillio lippido	7	7	5

Tableau N° 05 : Variation de la moyenne de la hauteur de la plantule chez cinq variétés de blé dur en fonction des niveaux de régime hydrique appliqué (T1, T2, T3)

variétés	T1 (100% CR)	T2 (70% CR)	T3 (40% CR)
core	41,5	35,5	25
ciccio	45	35	23
mimmo	40,5	33,5	24
ovidio	46	38	29,5
emillio lippido	42	35	24,7
anco marzio	39	32	22

Tableau N° 06 : Variation de la moyenne de biomasse aérienne chez cinq variétés de blé dur en fonction des niveaux de régime hydrique appliqué (T1, T2, T3)

variété	T1 (100% CR)	T2 (70% CR)	T3 (40% CR)
core	3,56	2,62	0,95
ciccio	4,04	3,34	1,01
ovidio	3,34	2,61	0,94
emilio lippido	3,65	2,48	0,72
mimmo	3,68	2,65	1
anco marzio	4,25	3,67	1,2

Tableau N° 07 : Longueur moyenne de l'épi à la maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.

variété	longueur de épi(cm) 100%	longueur de épi(cm) 70%	longueur de épi(cm) 40%
core	10,8	9	7,05
mimmo	13,5	12,1	4,5
ciccio	13,1	10,1	7,75
anco marzio	13,15	11,1	8,25
ovidio	14,15	10,95	9,5
emillio lippido	11,8	11	9,85

Tableau N° 08 : Longueur moyenne de paille à la maturité chez six géotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.

variété	longueur paille(cm) 100%	longueur paille(cm) 70%	longueur paille(cm) 40%
core	45	33,25	23,1
mimmo	41	31,6	13,5
ciccio	45,5	34,5	16
anco marzio	48,85	39	20,85
ovidio	53	39,25	28,5
emillio lippido	41,35	28,75	15,5

Tableau N° 09 : Longueur moyenne de col de l'épi (cm) à la maturité chez six géotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.

variété	100%	70%	40%
core	7	3,05	2,55
mimmo	8,35	5,75	2,75
ciccio	9	3,3	2,3
anco marzio	11,75	4,1	2,95
ovidio	6,9	3	1,85
emillio lippido	5,8	5,15	3,4

Tableau N° 10 : Longueur moyenne de hauteur de plante (cm) à la maturité chez six géotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.

variété	T1 (100% CR)	T2 (70% CR)	T3(40% CR)
core	63	53	36,5
mimmo	58,75	52,85	37,5
ciccio	67,5	45,15	26,25
anco marzio	72,75	64,25	32,5
ovidio	71,5	55,75	39,85
emillio lippido	59,75	45,25	39,25

Tableau n° 11 : Longueur moyenne de col de l'épi (cm) à la maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.

Variété	T1 (100% CR)	T2 (70% CR)	T3(40% CR)
Core	7	3,85	2,55
mimmo	8,35	5,75	2,75
ciccio	9	6,3	2,3
anco marzio	11,75	6,1	2,95
ovidio	6,9	3,9	1,85
emillio lippido	5,8	5,15	3,4

Tableau n° 12 : Valeurs moyenne de longueur (long/cm), largeur(larg/cm) et surface de feuille (Surf/cm²) à la maturité chez six génotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.

Traitement	T1 (100% CR)			T2 (70% CR)			T3 (40% CR)		
blé dure	Long	Larg	Surf	Lon	Lar	Surf	Lon	Lar	Surf
emillio lipido	18	0,75	8,19	12,6	0,8	6,1	7,15	0,4	2,17
Mimmo	14	1	8,5	10,7	1,1	7,14	8,3	0,5	2,51
Core	10,3	0,7	6,43	9,6	0,7	4,7	7,2	0,65	2,8
Ciccio	12,1	0,9	6,61	10,6	0,8	5,14	8,6	0,7	3,13
Ovidio	17	1,15	9,63	9,7	0,8	4,7	7,3	0,4	2,13
anco marzio	15,6	1	9,47	11,9	1,1	7,9	9,1	0,5	2,76

Tableau n° 13 : valeurs moyenne du nombre de graine par épi à la maturité chez six géotypes de blé dur soumis à différents niveaux de traitement hydrique.

Variété	T1 (100% CR)	T2 (70% CR)	T3(40% CR)
core	18	10	4
ciccio	31	19	7
mimmo	22	13	5
ovidio	26	18	7
emillio lippido	22	11	6
anco marzio	34	21	8