

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Agronomiques
Spécialité /Option : Phytopharmacie et protection des végétaux
Département : Ecologie et Génie de l'Environnement

**Etude de paramètres morphologiques, physiologiques et biochimique due
aux stress hydrique chez trois variété du blé dur (*Triticum durum Desf*)**

Présenté par :

Benkrinah Khadija

Hafiani Asya

Saidi Sarra

Devant le jury :

Présidente : Chahat N	(MCB)	Université de Guelma
Examinatrice : Laouar H	(MCB)	Université de Guelma
Encadreur : Benblekacem S	(MAA)	Université de Guelma

Juin 2018

REMERCIEMENTS

*Toute notre estime et nos remerciements vont à Madame **BENBELKACEM SOFIA**, directrice de notre mémoire, pour son aide scientifique, pour sa constante disponibilité, ces conseils et sa patience et pour l'attention avec laquelle elle a dirigé ce travail malgré ses nombreuses occupations scientifiques et administratives. Nous sommes très honorés par son accompagnement et son aide.*

Nos remerciements s'adressent également A :

*Madame **Chahat N.** Maître de conférences à l'Université du 08 mai 1945 de nous honorer de présider le jury et de juger ce travail.*

*Madame **Laouar H.** Maître de conférences à l'Université du 08 mai 1945 qui nous fait l'honneur d'examiner ce mémoire.*

*Nous remercions également Madame **Nadjeh**, responsable de l'Animalerie et de la Serre de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et de la Terre et de l'Université du 08 mai 1945, pour sa disponibilité durant ce travail.*

Ainsi que les responsables des laboratoires pour leur collaboration.

*Un remerciement particulier à madame **Khenaka K.** enseignante à l'Université du 08 mai 1945 pour son aide précieuse dans le traitement statistique des données.*

Un grand merci à nos amis, pour leur complicité et pour leur amitié.

Enfin, une profonde reconnaissance à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail mais qui ne sont pas cités ici, nous les remercions tous, très chaleureusement.

"A man can only attain knowledge with the help of those who possess it. This must be understood from the very beginning. One must learn from him who knows."

George Gurdjieff.



Dédicaces

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu le garde dans son vaste paradis, mon père YUCEF BENKRINAH.


A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman ELATRA KRIBS que j'adore.

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, mon frère ABDALLAH, mes sœurs NORA, MOUFIDA et SELMA, je dédie ce travail avec un grand plaisir pour tous leurs conseils, aides, et encouragements.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude, et mes trinômes ASYA et SARRA

Mes amies : ASMA, NADJIBA, ASSIA, AMANI, AICHA

KHADIDJA



Dédicace

Avec beaucoup de joie, et toute mon affection, je dédie ce modeste travail à Ma mère, qui avec le peu de moyens qu'elle a, mais beaucoup d'affection, est arrivée à me donner tout le bonheur du monde et m'a appris ce qu'est la vie.

A mon cher père qui m'a donnée l'espoir de vie.

A mes frères : SAMIR, SALAH EDDINE et MARWANE. Dont je n'ai pu jusqu'à présent oublier les conseils. A ma sœur : NADA

A ma deuxième moitié "TAREK", mon espoir de vie que j'aime. Je n'oublierai jamais son soutien durant la réalisation de ce travail. Je lui serai toujours reconnaissante.

Et je n'oublie pas les membres de ma famille, HAFIANI, et ZEKRAOUI chacun par son nom.

A mes trinômes : AMINA, SARRA ;

Mes amies ASMA, SARA, Wafa, MARWA.

ASYA

. Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents .Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet : mon marie HASSEN,

A mes anges ALEA ERRAHMEN et BARAA ABDERRAHMEN et bien sur A mes frères YUCEF et sa petite famille, MOULOUUD et sa femme KAOUTHER, HOUCINE et SAÏD, et ma chère sœur FATNA.

A toute la famille SAIDI et BENHAMAHOUM, et tout mes amis, A mon trinôme ASYA et AMINA.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

SARRA

Sommaire :

Résumé	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction	1
Chapitre I : Revue bibliographique	
Généralités sur le blé	3
I.1. Historique	3
I.2 Origine géographique	3
I.3. L'importance du blé dur dans le monde et en Algérie	3
I.3.1. Dans le monde	3
I.3.2. En Alger	4
I.4. Variétés et catégories de blé	4
I.4.1.Les blés tendres	5
I.4.2.Les blés durs	5
I.4.3.Les blés mitadins	5
I.5. Les variétés de blé en Algérie	5
I.6. Caractéristiques du blé	6
I.6.1. Caractères botanique	6
I.6.2.Classification botanique	7
I.7. Morphologie du blé	7
I.7.1. La graine	7
I.7.2.L'appareil végétatif	8
I.8. Physiologie et cycle de développement du blé	9
I.8.1. Période végétatif	9
I.8.2. La période reproductrice	10
1.9 Exigences de blé dur	11
1.9.1 Exigences édaphiques	11
1.9.2 Exigences climatiques	11
1.9.3 Exigences en eau	12
II. Stress hydrique et les végétaux	12
II.1.Les stress	12

II.1.1. Définition	12
II.1.2. Catégories de stress et conséquences	13
II.1.2.1. Les contraintes abiotiques et leurs effets sur la plante	13
II.1.2.2. Les type de stress abiotique	13
II.1.2.3. Définition de stress hydrique	14
II.3. Effet du stress hydrique sur les plantes	14
II.3. 1. Influence sur la physiologie et la biochimie de la plante	15
II. 3. 2. Influence sur la morphologie de la plante	17
II.4. Stratégies d'adaptation des plantes au stress hydrique	18
II.4.1. La stratégie d'esquive	18
II.4.2. La stratégie d'évitement	18
II.4.2.1. Mécanismes morphologiques	18
II.4.2.2. Mécanismes physiologiques	19
II.4.2.3. La stratégie de tolérance	20
Chapitre II : Matériel et Méthodes	
1. Matériel végétal	22
2. Conduite et Organisation des essais	23
3. Expérimentation 01 :(étude du stress hydrique sous serre)	23
3.1. Matériel utilisé	24
3.2. Etude statistiques	24
3.3. Mise en place du positif expérimental	25
3.4. Application du stress	25
3.5. Paramètres étudiés	26
3.5.1. Paramètres morphologiques	26
3.5.1.1 Etude du développement morphologique foliaire et racinaire	26
3.5.1.2. La surface foliaire SF « cm ² »	26
3.5.2. Paramètres physiologiques	27
3.5.2.1. Teneur en chlorophylle	27
3.5.3. Paramètres biochimiques	27
3.5.3.1. Dosage des sucres solubles (Suc) « µg/100mg MF »	27

CHAPITRE III : Résultats et Discussion

1-Paramètres morphologique	29
1- 1-Longueur des racines	29
1-2- Hauteur des plantes	31
1-3- Surface foliaire	33
Discussion	35
2- Paramètre physiologique	35
Chlorophylle (a+b)	35
Discussion	37
3- Paramètre biochimique	38
Le sucre	38
Discussion	40
Discussion générale	41
Conclusion	42
Références	43

Liste des abréviations :

Chl a: Chlorophylle a

Chl b: chlorophylle b

Chl a+b: chlorophylle a+b

FAO: Food and Agriculture Organization.

G : GTA

ITGC: Institut Technique des Grandes Cultures

Mt : million de tonne

Mf : matière fraîche

R : Répétition

SF : La surface foliaire

S : Simeto

V : Vitron

Suc : sucre

Liste des figures :

N°	Titre	Pages
01	La production mondiale du blé dur entre 2016-2017	04
02	Grain de blé (Surget et Barron, 2005).	08
03	Stades phénologiques du blé(ITGC)	11
04	Les 3 variétés de blé	22
05	Spectrophotomètre	24
06	Balance	24
07	Mortier	24
08	Etuve	24
09	Hotte	24
10	Plante blé dur (<i>Triticum durum desf</i>) variétés Simeto, GTA, et Vitron	26
11	La longueur des racines chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique.	30
12	comparaison statistique de la longueur des racines chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique.	31
13	Hauteur des plantes chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique	32
14	comparaison statistique des hauteurs des plantes chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique	33
15	La surface foliaire chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique.	34
16	comparaison statistique de la surface foliaire chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique.	34
17	Variation de la teneur en chlorophylle chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique	37
18	comparaison statistique de la teneur en chlorophylle chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique.	37
19	Variation de la teneur des sucres solubles chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique	39

Liste des tableaux :

N°	Titre	Pages
01	Classification botanique de blé dur.	07
02	Caractéristique de chaque variété (Centre national de contrôle et de certification des semences et plants 2015)	22
03	Caractéristique agronomique et culturale de la variété SIMETO (Centre national de contrôle et de certification des semences et plants 2015)	22
04	Les caractéristiques agronomiques de la variété VITRON (Centre national de contrôle et de certification des semences et plants 2015)	23
05	Les caractéristiques agronomiques de la variété GTA (Centre national de contrôle et de certification des semences et plants 2015)	23
06	Plan experimental	26

Résumé :

L'objectif de ce travail est axé sur l'étude de l'influence des stress abiotiques (stress hydrique) sur les comportements de quelques variétés de blé dur (*T.durum.Desf*) : GTA , Siméto et Vitron .

Une durée d'expérience de 65 jours, où différents paramètres d'ordre morphologiques, physiologiques et biochimiques on était étudié sous quatre niveaux d'irrigation (100, 75, 50 et 25 %).Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique impliqué a augmenté le taux des sucres totaux dans les feuilles (paramètre biochimique) selon les niveaux d'irrigation ; a provoqué une diminution importante en chlorophylles (a et b) des feuilles (paramètre physiologique).

Ainsi que des modifications morphologiques comme la diminution de la surface foliaire et de la hauteur des plantes stressées, ainsi que l'augmentation importante de la longueur des racines chez ces dernières.

Les résultats montrent les mêmes mécanismes de réponse au stress hydrique chez les trois variétés mais à des degrés différents où la plus sensible est la variété vitron.

Mots clés : Stress hydrique,sensibilité, blé dur, morphologie, physiologie, biochimie

ملخص :

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير الإجهاد المائي وتقلب الاستجابة في 3 أنواع من القمح الصلب (*T. Durum.Desf*) : GTA و Simeto و Vitron .

تجربة مدتها 65 يومًا ، حيث تمت دراسة مختلف المعايير المورفولوجية والفيزيولوجية والبيوكيميائية تحت أربعة مستويات للري (100 و 75 و 50 و 25٪). أظهرت النتائج أن الإجهاد المائي أدى إلى زيادة تراكم نسبة السكر في الورقة (معياري بيوكيميائي) وفقاً لمستويات الري . كما تسبب في انخفاض كبير في نسبة اليخضور في الأوراق (أ و ب) (معياري فيزيولوجي). وكذلك التغيرات المورفولوجية كانخفاض مساحة الأوراق وارتفاع النباتات المجهد ، وكذلك الزيادة الكبيرة في طول الجذور لهذه النباتات.

تظهر النتائج نفس آليات الاستجابة للإجهاد المائي في الأصناف الثلاثة ولكن بدرجات مختلفة حيث أكثرها حساسية هو نوع Vitron .

الكلمات المفتاحية :

الاجهاد المائي,حساسية قمح صلب, مورفولوجيا, فيزيولوجيا, بيوكيميا

Abstract:

The objective of this work is to study the effect of water stress and the variability of the response in 3 varieties of durum wheat (*T. durum* .Desf): Simeto, GTA and Vitron.

An experimental duration of 65 days, where different morphological, physiological and biochemical parameters were studied under four levels of irrigation (100, 75, 50 and 25%), showed that water stress increased total leaf sugars (biochemical parameter) according to irrigation levels; caused a significant decrease in chlorophyll (a and b) leaves (physiological parameter). As well as morphological changes such as the decrease in leaf area and height of stressed plants, as well as the significant increase in the roots length of these plants.

The results show the same mechanisms of response to water stress in the three varieties but in different degrees where the most sensitive is the vitron variety.

Key words: water Stress, tolerance, durum wheat, morphology, physiology, Biochemistry,

Introduction :

Les céréales occupent à l'échelle mondiale, une place primordiale dans les programmes de recherche agricoles. Elles sont les principales sources de la nutrition humaine et animale dans le monde.

Le blé dur constitue un élément essentiel dans la structure de la consommation des céréales. Il est, dans la civilisation occidentale et au Moyen-Orient, un composant central de l'alimentation humaine. Il contribue énormément aux apports caloriques et protéiques des populations de plusieurs pays. (Slama *et al.*, 2005).

Dans les milieux arides et semi-arides, les stress abiotiques imposent des limites au développement de la plante en affectant leur croissance et leur rendement. La résistance à ces stress est dépendante du génotype qui développe des stratégies d'adaptation pour répondre à ces changements en ajustant le système métabolique, par des mécanismes morphologiques, physiologiques, et/ou biochimiques pour éviter ou tolérer la contrainte (Neffar, 2013).

Les stress abiotiques sont des processus impliqués dans l'élaboration du rendement d'une culture, ils sont influencés par deux types de facteurs, à savoir, les facteurs génétiques (intrinsèque à la plante) et les facteurs environnementaux. Ces contraintes environnementales peuvent être divisées principalement en trois groupes selon leur nature: la composition en éléments minéraux du sol (stress salin), les contenus hydrique du sol et de l'air (stress hydrique), et les chocs thermiques (Chahbar, 2008). Les stress hydrique et thermique (gel et hautes températures) affectent le développement de la céréale tout au long de son cycle (Makhlouf, 2006). La sécheresse est considérée comme le facteur le plus important limitant la production des céréales (Slama *et al.*, 2005). Il est à signaler que la production des céréales dépend des conditions climatiques, des caractéristiques morphologiques, phénologiques et agronomiques du génotype et, en grande partie, des interactions génotypes- environnement (Slama *et al.*, 2005).

L'objectif de ce travail est axé sur l'étude de l'influence des stress abiotiques (stress hydrique) sur les comportements de quelques variétés de blé dur (*T.Durum*) et les différents mécanismes de tolérance et d'adaptation morpho-physiologiques et biochimiques que déclenchent ces stress.

L'étude comptera trois chapitres essentiels qui seront précédés par une introduction et se terminant par une conclusion.

Le 1er chapitre, sera consacré à une revue bibliographique pour une présentation de l'espèce étudiée et l'influence des contraintes abiotiques sur son développement, alors que le 2ème chapitre, s'intéresse au matériel et aux méthodes utilisées afin de cerner les paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques, tandis que le 3ème chapitre, traitera les principaux résultats obtenus.

I-Généralités sur le blé :**I.1. Historique :**

Le blé dur est probablement apparu dès le Néolithique à partir de *dicoccum*. On le trouve dès le 7^e millénaire av. J.-C. à Can Hasan III (Turquie) et Tell Aswad (Syrie), où subsistent à ce jour des blés sauvages, puis en proportions croissantes à la fin du néolithique, et au 5^e millénaire en Grèce et dans l'ouest de la Méditerranée. (Erroux, 1961) Il a été domestiqué au Proche-Orient à partir d'une graminée sauvage il y a environ 10000 ans. Les premières cultures apparaissent au VIII^e siècle av. J.-C., en Mésopotamie et dans les vallées du Tigre et de l'Euphrate (aujourd'hui l'Irak), dans la région du "croissant fertile" (actuels Liban, Syrie, Sud de la Turquie). (Boutigny2007)

A la fin du XVIII^e siècle, le blé a été exporté en Amérique du Nord par les anglais et est rapidement adopté par les civilisations présentes comme matière première de base pour la fabrication du pain, (Monneveux, 1991).

Dans les premiers temps, le blé semble avoir été consommé cru puis grillé ou cuit sous forme de bouillie puis de galettes sèches élaborées à partir des grains simplement broyés entre deux pierres. Le blé s'impose par la suite comme l'aliment essentiel. Il se présente sous forme d'aliments variés, le pain, la semoule, les pâtes, les biscuits... A travers les siècles et les générations, le grain de blé a conservé toutes ses valeurs et reste un élément essentiel à notre alimentation (Hamel, 2010). Aujourd'hui le blé fait partie de notre quotidien, présent dans de nombreuses compositions (Zeitoune, 2011)

I.2 Origine géographique :

Selon (Feldman ,2001) ; le blé dur provient des territoires de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran. D'après (Lev-Yadum et al 2000) ; l'aire géographique du blé est le Tigre et L'Euphrate (aujourd'hui l'Iraq), qui s'est étendue jusqu'au Nil en Egypte où des variétés de blé ont été découvertes dans les temples égyptiens.

I.3. L'importance du blé dur dans le monde et en Algérie :**I.3.1. Dans le monde :**

Le blé est cultivé largement dans le monde sous des conditions climatiques diverses, et a été la denrée alimentaire de base pour la plupart des civilisations en Europe, Asie et Afrique Du Nord pendant 8 000 ans.

Dans le monde, les céréales constituent la composante de base de l'agriculture. Selon le Centre international du commerce en 2017, la production mondiale du blé a atteint 735 Mt contre 752 Mt en 2016. Les perspectives pour la production mondiale de blé en

2017-2018 restent la plupart du temps bonnes avec une légère baisse de 2,7 % par rapport à l'année précédente (FAO, 2017)

I.3.2. En Algérie :

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. (Djermoun, 2009).

Le blé constitue une espèce de céréale particulièrement importante, occupant une place centrale par rapport aux autres céréales. Cette importance réside dans le fait qu'il participe d'une façon primordiale et diversifiée à l'alimentation humaine, et à l'emploi qu'il génère due à la superficie qu'il occupe en tant que principale culture céréalière. Les informations issues du ministère de l'agriculture montrent que les superficies emblavées et récoltées en blé dur ont connu une augmentation de 2,4 % et 10,05% respectivement en 2014-2015 comparativement à la campagne écoulée et la moyenne de production de blé dur avait augmenté de 61% au cours de la période 2009-2015 (21 millions de quintaux) par rapport en 2000-2008 (13,5 millions de quintaux).

La **figure 01** explique l'importance mondiale du blé selon la production par pays.

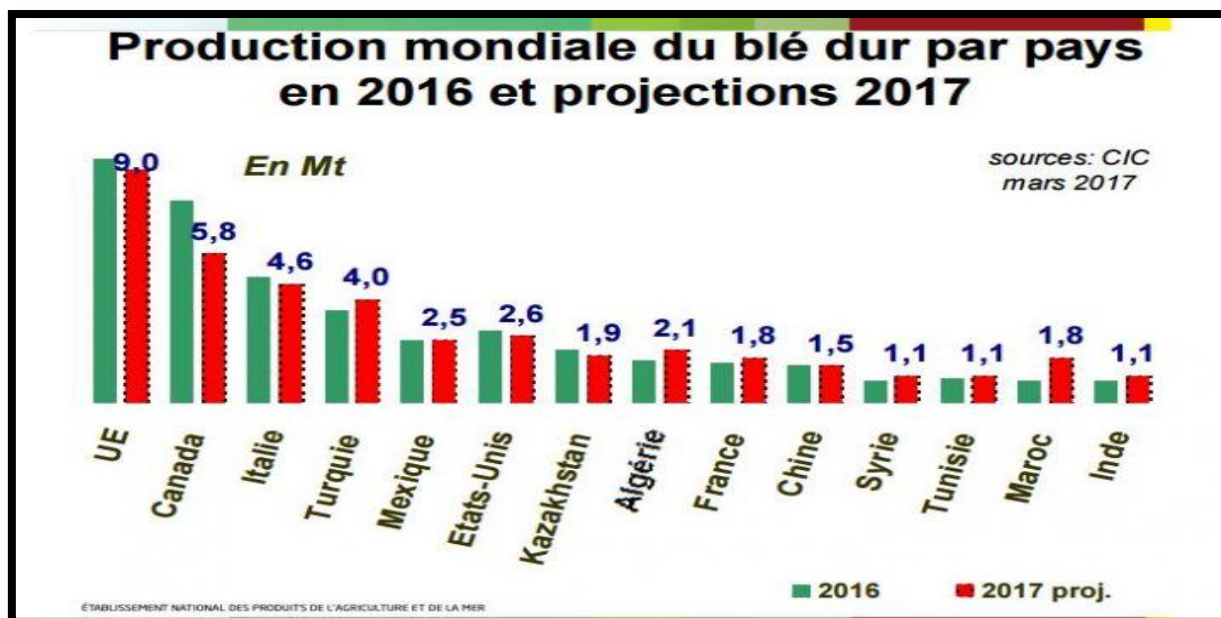


Fig n°1 : La production mondiale du blé dur entre 2016-2017

I.4. Variétés et catégories de blé :

Il existe un large éventail de variétés de blé. Ce sont les cultivateurs et les producteurs qui essaient d'adapter au mieux ces variétés en fonction de la nature du sol et du climat de la région, afin d'obtenir le meilleur rendement possible. Toutes les différentes variétés de blé peuvent être classées en trois grandes catégories :

I.4.1. Les blés tendres :

Les grains des blés sont arrondis, les enveloppes sont épaisses, sans transparence. Ils se prêtent particulièrement bien à la mouture ; en effet, lors du passage entre les cylindres, les enveloppes s'aplatissent et s'ouvrent sans se broyer, libérant l'amande et donnant une très forte proportion de son. Les blés tendres permettent d'obtenir une farine de bonne qualité, contenant environ 8 à 10 % de gluten, ayant de bonnes aptitudes pour la panification.

I.4.2. Les blés durs :

Cette catégorie de blé est cultivée dans les pays de climat chaud et sec. Les grains de blés durs sont allongés, souvent même pointus, les enveloppes sont assez minces et légèrement translucides. Ils donnent moins de son que les blés tendres et la farine obtenue, bien que contenant plus de gluten (12 à 14 %), se prêtent moins bien à la panification.

I.4.3. Les blés mitadins :

Ces blés ont des caractéristiques et des qualités intermédiaires entre les blés tendres et les blés durs. Les grains sont plus plats que les grains de blé tendre et moins longs que ceux du blé dur. Les enveloppes assez résistantes sont d'une épaisseur moyenne. Contenant du gluten de très bonne qualité, les blés mitadins sont parfois employés comme Des blés de force, mélangés à des blés tendres, ce qui donne des farines de très bonne qualité pour la panification (Abecassis, 1993).

I.5. Les variétés de blé en Algérie :

Malgré la grande richesse des ressources génétiques, les variétés connues actuellement présentent un spectre assez réduit au regard de la diversité des conditions agro climatiques de l'Algérie pour plusieurs raisons, dont quelques unes sont liées à une méthodologie

d'amélioration empirique, d'autres à l'introduction précipitée de matériel végétal présentant des caractéristiques d'adaptation spécifique (Ait kaki, 2007).

L'amélioration génétique du blé dur des zones sèches reste basée sur la recherche d'une meilleure tolérance aux stress abiotiques, pour adapter la plante à la variabilité du milieu de production, ce qui demande une appréciation et une connaissance des facteurs de l'environnement qui sont en interaction avec le génotype.

On distingue alors trois types de variétés :

- Les variétés maintenant des rendements élevés dans une large gamme d'environnement.
- Les variétés assurant une production en grain relativement élevée dans les zones défavorables.
- Celles ne donnant de bons rendements qu'en conditions très favorables (variétés à haute productivité).

La plupart des travaux effectués sur le blé dur dans le cadre de l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique, se sont donnés pendant longtemps pour objectif primordial l'augmentation de la productivité, une approche basée sur les performances agronomiques. 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, morphophysiologiques et biochimiques liés au rendement en condition de stress hydrique.

Des croisements réalisés entre les lignées à améliorer et celles supposées apporter un niveau élevé de tolérance à la sécheresse permet de repérer dans la population ségréante, les individus ayant conservé un niveau de résistance intéressant. Par ailleurs, l'efficacité de la sélection pour un caractère donné, dans une population en ségrégation dépend du degré de la variabilité génétique existante à l'intérieur de la population pour le caractère en question et de l'importance des effets de l'environnement dans le lieu où la sélection est pratiquée. (Zahour, 1992). Pour cela, il est nécessaire de disposer de critères simples et fiables étroitement corrélés à la tolérance à la sécheresse et susceptibles d'être appliqués à un grand nombre d'individus.

I.6. Caractéristiques du blé :

I.6.1. Caractères botanique :

Le blé appartient au groupe de grandes espèces du genre *Triticum*, espèces que l'on peut classer d'après le nombre de leurs chromosomes.

A) Groupe possédant $2n=14$ chromosomes

-*Triticum monococcum*, ou Engrain.

B) Groupe possédant $2n=28$ chromosomes (tétraploïdes)

-*Triticum diccoides* ou amidonnier sauvage.

-*Triticum dicoccum* ou amidonnier

-*Triticum turgidum* ou blé poulard.

-*Triticum polonicum* ou blé de pologne

-*Triticum durum* ou blé dur (Clément et Parts, 1970).

C) Groupe possédant $2n =42$ chromosomes (héxaploïdes).

-*Triticum spelta* ou épautre, espèce cultivée depuis l'âge du bronze, qui ne subsiste plus qu'en Suisse, Russie, Iran, et en Belgique.

-*Triticum vulgare* ou blé tendre ou froment.

-*Triticum compactum* ou blé hérisson (Clément et Parts, 1970).

I.6.2. Classification botanique :

Selon (Feillet, 2000) ; le blé dur est une plante annuelle monocotylédone qui appartient à la famille des graminées dont la classification botanique est dans le tableau suivant :

Tableau n°1 : Classification botanique de blé dur. (Feillet, 2000)

Règne	Plantae
Sous-règne	Cormophyte
Embranchement	Spermaphytes
Sous embranchement	Angiospermes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Comméliniflorales
Sous ordre	Poales
Famille	Graminées
Tribu	Triticées
Genre	<i>Triticum</i> sp
Espèce	<i>DurumWheat</i>

I.7. Morphologie du blé :

L'appareil reproducteur des graminées est spécifique. Il est constitué par des fleurs nombreuses, petites et peu visibles qui ont, au lieu de pétales, des enveloppes membranaires non colorées. Elles sont groupées en épis situés à l'extrémité des chaumes. Après fécondation, l'ovaire de ces fleurs se transforme en une semence ou "grain" qui a la particularité d'être à la fois un fruit et une graine. Ils se sont soudés l'un à l'autre au cours du développement. On appelle cette semence particulière un caryopse (Mosiniak *et al.*, 2006).

I.7.1. La graine :

Le grain de blé (caryopse) montre une face dorsale (arrière) et une face ventrale (avant), un sommet et une base (**figure 02**). La face dorsale est creusée d'un profond sillon qui s'allonge du sommet à la base. Le caryopse est surmonté d'une brosse, l'embryon est situé à la base de surface dorsale (Soltaner, 1988).

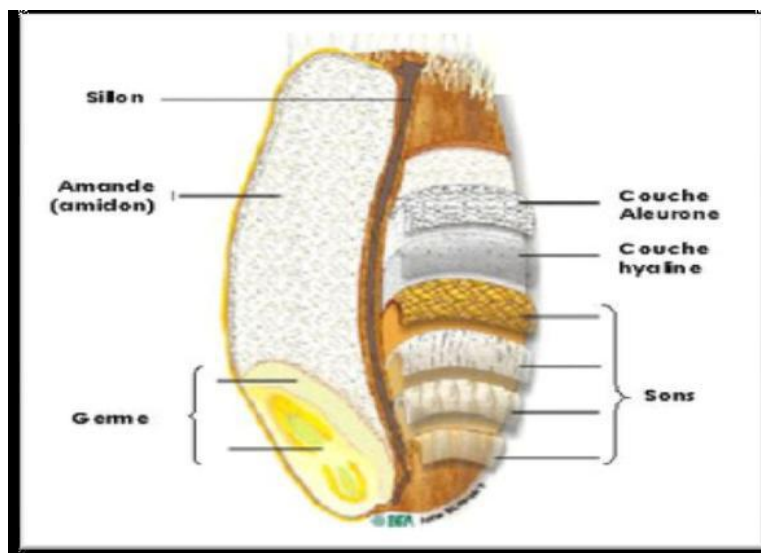


Fig n° 02: Grain de blé (Surget et Barron, 2005).

- ❖ **Le germe (3%)** : Composé d'un embryon (lui-même formé de la coléoptile, de la gemmule, de la radicule, le coléorhize et de la coiffe) et du scutellum (Feillet, 2000).
- ❖ **L'albumen (80-85%)** : Constitué de l'albumen amylicé et de la couche à aleurone.
- ❖ **Les enveloppes de graine et fruit (13-17%)** : Formé de six tissus différents ; épiderme du nucelle croisées, mésocarpe et épicarpe.

I .7.2.L'appareil végétatif :**❖ L'appareil radulaire :**

Il est de type faxicule, deux systèmes se forment au cours du développement, un système primaire et un système secondaire.

Les primaires sont des racines adventives (naissent sur la tige) qui assureront la nutrition et le développement de la plante (Belaid, 1987). Le système secondaire (racines coronaire) apparait au moment ou la plante se ramifie (tallage) les racines portent des nœuds les plus bas et presque toutes aux mêmes niveaux (plateau de tallage);elles forment une touffe dense. En principe chaque talle donne naissance à un chaume et à une inflorescence (Belaid, 1987).

❖ Le système aérien :

La tige est cylindrique, séparée par des nœuds, composée d'une tige principale appelée le maître brin et de tiges secondaires appelées talles qui naissent à la base de la plante (Belaid, 1996)

Les feuilles sont à nervures parallèles et formées en deux parties : La partie inférieure et la partie supérieure (Gate, 1995).

❖ Appareil reproducteur :

L'épi est issu du bourgeon du plateau de tallage des la fin de tallage, il commence à s'élever dans la tige à mesure que celle ci s'allonge, ce qui constitue la montaison. Lorsque le développement de la tige est terminé. L'épi apparait enveloppé dans la dernière feuille et après quelques jours on peut étudier sa structure en détail, c'est l'épiaison (Parts *et al.*, 1971).

L'épi comporte une tige pleine ou rachis coudée et étranglée à intervalles régulière et portant alternativement à droite et à gauche un épillet. L'épillet ne comporte pas de pédoncule, il est attaché directement sur le rachis .Les épillets se recouvrent étroitement les uns des autres-chaque épillet contient plusieurs fleurs plus au moins complètement développées, de la même façon, on trouve encore deux ou trois fleurs complètement développées (Parts *et al.*, 1971).

La fleur est très petite et sans éclat visible, la fécondation à lieu avant l'épanouissement de la fleur, c'est -à-dire avant l'apparition des anthères à l'extérieur. Le blé est une plante autogame. Ce qui a des conséquences très importantes dans la pratique de la sélection, du croisement et de reproduction de cette dernière. En effet, un blé, en s'autofécondant, gardera ses caractères génétiques d'une manière remarquablement constante. Après la fécondation, la

fleur donne naissance à un fruit unique, le caryopse ou grain, qui comporte un embryon sur les réserves (Parts *et al.*, 1971).

I.8. Physiologie et cycle de développement du blé :

Qu'elles soient vivaces ou annuelles toutes les Poacées ont un rythme de végétation et de fructification annuel. Dans ce cycle annuel une série d'étapes séparées par des stades repères, permettent de diviser en deux périodes la vie des céréales: la période végétatif et la période reproductrice (Zeitoune, 2011). Les différentes étapes du cycle de développement du blé sont regroupés dans la (**figure 03**)

I.8.1. Période végétatif :

Elle se caractérise par un développement strictement herbacé et s'étend du semis jusqu'à fin tallage, et se divise en deux phases:

❖ La phase germination – levée :

Les conditions requises étant réalisées (température, humidité, etc.), le grain de blé va germer. Quelques jours plus tard apparaît la première manifestation importante de la jeune plante en développement, une sorte d'acte de naissance : l'époinement de la radicule (la jeune racine déjà présente dans l'embryon) (Claire, 2013).

La germination de la graine se caractérise par l'émergence du coléorhize donnant naissance à des racines séminales et de la coléoptile qui protège la sortie de la première feuille fonctionnelle. La levée se fait réellement dès la sortie des feuilles à la surface du sol (Cherfia, 2010).

❖ La phase levée – tallage :

La production de talles commence à l'issue du développement de la troisième feuille (Cherfia, 2010). Du stade 3 feuilles « épi » 1 cm, ce sont des tiges latérale appelée talle qui sont des « épis potentielles ». A un même niveau de la base de la tige il se formera une touffe herbacée et commencera alors la période dite de « montaison » (Anonyme, 2005).

La fin du tallage représente la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductrice, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Cherfia, 2010).

I.8.2. La période reproductrice :**- La phase montaison – gonflement :**

La montaison débute à la fin du tallage, elle est caractérisée par l'allongement des entrenœuds et la différenciation des pièces florales. A cette phase, un certain nombre de talles herbacées commence à régresser alors que, d'autres se trouvent couronnées par des épis. Pendant cette phase de croissance active, les besoins en éléments nutritifs notamment en azote sont accrus (Clement-Grancourt et Prats, 1971). La montaison s'achève à la fin de l'émission de la dernière feuille et des manifestations du gonflement que provoquent les épis dans la gaine. (Cherfia, 2010).

❖ La phase épiaison – floraison :

Elle est marquée par la méiose pollinique et l'éclatement de la gaine avec l'émergence de l'épi. C'est au cours de cette phase que s'achève la formation des organes floraux (l'anthèse) et s'effectue la fécondation. Cette phase est atteinte quand 50 % des épis sont à moitié sortis de la gaine de la dernière feuille (Gate, 1995). Elle correspond au maximum de la croissance de la plante qui aura élaboré les trois quarts de la matière sèche totale et dépend étroitement de la nutrition minérale et de la transpiration qui influencent le nombre final de grains par épi (Masle-Meynard, 1980).

❖ La maturation du grain :

La phase de maturation succède au stade pâteux (45% d'humidité). Elle correspond à la phase au cours de laquelle le grain va perdre progressivement son humidité en passant par divers stades (Nadjem, 2012). Elle débute à la fin du palier hydrique marqué par la stabilité de la teneur en eau du grain pendant 10 à 15 jours. Au-delà de cette période, le grain ne perdra que l'excès d'eau qu'il contient et passera progressivement aux stades « rayable à l'angle» (20% d'humidité) puis, « cassant sous la dent» (15-16% d'humidité) (Hennouni, 2012).

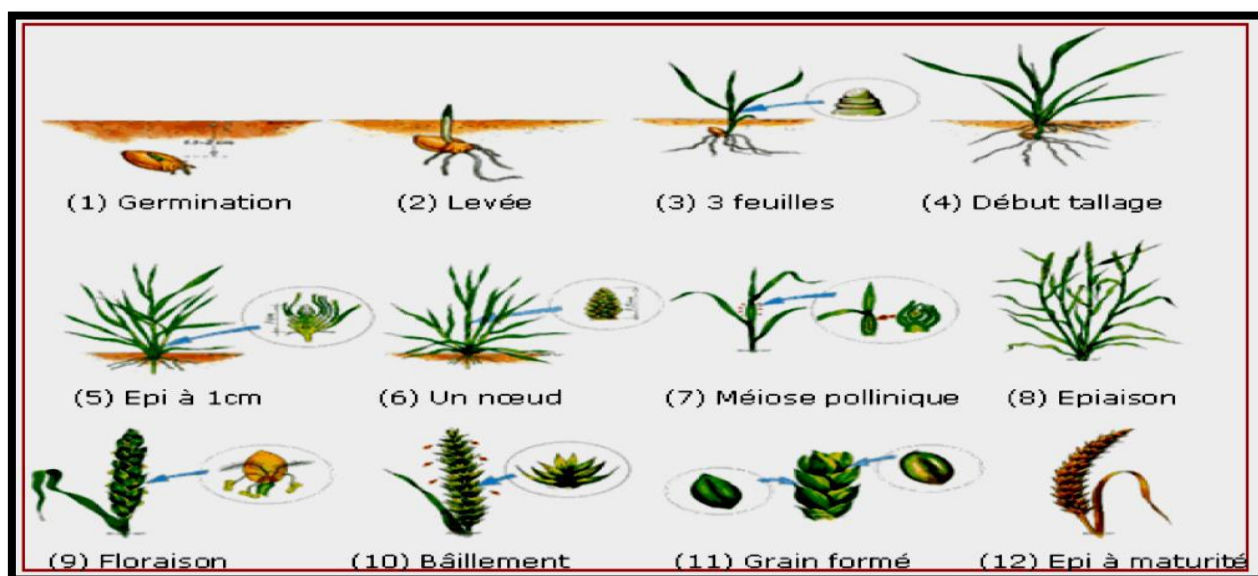


Fig n°3 : Cycle végétal du blé selon (Fritas, 2012).

1.9 Exigences de blé dur :

1.9.1 Exigences édaphiques :

D'après (Soltner, 2000) ; le blé dur préfère les sols du type argilo-calcaire ou limoneux à limono-argileux à cause de son système racinaire fasciculées. Les sols qui conviennent le mieux au blé dur sont :

- 1- les sols profonds (plus de 60cm de profondeur).
- 2- les sols suffisamment riches en matières organiques et minérales.
- 3- les sols bien drainés pour éviter tout développement de maladies.
- 4- les sols capables de maintenir une réserve en eau suffisante pour assurer une bonne alimentation au moment de l'accumulation des réserves dans le grain.

1.9.2 Exigences climatiques :

- Température :

La température est l'un des facteurs importants pour la nitrification et l'activité végétative du blé. Selon (Soltner, 1988), le blé a un zéro de végétation très bas, à 0°C, leur exigence en chaleur est très élevée pour accomplir son cycle végétatif il faut un total de 2300°C, qui se répartissent comme suit :

- Semi-germination 150 °C
- Germination- tallage 500 °C
- Tallage- floraison 85 °C
- Floraison-maturation 800 °C.

❖ Lumière :

La lumière est un paramètre climatique indispensable qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement du blé. Selon (Soltner, 1988) ; le bon tallage est garanti, si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairement.

1.9.3 Exigences en eau :

L'eau constitue le véhicule des éléments nutritifs et avec lequel s'effectuent les différentes réactions métaboliques, ce qui le rend par conséquent indispensable pour le développement et la croissance de la plante.

D'après (Moule ,1980) ; pour assurer un rendement intéressant, le blé a besoin de 550 à 600 mm de pluie, selon le climat et la longueur du cycle végétatif.

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

II. Stress hydrique et les végétaux :**II.1.Les stress :**

On peut considérer que la notion de stress implique, d'une part, une déviation plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales (moyennes) de la plante ou de l'animal et d'autre part une réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de sa physiologie laquelle change sensiblement avec, soit adaptation à la nouvelle situation, soit à la limite dégradation menant à une issue fatale (Kherfi W, Brahmi I , 2011).

II.1.1. Définition :

Le stress est un ensemble de condition qui provoque des changements de processus physiologique résultant éventuellement en dégâts dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement (Kherfi W, Brahmi I, 2011).

II.1.2. Catégories de stress et conséquences :

On distingue deux grandes catégories de stress :

- ❖ **Biotique** : imposé par les organismes vivants (insectes, herbivores....etc.).
- ❖ **Abiotique** : provoqué par un défaut ou excès de l'environnement physicochimique comme la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité.

II.1.2.1. Les contraintes abiotiques et leurs effets sur la plante :

En milieu variable la plante est le plus souvent soumise à une série de contraintes de nature abiotique qui réduisent sa capacité de reproduction (Djekoun et Ykhlef, 1996). Les plus importantes de ces contraintes, suite aux rôles majeurs qu'elles jouent dans les fonctions essentielles de la plante, sont la variation de la précipitation, de la température, de l'humidité du sol et de l'air ambiant, et de la salinité. Certains stades végétatifs sont particulièrement sensibles à ces contraintes abiotiques donc les stress se traduisent chez les plantes par des changements morphologiques, physiologiques et moléculaires qui affectent leur croissance et leur productivité (Wangxia et al, 2003).

II.1.2.2. Les types de stress abiotique :

Peuvent résulter de trois types d'effets que les contraintes abiotiques provoquent chez les plantes :

A. Les stress thermique :

La température est l'un des principaux facteurs qui conditionne la productivité des plantes. Les plantes qui poussent dans des régions désertiques et dans des régions cultivées semi-arides sont soumises à des températures élevées en même temps qu'à des niveaux de radiations élevées, à des faibles taux d'humidité du sol et effet de stress hydrique.

(Boyer, 1982).

B. Stress salin :

Le stress salin est une brusque augmentation de la concentration en sels qui conduit d'une part, un afflux plus élevé d'ions dans la cellule suite à la chute de la concentration du milieu externe, d'autre part, à une perte d'eau par voie osmotique. Une abondance de sels dissous s'observe bien sur en milieu marin, mais aussi dans beaucoup de milieux terrestres (Boyer, 1982).

C. Les stress hydrique :

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants, affectant la productivité agricole autour du monde (Boyer, 1982). Il occupe et continuera d'occuper une très grande place dans les chroniques agro-économiques. C'est un problème sérieux dans

beaucoup d'environnements arides et semi-arides, où les précipitations changent d'année en année et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique (Boyer, 1982). Il existe de nombreuses définitions du stress hydrique. En agriculture, il est défini comme un déficit marqué et ce compte tenu des précipitations qui réduisent significativement les productions agricoles par rapport à la normale pour une région de grande étendue. En effet, on assiste à un stress hydrique lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible pendant une certaine période ou lorsque sa mauvaise qualité en limite l'usage (Madhava Rao et al, 2006).

II.1.2.3. Définition de stress hydrique :

Le stress hydrique a été défini comme une baisse ou un excès de la disponibilité de l'eau dans le milieu d'installation de telle culture, traduisant par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa reproduction par rapport au potentiel du génotype. La contrainte hydrique est le facteur ou l'ensemble de facteurs ayant pour conséquence le stress. D'autres auteurs limitent la définition du stress aux seules conditions correspondant à une hydratation optimale des tissus (Lamaze et al, 1994). L'installation d'une sécheresse se manifeste par la combinaison d'une part, de la restriction de la disponibilité en eau du sol et, d'autre part, de l'augmentation de la demande d'évaporation (Kiani, 2007). Le manque d'eau peut se manifester aussi bien dans le sol que dans l'atmosphère. Généralement, la sécheresse du sol est lente (Veselovsky, 1985), mais la diminution de l'humidité de l'air peut parfois être rapide (Yokota et al, 2006). D'un point de vue physique, le stress hydrique résulte d'un abaissement du potentiel hydrique dans l'air et/ou dans le sol en dessous d'une certaine valeur, dépendant du génotype, du phénotype et des caractéristiques du milieu (type de sol, température, vent) (Lamaze et al, 1994).

II.3. Effet du stress hydrique sur les plantes :

Les stress abiotiques, notamment le stress hydrique, limitent sérieusement la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale (Wang et al., 2003). Le déficit hydrique constitue un important facteur limitant pour la production des cultures céréalières dans les zones arides et semi-arides (qui se caractérisent par une forte irrégularité des précipitations) (El mourid et al., 1996).

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.

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). Chez le blé dur, le déficit en eau affecte 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 (Villegas *et al.*, 2001). La répercussion du déficit hydrique se traduit par la diminution de la matière sèche durant la période végétative et reproductrice et par conséquent diminue les rendements (Tanner et Sinclair, 1983).

Le déficit hydrique n'affecte pas seulement la partie aérienne, mais la partie racinaire aussi. La répercussion se traduit par ralentissement de la croissance du système racinaire (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 de photosynthèse qui seront détournés dans la production de grains (Baldy, 1973). Selon (Meyer et Alston, 1978), le rendement du blé dépend essentiellement de la configuration du système racinaire et de la disponibilité en eau.

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 (Garcia del moral *et al.*, 2003).

II.3. 1. Influence sur la physiologie et la biochimie de la plante :

a. Influence sur la membrane plasmique :

Les dommages provoqués par un stress hydrique résultent de la dessiccation du protoplasme. Le départ d'eau, par exemple provoque une augmentation de la concentration des solutés, lorsque le volume du protoplasme diminue, ce qui entraîne des conséquences sérieuses et sur le plan structurel et sur le plan métabolique. L'intégrité des membranes et des protéines est également affectée par la dessiccation, ce qui entraîne des dysfonctionnements métaboliques.

On pense que le départ de l'eau des membranes rompt la structure normale de la bicouche lipidique et provoque l'apparition de canaux remplis d'eau, et bordés par les groupements polaires des têtes des phospholipides. Autrement dit les membranes deviennent très poreuses lorsqu'elles sont desséchées. Lorsque les membranes sont réhydratées, ces

canaux permettent une fuite très importante de solutés entre les compartiments ou dans l'espace extracellulaire les stress, qui affectent la bicouche lipidique pourraient également provoquer le déplacement des protéines membranaires, qui, du fait de la fuite de solutés contribuent à une perte de sélectivité des membranes une destruction généralisée de la compartimentation cellulaire ainsi qu'à une perte des enzymes membranaires (Hopkins, 2003). (Bousba *et al.*, 2013) mentionnent que la carence hydrique provoque une déstabilisation des membranes plasmiques, ce qui a par conséquent une perte d'électrolytes et la fuite d'ions.

b. Influence sur la photosynthèse :

Le stress hydrique affecte plusieurs fonctions de la plante, telles que la conductance somatique, la photosynthèse et la surface foliaire (Benjelloun *et al.*, 2013). Le stress hydrique qui fait chuter le potentiel hydrique foliaire du blé de 8,4 à 20 bars réduit la photosynthèse de cinq fois par rapport au témoin et provoque un arrêt de transfert des assimilés des feuilles vers les autres organes de la plante. (Bennaceur *et al.*, 1999) la réduction de surface foliaire c'est une conséquence du déficit hydrique (Bendarradji *et al.*, 2016).

L'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse est fortement affectée lors un déficit hydrique, et liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire est supposée dépendre à la fois de la fermeture des stomates, avec pour conséquence une diminution de la conductance à la diffusion du CO₂, d'une limitation biochimique du chloroplaste pour fixer le CO₂ (Maury *et al.*, 2011).

L'effet dépressif sur la photosynthèse résulte d'une baisse de la conductance stomatique, d'une altération de l'appareil photosynthétique et/ou d'une diminution de la surface foliaire et une diminution de la concentration interne en CO₂ de la feuille et une réduction de la photosynthèse (Bennaceur *et al.*, 1999).

Lors d'un stress salin ou hydrique, l'inhibition de la photosynthèse, et plus précisément la fuite d'électrons due la diminution de la fixation du CO₂, entraîne une forte accumulation de ROS, et les peroxydases (POD) ; sont des enzymes qui jouent un rôle important dans le métabolisme et la physiologie de la plante. Elles sont présentes dans tous les tissus des végétaux et sont impliquées dans les réponses des plantes aux infections et aux stress abiotiques (Benkaddour, 2014). En effet (Zarrad *et al.*, 2009) montrent que le stress hydrique conduit à un stress oxydatif par production des espèces oxygènes réactives particulièrement le radical superoxyde et le peroxyde d'hydrogène.

(Abousouan-Seropian et Planchon 1985), montrent que le déficit hydrique chez le blé affecte les phénomènes stomatiques et les non stomatiques de la photosynthèse à la conductance stomatique.

c. Influence sur les échanges gazeux et la transpiration :

De nombreux facteurs endogènes et environnementaux influencent l'état d'ouverture des stomates. L'intégrité de différents signaux par les cellules de garde permet de réguler le degré d'ouverture stomatique afin d'optimiser l'assimilation de CO₂ en fonction des conditions environnementales et de l'état physiologique de la plante. Dans le cas d'un stress hydrique, par exemple, ce système de régulation permet de limiter la perte d'eau qui pourrait être fatale à la plante en inhibant l'ouverture des stomates par la lumière au début de journée. Ceci diminue l'assimilation du CO₂, et ralentit, donc, le métabolisme et le développement, mais permet à la plante de survivre. Le stress hydrique influence l'état de turgescence des cellules de garde essentiellement par l'intermédiaire d'une phytohormone : l'acide abscissique (Belin, 2006).

II. 3. 2. Influence sur la morphologie de la plante :

Lors d'une contrainte hydrique, des modifications de la morphologie et de la physiologie et du métabolisme d'une plante sont observées (Moulineau, 1993) 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).

Le développement du système racinaire joue un rôle essentiel dans l'alimentation hydrique et minérale de la plante, ces racines sont affectée par un déficit hydrique le volume racinaire global est fortement affecté par le déficit hydrique (Benlaribi *et al.*, 1990).

L'une des plus importantes conséquences de la sensibilité à l'élongation des cellules d'un stress hydrique est la réduction marquée de la surface foliaire qui diminuera la croissance de la plante surtout durant les premiers stades de développement. L'influence de déficit hydrique est souvent rapportée en termes de hauteur des plantes, des nombres de talles, d'indice de surface foliaire de matières sèche des parties aériennes et racinaires et rendement en grains (Kouassi, 1984).

Plusieurs caractéristiques morphologiques de la plante sont affectées par la contrainte hydrique. Au niveau foliaire, le stress hydrique provoque la réduction de la surface transpirante due à une réduction de la division et de l'expansion cellulaire (Zgallai, 2007).

III. Stratégies 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, Evitement et tolérance).

La tolérance 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. La tolérance globale d'une plante vis-à-vis du déficit hydrique est la résultante de nombreuses modifications phonologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques. Ces dernières interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de la production (Passioura, 2004).

III.1. La stratégie d'esquive :

Cette stratégie consiste à éviter de subir le déficit hydrique en effectuant le cycle de développement pendant des périodes pluvieuses. On réduit alors le risque de perte de rendement en échange d'une réduction du rendement maximum atteignable (Jean-pierre *et al.*, 2006). Le décalage du cycle cultural depuis des périodes à forte demande climatique vers des périodes à plus faible risque est la stratégie des cultures d'hiver, qui réalisent leur cycle sur une période à faible risque de déficit hydrique et compensent une croissance à une saison où le rayonnement incident est réduit par une durée plus longue du cycle (Folkert *et al.*, 2001).

III.2. La stratégie d'évitement :

Cette stratégie consiste à empêcher que la plante soumise à des conditions hydriques défavorables ne subisse un stress hydrique trop important. Ces adaptations réduisent le risque de perte de rendement, mais ont le plus souvent un coût en terme de rendement maximum (Jean-Pierre *et al.*, 2006). Les mécanismes d'évitement sont de type morphologique et physiologique.

III.2.1. Mécanismes morphologiques :

➤ Réduction de la conduction stomatique :

La réduction de la perte en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes au stress hydrique. Si la fermeture des stomates permet à la plante de réduire la sortie d'eau, elle limite aussi l'entrée de CO₂ (Benhamou, 2009). Cette diminution de la transpiration peut engendrer une réduction de la photosynthèse (Hopkinsw, 2003). La régulation de la conductance stomatique reste le mécanisme majeur intervenant à court terme

pour limiter les pertes d'eau: le potentiel hydrique foliaire sera maintenu d'autant plus longtemps que la fermeture des stomates est précoce (Maury *et al.*, 2011).

➤ **Réduction de la croissance foliaire :**

Une réduction de la croissance foliaire est bénéfique aux plantes soumises à un stress hydrique, la surface des feuilles est diminuée et la transpiration réduite par l'enroulement des feuilles. Habituellement, l'effet exercé par un potentiel hydrique faible est attribué à une perte de turgescence des cellules des zones en croissance (Nabors, 2008). Du fait que le grandissement cellulaire intervenait suite à une entrée d'eau qui, après la relaxation du stress de la paroi cellulaire, provoquait la pleine turgescence des cellules, donc un apport réduit de l'eau se traduit par la réduction de la croissance (Hopkinsw, 2003). Chez le blé, l'enroulement des feuilles chez certaines variétés peut être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation, il entraîne une diminution de 40 à 60 % de la transpiration (Amokrane *et al.*, 2002).

➤ **Développement racinaire accru :**

L'efficacité de l'extraction de l'eau du sol par les racines figure parmi les types d'adaptation permettant à la plante d'éviter ou, plus exactement, de retarder la déshydratation de ses tissus (Turner *et al.*, 2001). L'augmentation de l'absorption peut être due à l'extension de l'absorption en profondeur et en surface, à la vitesse de croissance et de ramification des racines. L'absorption d'eau est maximisée par un ajustement autrement dit, un investissement élevé au niveau des racines. (Laurent et Sané, 2007).

III.2.2.Mécanismes physiologiques :

Au niveau cellulaire, la réduction du module d'élasticité permet aux cellules de conserver un potentiel élevé malgré un dessèchement important. L'ajustement osmotique par accumulation de soluté dans la vacuole et la réduction de la taille des cellules permettent, pour une même teneur en eau, une diminution du potentiel foliaire et donc un maintien d'un gradient de potentiel hydrique important du sol vers la feuille (Laurent et Sané, 2007). Ce mécanisme tient à la fois de l'évitement et de la tolérance (Jean-Pierre *et al.*, 2006).

➤ **L'état hydrique de la plante :**

La caractérisation du statut hydrique d'une plante pourrait passer par la seule évaluation de la teneur relative en eau. (Clarke et Mc Craig, 1982) attirent l'attention sur l'utilisation de la teneur relative en eau comme indicateur de l'état hydrique de la plante sous stress. (Scofield *et al.*, 1988) notent que la teneur en eau diminue lorsque le stress augmente, mais elle diminue plus vite chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes. La teneur en

eau en plus de sa relation avec le volume cellulaire reflète plus précisément la balance entre l'eau disponible dans la feuille et le taux de transpiration, le potentiel osmotique et de turgescence. (ElHakimi *et al.*, 1995) montrent que cette caractéristique présente un coefficient d'héritabilité élevé et qu'elle se fixe rapidement chez les lignées en ségrégation d'un croisement donné. Ainsi, les variétés tolérantes au stress hydrique, sont celles qui sont capables de perdre le moins d'eau par unité de temps et unité de surface, sous stress.

III.2.3.La stratégie de tolérance :

Cette stratégie consiste à maintenir les fonctions de la plante, croissance, transpiration et la photosynthèse, malgré le déficit hydrique (Jean-Pierre *et al.*, 2006). La tolérance à la déshydratation implique des mécanismes intracellulaires qui visent à préserver l'intégrité structurale et fonctionnelle des tissus lorsque le potentiel hydrique diminue (Laurent et Sané, 2007). L'ajustement osmotique est un exemple d'une telle adaptation, il permet le maintien d'une turgescence positive pour des teneurs en eau relativement faible (Hopkinsw, 2003).

L'ajustement osmotique, consiste en la synthèse des molécules solubles, ce qui se traduit par une plus grande capacité d'attraction et de rétention des molécules d'eau. Ces molécules, appelées osmoticum, s'accumulent le plus souvent dans le cytoplasme (Nabors, 2008). Cette forte accumulation de solutés ioniques ou organiques dans les cellules provoque une diminution du potentiel osmotique.

Les principales substances accumulées en réponse aux stress osmotiques peuvent être des acides aminés (proline, alanine), des sucres (saccharose, tréhalose, fructanes), des ions quaternaires (bétaines, proline- bétaine), des ions inorganiques (K⁺) ou encore des acides organiques (malate, glutamate, citrate), des hormones (acide abscéique) (Hopkinsw, 2003). La nature des osmolytes impliqués dans l'ajustement osmotique est généralement spécifique de l'espèce étudiée. Les solutés organiques ne perturbent généralement pas ou peu le métabolisme des cellules et sont qualifiés à ce titre d'osmoticum compatibles (Radhouane, 2011).

A.L'Accumulation des sucres solubles :

Les sucres sont considérés par plusieurs auteurs comme des bons osmo-régulateurs qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes à la sécheresse (Slama, 2002). Les sucres sont qualifiés d'osmolytes compatibles. Les osmolytes compatibles s'accumulent principalement dans le cytosol. Un osmolyte compatible est une molécule qui reste exclue de la surface d'une protéine et de sa sphère d'hydratation proche,

qui tend à stabiliser sa structure spatiale, elles protègent les membranes contre la déshydratation.

Généralement on pense que l'accumulation des sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse des réserves en particulier l'amidon mais aussi une modification du métabolisme carboné. Beaucoup d'auteurs ont mis en évidence le rôle protecteur des sucres sur les membranes, en particulier mitochondriales. Leur présence permettrait le maintien des réactions de phosphorylation et de production d'énergie. Outre ce rôle protecteur des membranes, les hydrates de carbone protègent les processus par lesquels les enzymes sont synthétisés ce qui impliquerait une meilleure tolérance de la plante à la dessiccation et une meilleure résistance à la sécheresse. Concernant les sucres solubles, (Folkert *et al.*, 2001) remarquent que les variations de teneur chez le blé dur sont beaucoup plus faibles que dans le cas de la proline.

B. La teneur en chlorophylle :

Sous un stress hydrique, une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur (Bousba *et al.*, 2009). Pour limiter les pertes en eau par évaporation et aussi l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse, l'économie de l'eau se traduit par une turgescence relative moins affectée par le stress conduisant à une dilution de la chlorophylle (Mouellef, 2010). Le rapport chlorophylle (a/b) est un bon indicateur du seuil de tolérance au stress hydrique (Guettouche, 1990). (Tahri *et al.*, 1997) montrent que l'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b). Les résultats de (Tahri *et al.*, 1997) révèlent une certaine proportionnalité, mais inverse, entre les teneurs en proline accumulées et les teneurs en pigments chlorophylliens perdues. Ainsi la variété qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs pigments chlorophylliens et vice versa (Mouellef, 2010).

Chapitre II: Matériel et Méthodes :**1. Matériel végétal :**

Trois variétés de blé dur (*Triticum.durum* .Desf) ont fait l'objet de cette étude, et qui sont : Siméto, Vitron, et GTA.



Fig n°4 : Les 3 variétés de blé

1-1 - Caractéristiques des variétés utilisées :

Les caractéristiques des variétés utilisées sont regroupées dans les tableaux suivants :

Tableau n°02: Caractéristique de chaque variété (Centre national de contrôle et de certification des semences et plants 2015)

Variété	Siméto	Vitron	GTA
Obteneur	IAO ITALIO	*	*
Origine	Italie	Espagne	Mexique
Demandeur	ITGC	ITGC	ITGC
Année d'inscription	1998	1998	1998

Tableau n° 03: Caractéristique agronomique et culturale de la variété SIMETO (Centre national de contrôle et de certification des semences et plants 2015)

Caractéristique agronomique et technologique	Caractéristique culturale
<ul style="list-style-type: none"> * Rendement : Elevé * Poids de mille grains(PMG) : Elevé * Qualité semoulière : Très bonne * Mitadinage : Résistante * Teneur en protéines : 15.80% 	Résistance aux maladies : <ul style="list-style-type: none"> * Oïdium sur feuille : Moyennement sensible. * Oïdium sur épi : Résistante. * Rouille brune : Moyennement sensible. * Charbon :* * Fusariose :* * Septoriose : Moyennement sensible.

Tableau n°04 : Les caractéristiques agronomiques de la variété VITRON (Centre national de contrôle et de certification des semences et plants 2015)

Caractéristique agronomique et technologique	Caractéristique culturale
<ul style="list-style-type: none"> * Rendement : Elevé * Poids de mille grains(PMG) : Elevé * Qualité semoulière : bonne * Mitadinage : Résistante * Teneur en protéines : 13.5% 	Résistance aux maladies : <ul style="list-style-type: none"> * Oïdium sur feuille : Résistante. * Oïdium sur épi : Résistante. * Rouille brune : sensible. * Charbon :* * Fusariose :* * Septoriose : Moyennement sensible.

Tableau n° 05 : Les caractéristiques agronomiques de la variété GTA (Centre national de contrôle et de certification des semences et plants 2015)

Caractéristique agronomique et technologique	Caractéristique culturale
<ul style="list-style-type: none"> * Rendement : Elevé * Poids de mille grains(PMG) : Elevé * Qualité semoulière : * * Mitadinage : * * Teneur en protéines : * 	Résistance aux maladies : <ul style="list-style-type: none"> * Oïdium sur feuille : Résistante * Oïdium sur épi : Résistante. * Rouille brune : Résistante * Charbon :* * Fusariose :* * Septoriose : Résistante.

2. Conduite et Organisation des essais :

Deux expérimentations contrôlées ont été menée ; la première sous serre (in vivo) dans l'exploitation de l'Université de 08 Mai 1945 GUELMA et la deuxième dans les laboratoires de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et de la Terre et de l'Univers (in vitro).

3. Expérimentation 01:(étude du stress hydrique sous serre) :

L'expérimentation est conduite sous serre durant 65 jours, du au 08 mars 2018 jusqu'au 13 mai 2018. A l'exploitation de l'université de Guelma.

3.1. Mise en place du dispositif expérimental :

Des pots en plastiques de (15) cm de diamètre et de (13) cm de hauteur sont remplis par une quantité de 300g de tourbe.

3.2. Application du stress

Le semis a été réalisé le 08/03/2018.

Après 15 jours de semis, nous avons appliqué les différents niveaux de stress hydrique aux plantes. Ils sont répartis en trois blocs (A, B et C) chaque bloc traité par quatre niveaux de stress (100, 50, 25,0%) avec 12 répétitions pour chaque niveau.

Le dispositif est expliqué dans le tableau suivant :

A

T0	S R1	S R2	S R3	S R4	S R5	S R6	S R7	S R8	S R9	S R10	S R11	S R12
T1	S R1	S R2	S R3	S R4	S R5	S R6	S R7	S R8	S R9	S R10	S R11	S R12
T2	S R1	S R2	S R3	S R4	S R5	S R6	S R7	S R8	S R9	S R10	S R11	S R12
T3	S R1	S R2	S R3	S R4	S R5	S R6	S R7	S R8	S R9	S R10	S R11	S R12

B

T0	G R1	G R2	G R3	G R4	G R5	G R6	G R7	G R8	G R9	G R10	G R11	G R12
T1	G R1	G R2	G R3	G R4	G R5	G R6	G R7	G R8	G R9	G R10	G R11	G R12
T2	G R1	G R2	G R3	G R4	G R5	G R6	G R7	G R8	G R9	G R10	G R11	G R12
T3	G R1	G R2	G R3	G R4	G R5	G R6	G R7	G R8	G R9	G R10	G R11	G R12

C

T0	V R1	V R2	V R3	V R4	V R5	V R6	V R7	V R8	V R9	V R10	V R11	V R12
T1	V R1	V R2	V R3	V R4	V R5	V R6	V R7	V R8	V R9	V R10	V R11	V R12
T2	V R1	V R2	V R3	V R4	V R5	V R6	V R7	V R8	V R9	V R10	V R11	V R12
T3	V R1	V R2	V R3	V R4	V R5	V R6	V R7	V R8	V R9	V R10	V R11	V R12

S : Simeto, V : Vitron, G : GTA, T0 : témoin 100% (160 ml), T1 : traitement par 50% (80 ml), T2 : traitement par 25% (40 ml), T3 : traitement 0% (0 ml), (R1-R12) : répétition 1-12,

A : bloc A, B : bloc B, C : bloc C.

Tableau n°06: Plan expérimental



Fig n°10 : Plante blé dur (*Triticum durum desf*) variétés Simeto, GTA, et Vitron

3.5. Paramètres étudiés :

3.5.1. Paramètres morphologiques :

3.5.1.1. Etude du développement morphologique foliaire et racinaire :

La longueur des feuilles et la longueur des racines, ont été mesurées à l'aide d'un papier millimètre. (Mefti et al., 2008)

3.5.1.2. La surface foliaire SF « cm² » :

La surface moyenne de la feuille la plus développée (avant dernière feuille = la plus jeune adulte feuille), est déterminée moyenne du limbe des 10 feuilles, l est la largeur du limbe moyenne du limbe des 10 feuilles, L est la longueur et 0.709 représente le coefficient de correction, étant donné que la feuille a une forme triangulaire (Mefti et al., 2008). à partir d'un échantillon de dix plantules par traitement, par la formule suivante:

$$SF (cm^2) = L \times l \times 0.709$$

3.5.2. Paramètres physiologiques :

3.5.2.1. Teneur en chlorophylle :

La chlorophylle est le pigment vert qui permet aux plantes de photo synthétiser, à travers la photosynthèse, qui utilise l'énergie lumineuse pour convertir le dioxyde de carbone et l'eau en composants de bases pour les plantes. (Temagoult, 2009).

Les teneurs moyennes en chlorophylle a et b sont déterminées par la méthode de Rao et le blanc (1965). L'extraction de la chlorophylle est réalisée par broyage de 0.5g de matière fraîche de la feuille de chaque échantillon qui est additionnée de carbonate de calcium et d'acétone (20ml à 80%). La solution obtenue est filtrée à l'abri de la lumière pour éviter

l'oxydation de la chlorophylle. On procède ensuite aux mesures spectrophotométriques (JENWAY 6300) à deux longueurs d'onde ($\lambda_1 = 645$ et $\lambda_2 = 663$ nm). (Bouchelaghem., 2012)

Le calcul de la qualité de la chlorophylle est obtenu par la formule suivante :

❖ Chl a: 12, 7 (DO 663) - 2, 69 (DO 645).

❖ Chl b: 22, 9 (DO 645) - 4, 86 (DO663).

$$\text{Chl a+b: } 8,02 \text{ (DO645) } + 20, 20 \text{ (DO645)}$$

3.5.3. Paramètres biochimiques:

Les paramètres biochimiques consistent à mesurer les quantités des constituants des organes biologiques en général, sucres solubles ; protéines totales ; acides aminées ; proline ; lipides ...etc.

3.5.3.1. Dosage des sucres solubles (Suc) « $\mu\text{g}/100\text{mg MF}$ » :

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode au phénol de Dubois et *al.* (1956). Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche, placées dans des tubes à essais, on ajoute 3 ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres.

On laisse à température ambiante pendant 48h à l'obscurité. Au moment du dosage les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool. Dans chaque tube on ajoute 20ml d'eau distillée à l'extrait. C'est la solution à analyser. Dans des tubes à essais propres, on met 2ml de la solution à analyser, on ajoute 1ml de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée); on ajoute rapidement 5ml d'acide sulfurique concentré 96% tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube.

On obtient, une solution jaune orange à la surface, on passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. On laisse les tubes pendant 10mn et on les place au bain-marie pour 10 à 20mn à une température de 30°C (La couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures.). Les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'ondes de 485 nm. Enfin des résultats des densités optiques sont rapportés sur un courbe étalon des sucres solubles (exprimés en glucose).

$$y = 2,4189x + 0,2752$$

3.5. Etude statistique :

Les corrélations entre le comportement des variétés et les traitements utilisés ont été analysées selon la méthode d'analyse de variance (Anova : *analysis of variance*), avec deux facteurs, et un seul facteur. Test de Newman Kleus par le logiciel XLSTATE 14

Résultats :

Au cours de l'expérimentation, le comportement des trois variétés de blé dur étudiés vis-à-vis du stress hydrique est analysé par une étude morphologique (hauteur des plants, longueur des racines, et surface foliaire), physiologique (taux de chlorophylle) et biochimique (teneur en sucres solubles). On rappelle que tous ces paramètres ont été mesurés sur la feuille bien développée. Les résultats de tous les paramètres sont présentés dans l'ordre suivant :

1-Paramètres morphologique :

Pour rendre compte de l'effet des différents degrés du stress hydrique sur la morphologie des variétés testés nous avons étudiée les paramètres suivant : longueurs des racines, hauteur des plants et la surface foliaire (SF).

- 1- 1-Longueur des racines :

Variété GTA :

Pour cette variété les longueurs observées vont de 24.65cm pour les témoins et augmentent légèrement à 26.35cm au premier traitement, puis 34.3 cm à (50%) et enfin atteint 35.75cm.

Plus les concentrations en eau diminue, plus la longueur des racines augmentent.

Le traitement statistique des moyennes par l'ANOVA « test de Newman- Keuls » indique des différences significatives, p entre les longueurs des racines dans les quatre traitements.

Variété Simeto :

Les longueurs de racines enregistrées varient entre : 28.7cm pour les témoins, puis diminuent à 23.3 cm, ensuite augmente à 27 cm et atteint 33.4cm dans le dernier traitement.

Dans cette variété nous observons l'augmentation de la longueur de racines dans le traitement normal (témoins) par rapport aux autres traitements stressés (1 et 2)

Le traitement statistique des moyennes, indique que la différence entre les différentes concentrations n'est pas significative même si on enregistre une graduation dans les tailles entre les différentes concentrations et on note une différence significative dans la concentration 80 ml (entre le 1^{er} traitement et le 3^{em} traitement)

Variété Vitron :

Dans la troisième variété les longueurs de racines suivent les concentrations d'irrigation en eau, on observe les valeurs suivantes :

Le témoin 20.9cm, une augmentation dans le premier traitement est observée pour 25.3 cm ensuite 25.1 cm dans le deuxième traitement et augmente dans le dernier jusqu'à 28.625cm.

Dans cette variété on a une légère diminution au niveau du deuxième traitement par rapport au premier.

Le test ANOVA pour les moyennes enregistrées, indique que les différences ne sont pas significatives entre les différentes concentrations sauf pour les concentrations témoins et le 3^{em} traitements.

Lors de la comparaison les résultats des trois variétés, les longueurs des racines augmentent de façon générale au fur et à mesure que la quantité d'eau diminue. ce qui indique que les plantes des trois variétés sont atteintes par le stress hydrique.

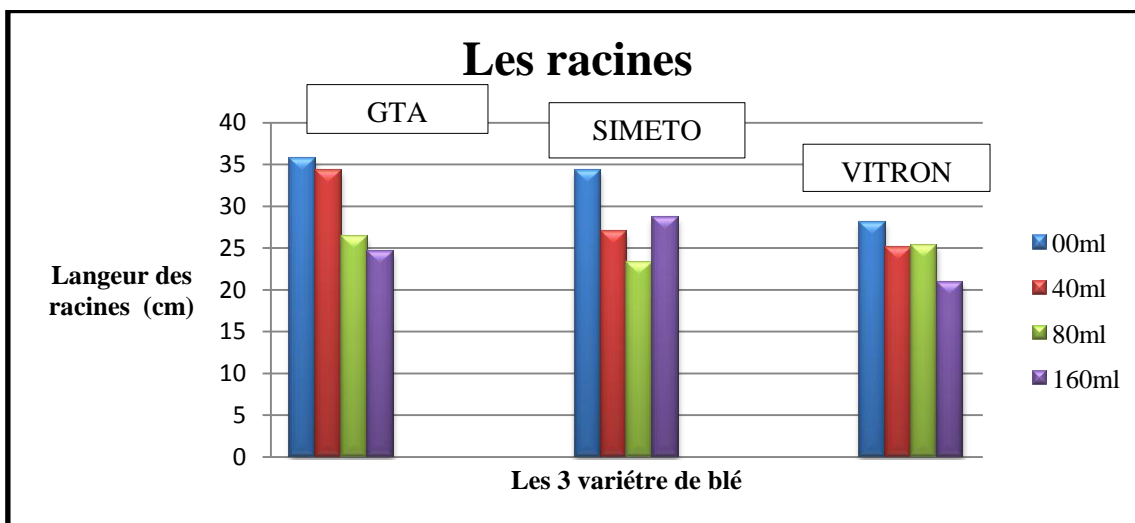


Fig n°11 : La longueur des racines chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique.

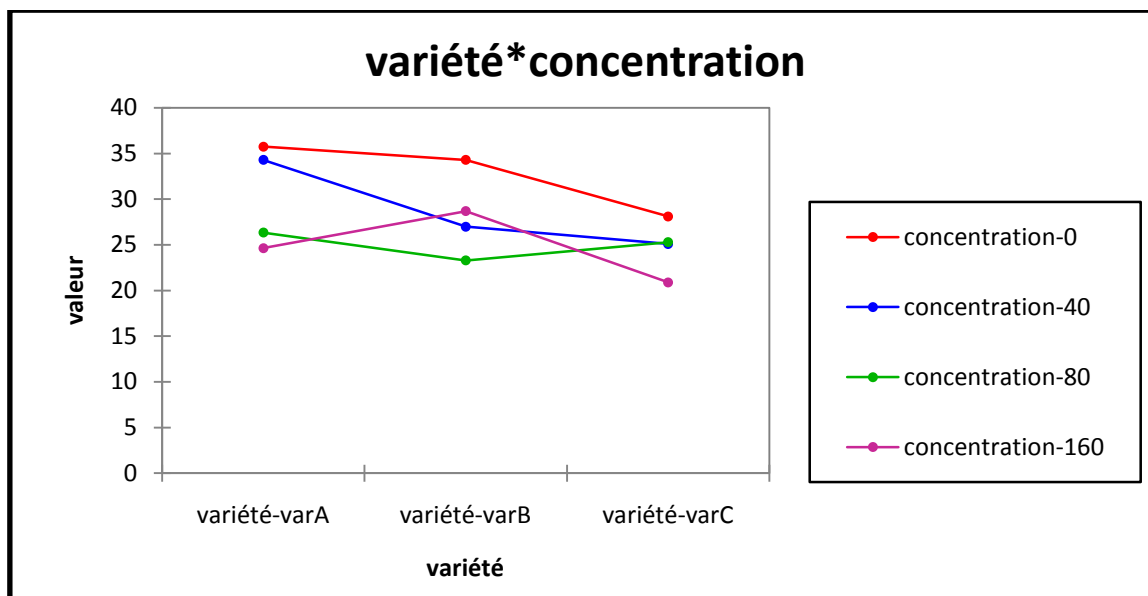


Fig n°12 : comparaison statistique de la longueur des racines chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique.

- 1-2- Hauteur des plantes :

Variété GTA :

Les hauteurs des plants pour cette variété sont : entre 57.55cm et 34.9 pour le témoins et la moyenne est 46.22cm.

Entre 51.97cm et 31.59cm et une moyenne de 41.78cm pour le premier traitement (75%)

Vont entre 38.97cm et 27.41cm avec une moyenne de 33.19cm pour le 2^{ème} traitement (50%), et enfin entre 36.94cm et 26.67cm avec une moyenne de 31.8cm pour le dernier traitement.

L'analyse statistique révèle une différence significative entre les hauteurs des plantes dans les différents traitements pour cette variété, sauf entre le T2 et T3.

Les différents traitements sont regroupés comme suit :

A : Témoins ; B : T 1 ; C : T 2 et T3

Variété Simeto :

Les hauteurs des plantes varient selon les traitements : Entre 48.04cm et 33.55cm avec une moyenne de 40.79 pour le témoin, 45.5cm et 32.6cm avec une moyenne de 39.05 pour le (75%), puis entre 38.45cm et 30.1cm avec une moyenne de 34.27 pour le traitement (50%), et enfin entre 32.15cm et 25.5cm avec une moyenne de 28.82cm.

L'ANOVA révèle que la différence entre hauteurs des plantes dans les différents traitements est significative excepté entre la concentration 80 et 160 ce qui nous fait regrouper les concentrations en trois 3 groupes :

A : traitement 160 et 80, B : traitement 40 et C : pour traitement 00

Variété Vitron :

Les longueurs des plantes donnent : Une moyenne de 37.20cm est enregistré pour le témoin avec des hauteurs qui vont entre 52.76cm et de 31.84cm, pour le traitement (75%) la moyenne enregistrée est de 31.84 cm pour des valeurs allant de 39.30 et 24.39 cm, au 2^{ème} traitement (50%) les moyennes sont de 29.56cm pour les valeurs allant de 31.6cm et 24.74cm, le dernier traitement la valeur des moyennes est de 23.72cm pour des hauteurs allant de 34.93cm à 15.84cm .

Le traitement statistique indique que la différence est significative entre les hauteurs enregistrées des différentes concentrations, sauf entre le traitement 40 et 80 ce qui nous donne les groupes suivants :

A : 160, B : 40 et 80 ; C : 00

Dans les résultats obtenus pour les trois variétés, il y'a une corrélation entre les hauteurs des plantes et la quantité d'eau du traitement. Plus la plante est irriguées, plus elle augmente en hauteur.

Dans la comparaison des comportements des 3 variétés, entre les trois variétés, dans les 4 concentrations par le teste d'ANOVA (Newman et Keuls)

Les différences entre les 3 variétés sont significatives ainsi que la différence entre les 4 concentrations.

Ce qui révèle que ces plantes sont soumises à des stress dans trois traitements par rapport au témoin.

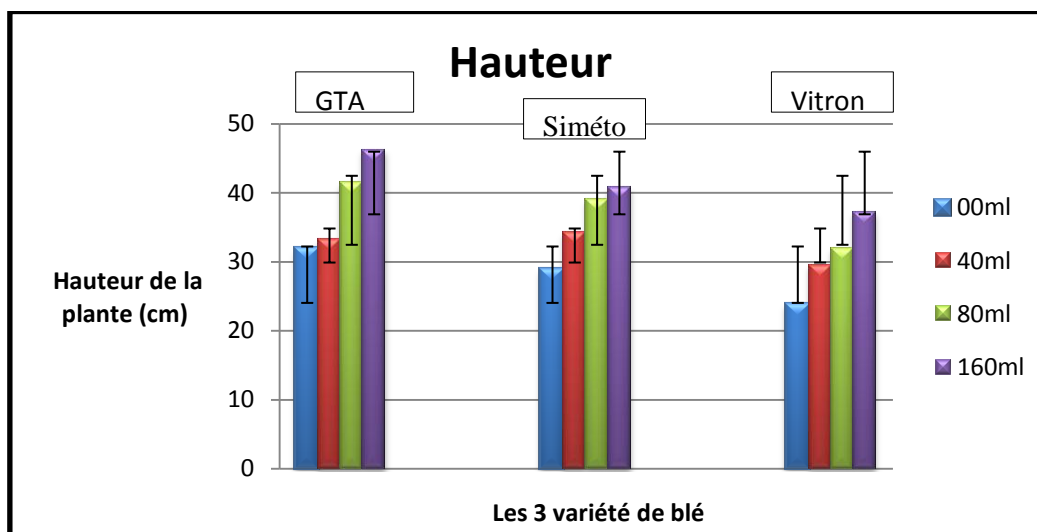


Fig n°13 : Hauteur des plantes chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique

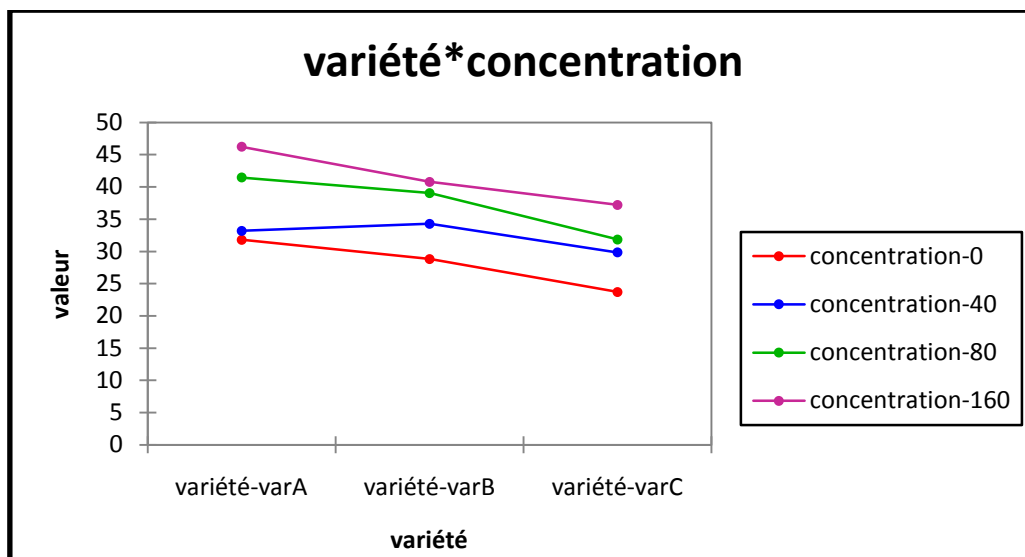


Fig n°14 : comparaison statistique des hauteurs des plantes chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique.

- 1-3- Surface foliaire :

Variété GTA :

Pour cette variété les surfaces obtenues sont comme suit : pour les témoins 29,099 cm² après 18,401 cm² pour le niveau (75%), 17,477 cm² pour le 50% et enfin ça chute jusqu'à 5,85 cm² pour le dernier traitement.

Variété Simeto :

Dans les calculs de la surface foliaire on a obtenus les valeurs suivantes : Dans le témoin la surface est de 25,547cm², qui chute à 19,512 cm² pour le premier niveau de stress (75%), et 17,477cm² pour le (50%) jusqu'à 5,85 cm² pour le dernier traitement (25%).

La surface diminue au fur et à mesure que la quantité d'eau utilisée diminue.

Variété Vitron :

Dans la troisième variété les surfaces des feuilles notées sont à partir de 26,832 cm² pour les témoins, en suite 13,476 cm² pour le premier traitement (75%), 12,501cm² pour le (50%) et enfin chute jusqu'à 3,445 cm² pour le dernier niveau.

Les surfaces foliaires des trois variétés diminuent de façon décroissante avec les traitements hydriques utilisés, plus la quantité d'eau utilisée est importante, plus la surface l'est.

Le test de l'ANOVA Newman Kleus, concernant le comportement des 3 variétés dans les différentes concentrations a révélé des différences significatives, pour toutes les concentrations.

Dans les quatre traitements les trois variétés ont eu un comportement similaires, les résultats sont rapprochés entre les variétés Simeto et GTA. Alors que les résultats du Vitron sont un peut éloigner, ce qui permet de regrouper les variétés dans les groupes suivants :

A: Simeto, GTA; B: Vitron.

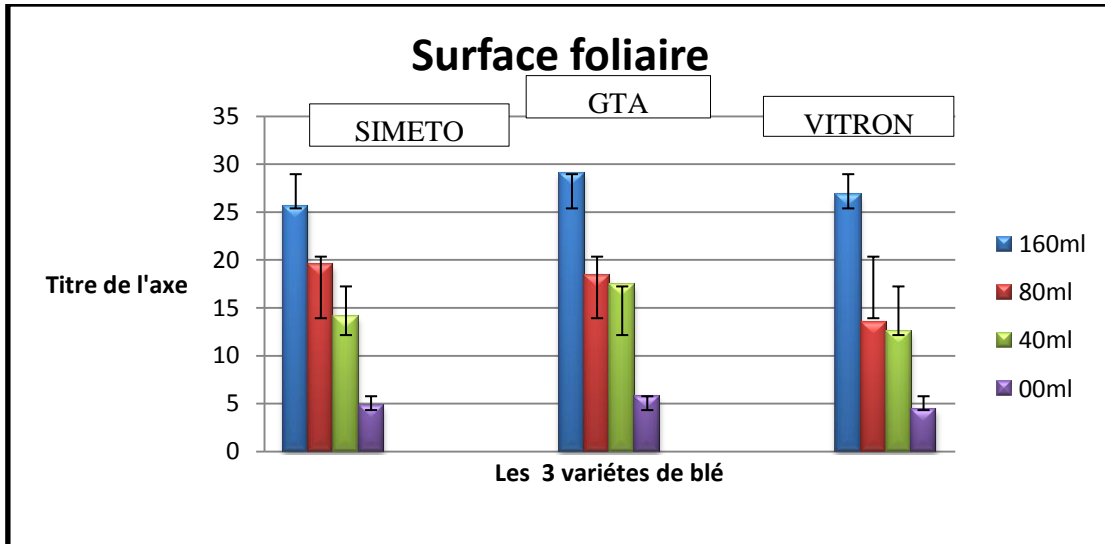


Fig n°15: La surface foliaire chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique.

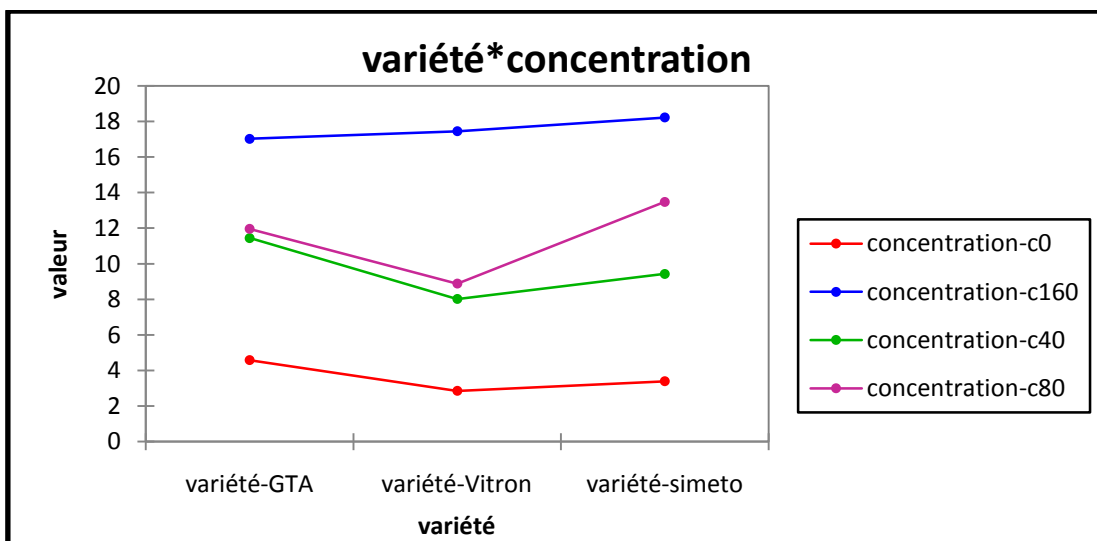


Fig n°16: comparaison statistique de la surface foliaire chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique.

Discussion

Les trois variétés ont eu la même stratégie de tolérance au stress hydrique.

La tolérance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître. L'effet du stress hydrique se traduit, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou génotype, par des modifications pour augmenter l'absorption d'eau et pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilés. (*Passioura, 2004*) Ces modifications affectent la partie aérienne et /ou souterraine

Un stress hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype. Un stress hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles (*Hopkinsw, 2003*).

Longueur des racines : Chez les trois variétés le stress imposé a provoqué une élongation des racines, plus importante autant que le stress impliqué l'est. L'efficacité de l'extraction de l'eau du sol par les racines figure parmi les types d'adaptation permettant à la plante d'éviter ou, plus exactement, de retarder la déshydratation de ses tissus (*Turner et al, 2001*). L'absorption d'eau est donc maximisée par, un investissement élevé au niveau des racines (*Jackson et al, 2000*).

Ces résultats indiquent que la longueur des racines des trois variétés de blé est un critère de tolérance à la sécheresse.

Selon Temagoult ., 2009 la réduction de la surface foliaire suite à la réduction de l'élongation cellulaire est l'une des conséquences du déficit hydrique

La surface foliaire est un déterminisme important de la transpiration. Et même que c'est l'une des premières réactions des plantes au déficit hydrique . Le développement végétatif sous conditions limites d'alimentation hydrique est fortement perturbé (*Ferryra et al, 2004*), on note principalement une diminution importante de la taille et de la surface foliaire.

- **2- Paramètre physiologique :**

- **Chlorophylle (a+b) :**

Variété GTA :

La chlorophylle enregistrée dans cette variété varie selon les traitements : Le témoin a 65.31, dans le 1^{er} traitement 75% on observe une augmentation du taux jusqu'à 68.09 puis une baisse dans le traitement 50% à la valeur de 64.95 et pour le dernier (25%) 62.74.

Les teneurs observées dans cette variété suivent une diminution dans les concentrations selon les traitements, sauf pour le 1^{er} traitement (75%) où l'on a observé une augmentation.

Les différences enregistrées entre les différentes concentrations ne sont pas significatives pour le test d'ANOVA Newman Keuls et donc les quatre concentrations sont dans le même groupe.

Variété Simeto :

Les teneurs en chlorophylle chez cette variété sont : Chez le témoin la valeur de 66.0, dans le 1^{er} traitement 64.61, le 2^{eme} 64.55 et enfin le dernier 61.83, d'où on note une diminution des quantités de chlorophylle de façon décroissante avec les traitements en eau.

L'analyse statistique révèle une différence significative entre le dernier traitement à 00ml et les autres, mais pas pour le reste des traitements entre eux. Et donc ces concentrations sont regroupées en deux groupes

A : Témoins , T1 et T2

B : T3.

Variété Vitron :

Dans cette variété les teneurs chlorophylliennes ne sont pas corrélées : Pour le témoin la valeur est de 63.23 puis une légère augmentation dans le 1^{er} traitement 63.97, dans le 2^{eme} traitement on observe une ré augmentation jusqu'à 67.74 et puis une diminution du taux avec 64.65 dans le dernier traitement (25%).

Pas de différence significative pour cette variété dans les 4 concentrations.

De façon générale, les 3 variétés ont des comportements différents par rapport à la quantité de chlorophylle, chez Simeto et GTA , la concentration de la chlorophylle diminue avec le stress sauf que chez le GTA dans le traitement à (75%) on note une augmentation .

Quant à la variété Vitron les résultats ne sont pas du tout coordonnés.

Les comparaisons par le test d'ANOVA des trois variétés dans les quatre concentrations révèlent une différence significative entre les traitements 1 et 3, pas de différence entre les comportements des 3 variétés dans les 4 concentrations.

Mais on note que la 3^{em} variété a les concentrations les plus basses.

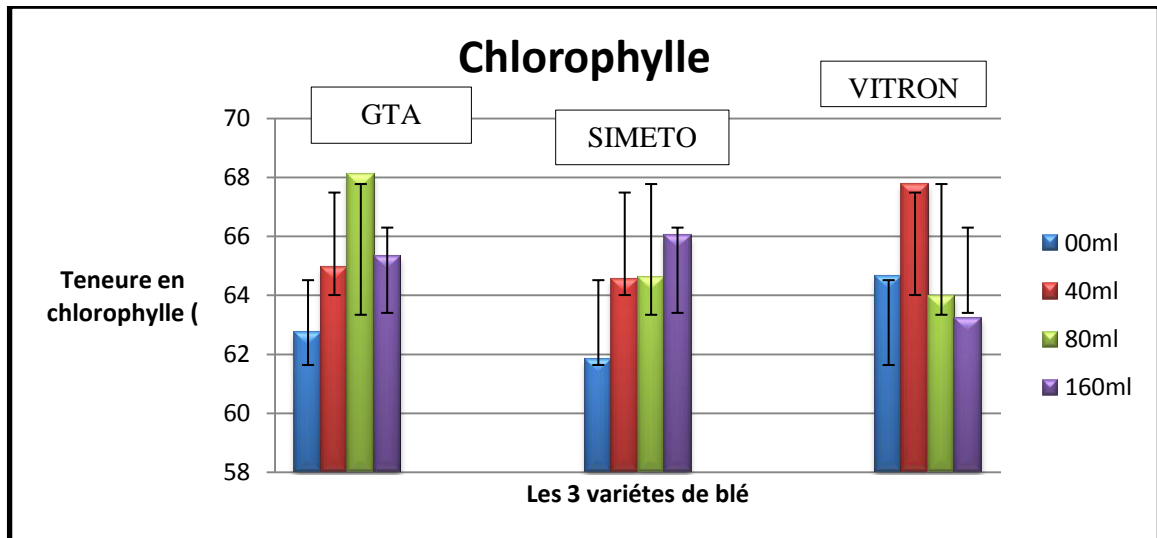


Fig n°17 : Variation de la teneur en chlorophylle chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique.

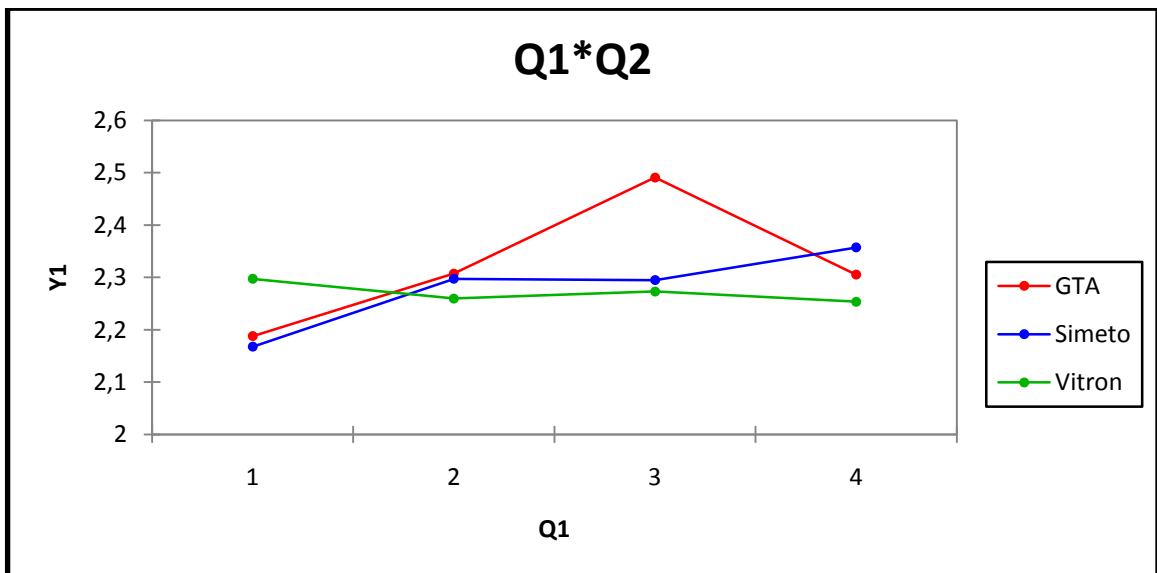


Fig n° 18: comparaison statistique de la teneur en chlorophylle chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique.

Discussion :

Les résultats de ce travail ont mis en évidence une diminution de la teneur moyenne en chlorophylle a+b chez les variétés Simeto et GTA, Selon Ernez et Lannoye (1991), l'altération de l'état physiologique des plantes, causée par des conditions défavorables de l'environnement, se reflète rapidement au niveau des signaux lumineux et thermiques émis par les feuilles. Pour limiter les pertes en eau par évaporation et aussi l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO2 atmosphérique nécessaire à la photosynthèse, l'économie de l'eau se traduit par une turgescence relative moins affectée par le stress conduisant à une

dilution de la chlorophylle (*Slayter, 1974 in Mouellef, 2010*).ce qui explique la chute des teneurs en chlorophylle chez les deux variétés.

Lorsque la plante subit un stress, le niveau de Chlorophylle diminue, affectant la coloration de la plante et ralentissant ses activités de croissance.

Les teneurs en Chlorophylle a et b et en Chlorophylle a+b observées chez la variété Vitron ne sont pas en corrélation avec les niveaux de stress appliqués, cela résulte probablement du fait que cette variété a été atteinte par la maladie de l'oidium qui a touchées les plantes au stade de tallage ,il est a noté que les trois variété ont été touchés , mais que le Vitron était la variété la plus sensible et où la maladie s'est le plus propagée, c'est pour quoi y'a eu cette grande différence entre les résultats pour ce paramètre. Le fait que les répétitions pour ce paramètre ne soit pas suffisant peut expliquer pourquoi la différence entre les résultats ne sont pas significatives.

- **3- Paramètre biochimique :**

- **Le sucre :**

Variété GTA :

Dans cette variété l'accumulation des sucres commence avec la concentration de 3.66 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) chez le témoin, et augmente au 1^{er} traitement avec 4.60 puis 4.64 dans le 2^{eme} traitement, et enfin dans le dernier on note une légère baisse de concentration à 4.62.

Variété Simeto :

La concentration des sucres solubles enregistrée pour cette variété est : Chez le témoin de 4.29 qui augmente légèrement dans le 1^{er} traitement à la valeur de 4.48 en suite dans le 2^{eme} traitement jusqu'à 4.5 pour attendre 4.65 dans le dernier traitement.

Variété Vitron :

Pour le Vitron l'accumulation des sucres suit les concentrations suivantes : Pour le témoin la valeur de 4.12, dans le 1^{er} traitement on note une augmentation de la teneur jusqu'à 4.26, le 2^{eme} traitement cette teneur est de 4.84 puis une légère diminution jusqu'à 4.41.

Dans les 3 variétés le taux d'accumulation des sucres varie, pour le Simeto, le taux augmente avec le taux de stress, pour le GTA, c'est le même comportement sauf une légère différence entre les deux premiers traitements.

Chez le Vitron par contre on observe une augmentation puis rediminution entre les deux derniers traitements.

Selon le test d'ANOVA fait sur les trois variétés pour les accumulations en sucre dans les différents traitements : pas de différence enregistrée entre les valeurs dans les différents traitements.

Quant à la comparaison des trois variétés et les quatre traitements, il n'y a pas de différence significative entre les variétés ils sont.

La valeur la plus basse ce ci dit est enregistré chez la variété Vitron.

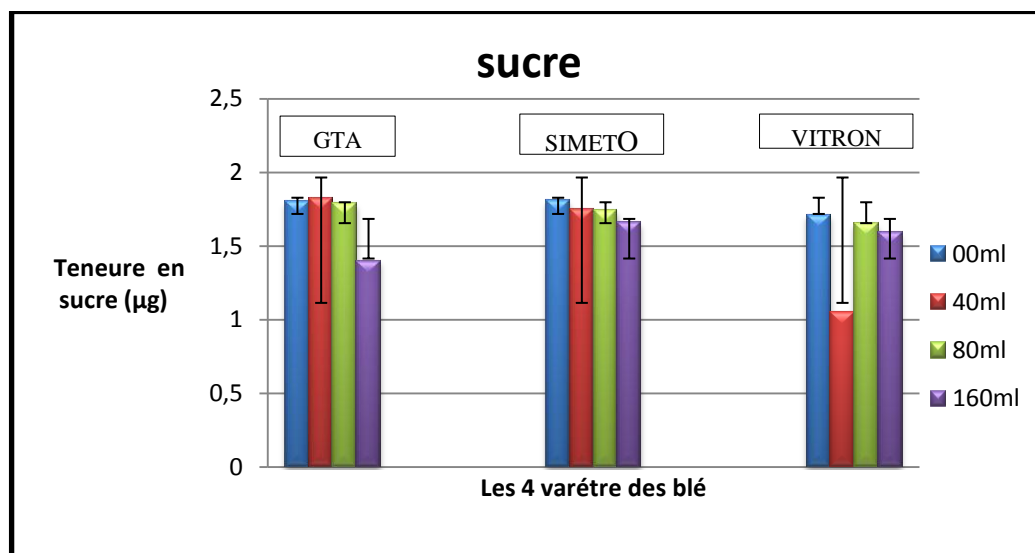


Fig n° 19: Variation de la teneur des sucres solubles chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique

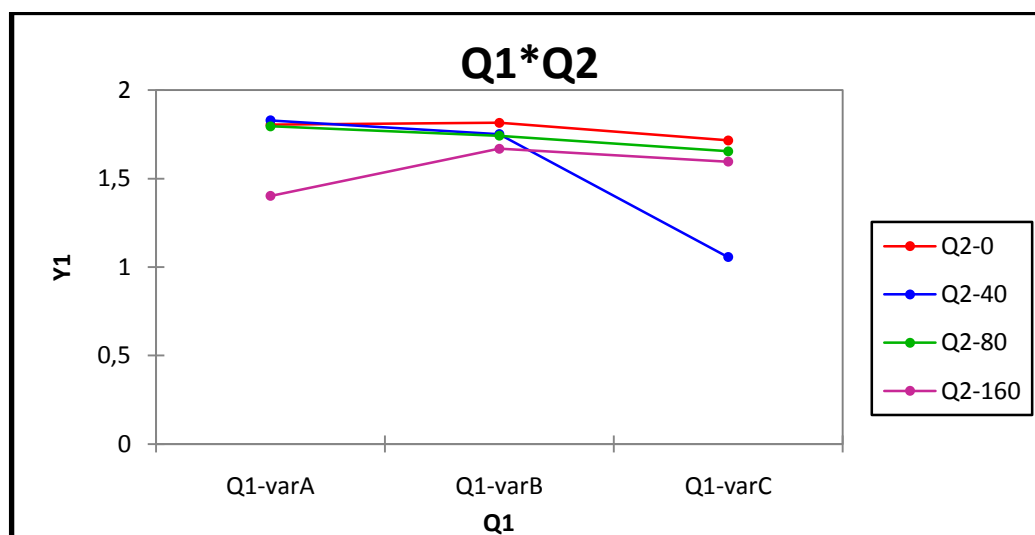


Fig n°20 : comparaison statistique de la teneur des sucres solubles chez les 3 variétés étudiées en fonction de l'intensité du stress hydrique.

Discussion :

L'accumulation des sucres sont considérés par plusieurs auteurs comme des bons osmo-régulateurs qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes à la sécheresse (*Slama, 2002*). Ils protègent les membranes contre la déshydratation, en condition de déficit hydrique, et participent en grande partie à l'abaissement du potentiel osmotique chez le blé.

Les plantes stressées des trois variétés ont réagi par l'augmentation des quantités de sucres solubles au niveau de leurs cellules au fur et à mesure que le stress augmente, cette augmentation est une confirmation des résultats des chercheurs qui ont affirmé que le déficit hydrique cause une accumulation importante des sucres solubles au niveau des feuilles (*Zerrad et al., 2006*).

Généralement on pense que l'accumulation des sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse des réserves en particulier l'amidon mais aussi une modification du métabolisme carboné (*Le poivre, 2003*).

Les osmolytes, les plus importants, qui s'accumulent chez les céréales en conditions de déficit hydrique, sont représentés, entre autres, par le sucre et la proline. Ces osmolytes jouent un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation de la plante au manque d'eau (*Slama, 2002*).

Discussion générale :

Dans ce travail, nous avons déterminé les effets du stress hydrique sur quelques paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques ; où nous avons observé une diminution de ces derniers.

Selon les résultats obtenus il paraît que la partie aérienne est plus affectée que la partie racinaire. Pour s'adapter au manque d'eau et maintenir l'hydratation et la turgescence de ses tissus, la plante va faciliter l'entrée d'eau au niveau des racines. Soit en augmentant la conductivité hydraulique (composition membranaire) ou en effectuant un ajustement osmotique (contrôle des concentrations en solutés). Ces stratégies mises en œuvre pour maintenir l'homéostasie en condition de stress hydrique ou ionique sont consommatrices d'énergie et de ressources qu'elles détournent au dépend de la croissance (Dubois, 2005).

La diminution de l'activité photosynthétique, lors d'un stress hydrique, est en relation avec la fermeture des stomates (Tabaeizadeh, 1998). Selon les travaux de (Reichman, 2002), Les teneurs en chlorophylle a, b et totale ont été réduites sous une concentration élevée en Cu.

Dans ce travail nous nous sommes également intéressés à la teneur en sucre solubles. De nombreuses études mettent en évidence une accumulation de teneurs élevées en sucres solubles chez différents types de plantes soumises à différents stress : hydrique (Bouchelaghem et al., 2012) ; salin (Zid et Grignon, 1991), osmotique (Abdelkrim et al., 2005) et métallique (Bouchelaghem et al., 2011). Cette augmentation est en réalité un paramètre d'adaptation aux conditions de stress (Tahri et al, 1998), permettant de constituer une garantie pour le maintien d'une intégrité cellulaire élevée (Mefti et al, 1998).en effet, les sucres peuvent protéger les membranes et les protéines contre la déshydratation en incitant la formation d'une sorte de verre aux températures physiologiques. Le saccharose peut agir en tant que composé soluble compatible et son accumulation peut permettre d'éviter la cristallisation des molécules contenues dans la cellule. Elle limite donc les dommages au niveau des structures cellulaires.

L'accumulation des solutés organiques (sucres, proline) n'est autre qu'un phénomène d'adaptation au stress, permettant à la plante de maintenir sa turgescence par la diminution du potentiel hydrique, c'est une forme d'ajustement de son potentiel osmotique (Monneveux, 1991).

Conclusion :

L'étude de la réponse au stress hydrique chez trois variétés de blé dur testées révèle une variabilité pour la plupart des paramètres mesurés. L'effet du stress hydrique est bien marqué entre les individus témoins et les stressés chez les trois variétés expérimentées.

Lors des essais conduits sous serre, nous avons étudié la réponse de trois variétés de blé dur au stress hydrique (100, 75, 50 et 25 % de CR), par analyse de variance de quelques paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques. On a pu observer une diminution de la surface foliaire et de la hauteur des plants et une élongation des racines.

Une diminution du taux de chlorophylle a, b et totale chez les trois variétés Simeto GTA et Vitron avec une incohérence dans les résultats chez cette dernière. Accumulation des sucres solubles chez toutes les variétés.

La corrélation entre la partie souterraine et aérienne est affectée par le stress hydrique : Augmentation de la longueur des racines des trois variétés impactées sur la hauteur des plants.

La réduction de la surface foliaire chez les trois variétés testées, quand le stress hydrique est très important, est un mécanisme de réduction des besoins en eau et provoque la réduction du taux de chlorophylle totale. Le stress hydrique induit une baisse dans les taux de Chlorophylles a et b, inversement il provoque une augmentation du taux des sucres solubles.

La réponse biochimique, évaluée à travers le processus d'accumulation des sucres solubles des trois variétés testées sous stress hydrique, a mis en évidence la capacité de ces variétés à synthétiser et accumuler des sucres solubles. L'accumulation de ce composé organique au niveau des feuilles est un phénomène lié aux régimes hydrique et aux variétés.

Les variétés étudiées ont utilisé la même stratégie de tolérance vis-à-vis du stress hydrique mais avec des doses différentes, pour la plus part du temps les variétés Smeto et GTA avait des résultats proches, mais la variété Vitron avait des résultats éloignés.

Ainsi, Simeto et GTA seraient plus tolérant que Vitron.

Donc en conclue que les trois variétés utilisent le même stratège pour la tolérance au stress hydrique mais la variété Vitron est beaucoup plus sensible que les variétés GTA et Simeto.

En perspective à ce travail on propose de :

- Étudier d'autres paramètres physiologiques, morphologiques et biochimiques.
- Proposer une étude plus longue allant jusqu'au stade graine.
- De compléter le travail par des études de biologie moléculaire pour identifier les gènes responsables.

Références bibliographiques :

- Abdelkader D., (2009).** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques .Revue nature et technologie .n°01.PP45-53.
- Abecassis J., (1993).**Nouvelles possibilités d'apprécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés. Ind. Céréales N° 81. pp 35.
- Aboussouan-seropain C et Planchon C., (1985) .**Réponse de la photosynthèse de deux variétés de blé à un déficit hydrique foliaire. *Agronomie*, 5(7):639-644.
- Adda A, Sahnoune M, Kaid-harch M et Merah O., (2005).** Impact of water deficit intensity on *durum wheat* seminal roots. *C. R. Biologies*, 328: 918-927.
- Alain A, Françoise D, Jean-Michel F ; Gillot Christophe L ; Paul L ; Thierry P et l'ensemble des adhérents de l'ABDD., (2004).** Les bases de la culture. Fiche technique blé dur. Arvalis. 3pages.
- Amokrane A, Bouzerzour H, Benmahammed A et Djekoun A., (2002).** Caractérisation des variétés locales, Syriennes et européennes de blé dur évaluées Constantine, numéro spécial. 33 –38p.
- Anonyme., (2005).** Profil de la culture du blé au Canada. Centre pour la lutte antiparasitaire. Programme de réduction des risques liés aux pesticides. Agriculture et Agroalimentaire Canada. 36p
- Anonyme ., (2015) .**Centre national de contrôle et de certification des semences et plants . Edition 2015. Buletin des variétés de céréales autogames.
- Anonyme., (2015).** I.T.G.C : L'irrigation d'appoint du blé.
- Baldy C., (1973).** Progrès récents concernant l'étude du système racinaire du blé. *Ann. Agron.* 24 (2).
- Belaid D., (1987).** Aspect de la céréaliculture Algérienne. Edition OPV. Alger, pp207.
- Belaid D., (1996).** Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed. Office des publications universitaires, Ben-Aknoun (Alger), 206 p.
- Belin Ch., (2006) .**Structure et fonction de la protéine Kinase OSII dans la cellule de garde d'*Arabidopsis Thaliana*. Université de paris-sud U-R-F scientifique d'Orsay. Paris, thèse de doctorat : 12p.
- Bendarradji L, Hadji N, Kellou K, Benniou R et Brini F., (2016).** Effet du NaCl et PEG 6000 sur le comportement morpho physiologique et biochimique des variétés de blé dur et tendre. *Revue Agriculteur*, N°1 :278-286.

- Benhamou N., (2009).** La résistance chez les plantes. Principes de la stratégie défensive et applications agronomiques. Ed. TEC et DOC. Paris. 213-218p.
- Benjelloun M, Rais CH, Wahid N, Elghadraoui L et Alaoui Mhamdi M., (2013).** Evaluation de la tolérance de *Myrtus communis* L. au stress hydrique au stade germinatif. Bulletin de l'institut scientifique, Rabat, section science de la vie, N°35 :19-26.
- Benkaddour M., (2014).** Modification physiologique chez des plantes de blé (*Triticum durum* desf) exposées à un stress salin. Université badji Mokhtar, Annaba. Thèse de doctorat : 23-80-81p.
- Benlaribi M, Monneveux P et GrignacP. , (1990).** Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* desf). *Agronomie*, N°10 :305-322.
- Ben Naceur M, Gharbi M S et Paul R., (1999).** L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. *Sécheresse*; 10: 27-33.
- Bonnefoy M et Moynier J.L ., (2014).** Besoins en eau des céréales. Colloque au champ- Irrigation-le Magneraud, Arvalis, France.
- Bouchelaghem S, Djebbar Berrebbah H et Djebbar MR., (2001).** The impact of dust emits by the steel complex of El Hadjar (ANNABA) on two biological models: Mousses and lichens. *African Journal of Biotechnology* Vol. 10(18), 3574-3578.
- Bouchelaghem S., (2012).** Contribution à l'étude de l'impact d'un engrais couramment utilisé en algerie (NPK) sur la croissance le métabolisme et le développement racinaire d'un modèle Végétale blé dur. Thèse de doctorat. Univ. Constantine.
- Bousba R, Djekoun A, Duraa S et Ykhlef N. ,(2013).** Caractérisation moléculaire et association marqueur SSR phénotype pour la tolérance au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* desf), *European Scinetific Journal*, vol 9, N°12:186-201.
- Boutigny A L., (2007).** Etude de l'effet de composés du grain de blé dur sur la régulation de la voie de biosynthèse des trichothécènes B : Purification de composés inhibiteurs, analyse des mécanismes impliqués . Thèse doctorat présentée à l'Universite BORDEAUX1. Ecole doctorale de sciences du vivant, geosciences, sciences de l'environnement .N° d'ordre : 3478.
- Boyer JS., (1985).** Water transport. *Ann Rev plant physiol.*, 36: 473-516.
- Chahbar S., (2008).** Études des paramètres morphologiques et physiologiques de résistance à la sécheresse chez la fève (*Vicia faba* L). Laboratoire de physiologie végétale, Oran. Mémoire de magister : 15-16p.

- Cherfia R., (2010).** Etude de la variabilité morpho-physiologique et moléculaire d'une collection de blé dur algérien (*Triticum durum Desf.*). These de Magistère en Biotechnologies végétales. Université Mentouri, Constantine. 118 pages.
- Claire C, Jean F et Hervé L., (2013).** Le Blé, une plante modèle pour étudier la biologie végétale.
- Clarke JM et Mc Craig TN., (1982).** Evaluation of techniques for screening for drought resistance in wheat. *CropSci.*, 22:503-506p.
- Clement G et Prats J., (1970).** Les céréales. Ed. IB. Baiers et fils, 360P.
- Clement G et Prats J., (1971).** Les céréales Collections d'enseignement agricole 2eme Ed, Ballier France. 351p.
- Clerget Y., (2011).** Biodiversité des céréales Origine et évolution. In La biodiversité des céréales et leur utilisation par l'homme. Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard. Extrait de la vidéoconférence du Service éducatif du Muséum Cuvier de la Ville de Montbéliard « La biodiversité des céréales et leur utilisation par l'homme » publié dans le bulletin 2011 de la Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard. 1-16p.
- Clerget Y., (2011).** Biodiversité des céréales origine et évolution, 16 pages.
- Djekoun A et Yeklef N., (1996).** Déficit hydrique : effets stomatiques et non stomatiques et activités photosynthétiques de quelques génotypes de blé tétraploïdes : 3^o réunion du réseau Sewana de blé dur – Hassen ; 6.7 dec 1996.
- Dubois M, Gilles K, Hamilton A, Ruberg A, et Smith F., (1956).** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*. 28.3:350- 356p.
- El Hakimi A, Monneveux P et Galiba G., (1995).** Soluble sugars, proline, and relative water content as traits for improving drought tolerance in *Triticum durum*. *J. Gen. Breed.*, 49: 234-244.
- El mourid M, Karroum et El gharous M., (1996).** La recherche en aridoculture respectueuse de l'environnement. *Al Awamia*, 92: 69-81.
- Ernez M et Lannoye R., 1991.** Quantification des désordres photosynthétiques chez la plante stressée: aspects conceptuels et méthodologiques, L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris : 9-23.
- Erroux J. et Laumont P., 1961.** Mémoire de la société d'histoire naturelle de l'Afrique du nord, 5, 95 p.
- FAO., (2017).** Perspective alimentaires. Analyse des marchés mondiales. <http://www.fao>.
- Feillet P., (2000).** Le grain de blé : composition et utilisation. *INRA*. Paris : pp 23-25.
- Folkert A, Hoekstra E, Golovina C et Buitink M., (2001).** Mechanisms of plant

desiccation tolerance. Trends in plant science. Vol 6. **9**: 431-438 p.

Fritas S., (2012). Etude bioécologique du complexe des insectes liés aux cultures céréalières dans la région de Batna (Algérie).thèse de Magister en Ecologie et biologie des populations. Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 115pages.

Gallais A et Bannerot H., (1992). Amélioration des espèces végétales cultivées –Objectifs.

Gate P., (1995) .Ecophysiologie du blé de la plante à la culture -Ed. DOC-la voisior I.T.C.F-France-pp 417.

Garcia D,El moral L.F, Rharrabti Y., Villegas D et Royo C., (2003). Evaluation of Grain Yield and its Components in Durum Wheat under Mediterranean Conditions: An Ontogenic Approach. Agron, 95: 266-274.

Guettouche R., (1990). Contribution à l'identification des caractères morpho physiologiques d'adaptation à la sécheresse chez le blé dur – Thèse DAA mise en valeur du milieu naturel – ENSA Montpellier.

Hamel L., (2010). Appréciation de la variabilité génétique des blés durs et des blés apparentés par les marqueurs biochimiques. Thèse de Magister en génomique et techniques avancées des végétaux. Université Constantine 1. 83 pages.

Hennouni N., (2012). Evaluation du métabolisme respiratoire et enzymatique des racines de blé dur (*Triticum durum Desf*) issues de plantes infectées par les maladies cryptogamiques et de plantes traitées avec un fongicide (ARTEA EC 330). Thèse de doctorat en Toxicologie Cellulaire. Université Badji Mokhtar, Annaba. 142 pages.

Hopkins., (2003). Physiologie végétale. Editions de Boeck. Université rue des minimes, Bruxelles : 451-464 p.

Jean-Pierre A, Philippe D, Bernard I, Gilles L,BernardS,François T et Alban T .,(2006) . Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA.France. 72 p.

Kouassi A., (1984) .Essais de culture in vitro de jeunes plants de gmélina arboréa roxb. (verbénacées) élevés au laboratoire. Mentions légales - Contacts - Siège : 16, rue Claude Bernard F - 75231 PARIS Cedex 05.

Laurent H et Sané P ., (2007) .Transfert d'eau et d'énergie. In : Bioclimatologie. Concept et application. Ed. Quae. Paris. 246p.

Kherfi W et Brahmi ., (2011) .Mémoire étude de l'effet du stress salin sur la germination de blé dur (*triticum durum*).

- Kiani P., (2007).** Analyse génétique des réponses physiologiques du tournesol (*Helianthus annuus L.*) soumis à la sécheresse. Thèse Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Lezzar H et Meziani A., (2015).** Recherche in silico et conception d'amorce des gènes de tolérance au stress abiotique chez le blé. Mémoire .Université des Frères Mentouri Constantine1.P :3-10.
- Madhava Rao KV, Raghavendra A S et Janardhan ReddyK., (2006)** .Printed in the Netherlands. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer*1-14p.
- Maury P,Langlade N, Grieu P, Rengel D, Sarrafi A,DebaekeP et Vincourt P. ,(2011)** .Ecophysiologie et génétique de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol.Innovations Agronomiques. **14** : 123-138.16p.
- Masle M., (1980).** L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver- Influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière. Thèse de docteur- ingénieur. INA-PG, paris, p 274 in études de la variabilité morpho-physiologique et moléculaire d'une collection de blé dur Algérien (*Triticum durum Desf*).
- Mefti M, Bouzerzour, H, Abdlguerfi A et Nouar H., (2008).** Morphological and growth characteristics of Perennial Grass, cultivars grown under semi-arid conditions of the Algerian high plateaus. Journal of agronomy, 7 (2): 138 – 147.
- Mekhlouf A, Bouzerzour H, Benmahammed A, Hadji Sahraoui A et Harkati N., (2006)** .Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum*) au climat semi-aride. *Sécheresse*, vol 17 N°4 :507-513.
- Mekhlouf A., (2006).** Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum*) au climat semi-aride. *Sécheresse*, vol 17 N°4 :507-513.
- MENACER F., (2007).** Contribution à l'étude de l'effet de la salinité sur un marqueur biochimique, cas de la proline chez *Atriplex halimus L.* et *A triplex conescens (purch) Nntt*, Pp99.
- Meyer W.S. et Alston A.M., (1978).** Resistance to water flow in the seminal roots of wheat. Journ. Exp. Bot. Vol. 29 (113).
- Michèle M, Roger P et Jean-Claude R.,(2006).** Biologie et multimédia-Sorbonne université-UFR des sciences de la vie.
- Monneveux P et This D., (1997)** .La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés. ENSA, INRA 2, *Sécheresse*, vol 8, N°1 :29-37p.
- Monneveux P., (1991).** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydriques des céréales d'hiver. *In* : l'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. AUPELF-UREF. Ed. John Libbey. Eurotest .pp: 165- 186.

- Mouellef A., (2010).** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum Desf.*) au stress hydrique. Mémoire de magistère. UnivMentouri. constantine.
- Moule C., (1980)** .Bulletin FAO d'irrigation et de drainage N° 35. « La mécanisation de l'irrigation par aspersion », pp91-92.
- Mosiniak M, Prat P et Roland J.C., (2006).** Biologie et multimédia. Université Pierre et Marie Curie.
- Nabors M., (2008)** .Réponse des plantes aux hormones et aux stimuli environnementaux. In : biologie végétal. Structure, fonctionnement, écologie et biotechnologie. Ed. Pearson Education. France. 247p.
- Nadjem K., (2012).** Contribution a l'étude des effets du semis direct sur l'efficience d'utilisation de l'eau et le comportement variétal de la culture de blé en région semi-aride. Thèse de Magister en Production Végétale et Agriculture de Conservation. Université Ferhat Abbas Sétif, 131 pages.
- Neffar F., (2013).** Analyse de l'expression des gènes impliqués dans la réponse au stress abiotiques dans différents génotypes de blé dur (*Triticum durum*) et l'orge (*Hordeum vulgare*) soumis à la sécheresse Ecologie et biologie végétale, université Ferhat Abbas, Sétif, Thèse doctorat : 1p.
- Oukarroum A., (2007).** Vitalité des plantes d'orges (*Hordeum vulgare*) en condition de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Université de Genève, laboratoire de bioénergétique et microbiologique : 2p.
- Prat J., (1971).** Les céréales. Tome II. J.B. Baillere et fils. 351p.
- Passioura J., (2004).** Increasing crop productivity when water is scarce: From breeding to field management In: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet" Brisbane, Australia. 12pages.
- Radhouane L., (2011).** Comportement physiologique de deux espèces de tabac au stress salin. Revue des régions aride. Institut des régions arides-Médenine-Tunisie. **5**: 3-14p.
- Reichman S.M., (2002).** The Responses of Plants to Metal Toxicity: A review focusing on Copper, Manganese and Zinc. The Australian Minerals & Energy Environment Foundation. 157pp.
- Scofield T, Evans J, Cook M.G et Wardlaw I.F., (1988).** Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. Aust.J.Plant physiol, 4: 785-797p.
- Slama A., (2002).** Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie. Tunis.

- Slama A, Bensalem M, BenNaceur M et Zid E., (2005).** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse*, vol 16, N°3 :225-229.
- Soltaner D., (1988).** Les bases de la production végétale.Ed.collec-sci et tech.Agri, Paris, 566P.
- Soltaner D., (1988).** Phytotechnie spéciale, la grande production végétale 16 ème ED.Pp417.
- Soltaner D., (2000).** Phytotechnie générale : les bases de la production végétales.Tome1 : le sol et son amélioration. Ed. Collection sciences et techniques agricoles, 467P.
- Surget A et Barron C., (2005).** Histologie du grain de blé. Industries des céréales. INRA, N°145 : 3-7p.
- Tabaeizadeh Z., 1998.** Drought-induced responses in plant cells. *Int Rev Cytol*, 182: 193-247.
- Tahri E, Belabed A, Sadki K., (1997).** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). *Bulletin de l'institut Scientifique*, Rabat, N°2 : 81-87
- Tanner C.B. et Sinclair T.R.,(1983).** Efficient water use in crop production, In: **Taylor, H.M, Jordan, W.R, Sinclair, T.R.** (Eds). Limitations to efficient water Use in Crop Production. American Society of Agronomy Madison WI. : 29-43.
- Temagoult M., (2009).** Analyse de la variabilité de la réponse au stress hydrique chez des lignées recombinantes de Tournesol (*Helianthus annus L.*) Thèse de Magistère Université Mentouri Constantine .
- Turner MG, Gardner RH, O'Neill RV., (2001).** Landscape Ecology in Theory and Practice. New York: Springer-Verlag. 401 pp.
- Veselovsky H., (1985).** Sunflower growing. *J. Selyskoe Hozayaystvo I lesovodstvo*. T.O. XLVIII (In Russian).
- 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 WX, Brak T, Vinocur B, Shoseyov O et Altman A.,(2003).** Abiotic resistance and chaprones: possible physiological role of SP1, a stable and stabilising protein from Populus.
- Wangxia A, Vinocur P et Altmn A., (2003).**plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance", plant, Pp1-14.
- Yokota A, Takahara K et Akashi K.,(2006).** Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer: 15-39.
- Yves H et Buyer J., (2000).** L'origine des blés. Pour les sciences hors série n° 26. pp60 - 62.

- Zahour, 1992.** Eléments d'amélioration génétique des plantes. Ed. Actes. 223p.
- Zeitoun R., (2011).** Procédés de fractionnement de la matière végétale Application à la production des polysaccharides du son et de la paille de blé. Thèse en vue de l'obtention du doctorat de l'université de Toulouse en science des agro-ressources. L'université de Toulouse.291 pages.
- Zerrad W., Hillali S., Mataoui B., El Antri S. et Hmyene A., 2006.** Etude comparative des mécanismes biochimiques et moléculaires de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. Biochimie, Substances naturelles et environnement. Congrès international de biochimie. Agadir.
- Zerrad W, Maataoui B S, Hilali S, El Antri S, Laza S et Hmyene A., (2009)** .The effect of hydric stress upon the synthesis of four isoenzymes of two varieties of *durum wheat*. *Scientific study end Reseach*, vol 3 :253-259.
- Zgallai H., (2007).** Etude des caractères morphologiques des plantes de tomate soumises à un déficit hydrique en milieu hydroponique, *Sècheresse*, vol 18, N°1 :57-64.
- Zid E et Grignon C., (1991).** Tests de sélection précoce et résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique, L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux aride., Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris. 91-108.