



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 محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences Biologiques

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine Des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : phytopathologie

Thème

**Etude de Comportements morphologique
physio-biochimique de trois variétés de blé dur
(Triticum durum Desf) sous stress hydrique et
Pré-condition stress**

Présenté par : ABAD Khalissa
BENSAAD Karima
TITOUH Amina

Devant le jury :

Président : M^{me}Bourahla A.

M.A.A (Univ BBA)

Promoteur : M^{me}Kelaleche H .

M.A.A (Univ BBA)

Examineur : M^rMaamri Kh.

M.A.A (Univ BBA)

Année universitaire : 2015/2016

Au niveau de cette expérience, le comportement des trois variétés de blé dur étudiés vis-à-vis du stress hydrique (chaque variété traitée sous stress hydrique et pré-condition : au stade de plantation et germination) est analysé par une étude morphologique (élongation des feuilles), physiologique (Teneur relative en eau, taux de chlorophylle) et biochimique (Teneur en proline).

On rappelle que tous ces paramètres ont été mesurés sur la 2^{ème} feuille bien développée. Les résultats de tous les paramètres sont présentés dans l'ordre suivant :

III.1. Variation des paramètres morphologiques

Pour rendre compte l'effet des différents traitements du stress hydrique et pré-condition stress sur la morphologie des trois variétés testés nous avons étudiée le paramètre suivant : élongation des 2^{ème} feuilles.

II.1.1. L'effet de stress hydrique et pré-condition stress sur l'élongation des 2^{ème} feuilles

Les résultats de l'analyse de différence, montre que l'effet de traitement de stress hydrique est impact une différence significative ($P \leq 0.05$) sur l'élongation des 2^{ème} feuilles dans les trois variétés. (Tab.01, 02,03 Annexe2)

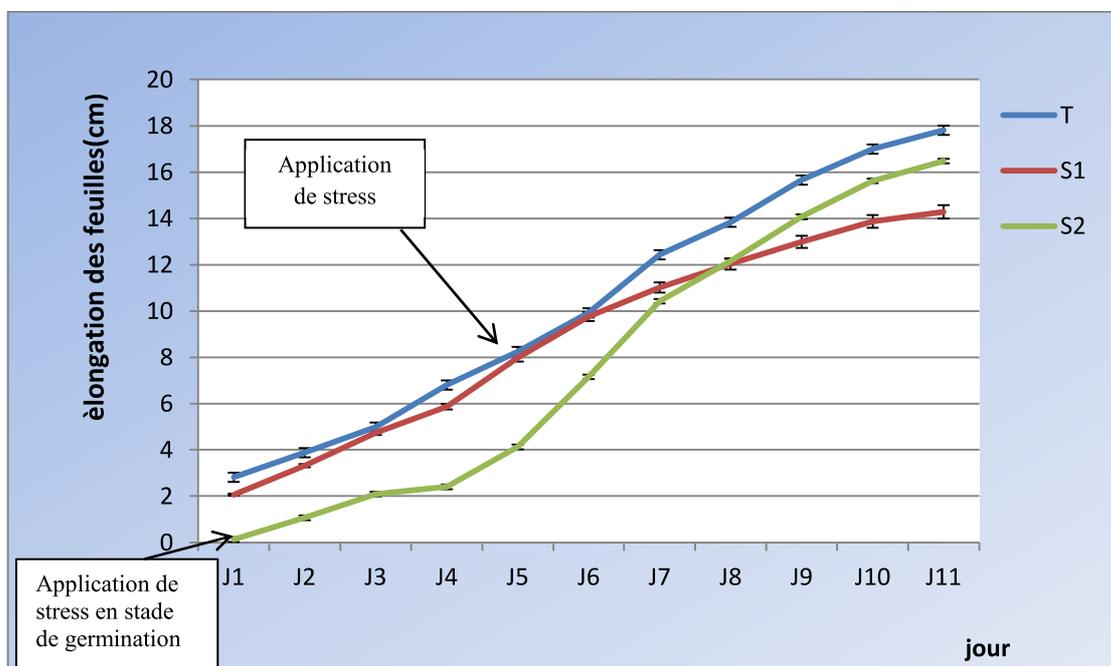


Figure 18 : L'effet du stress hydrique et pré-condition stress sur l'élongation de 2^{èmes} feuilles chez la variété Mexicali.

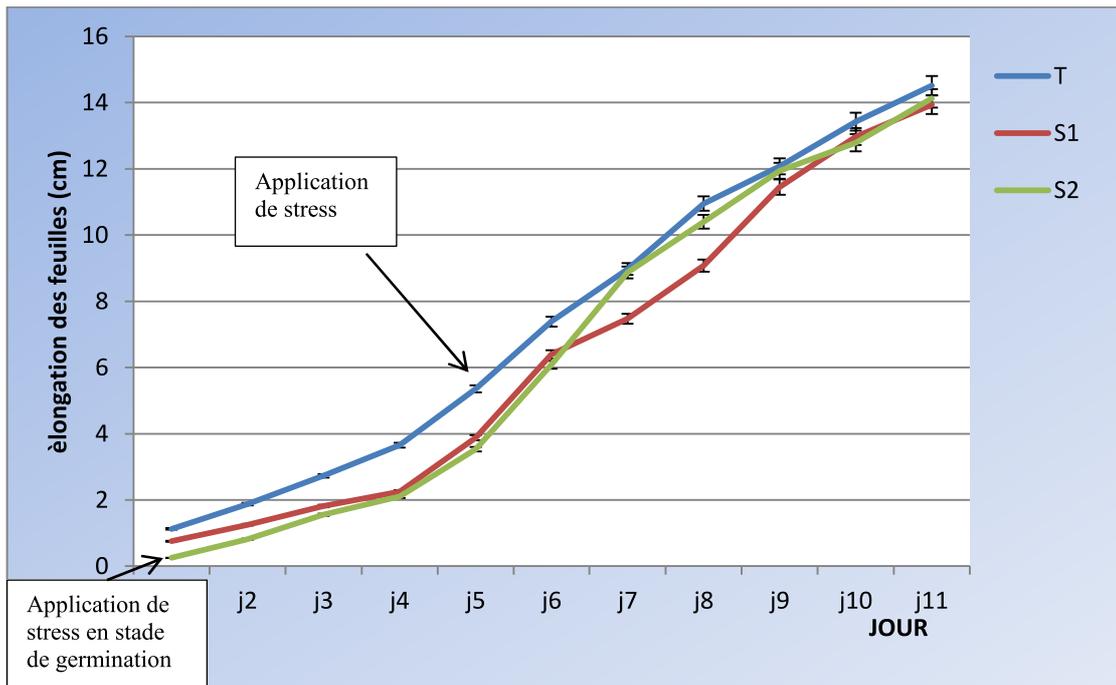


Figure 19 : L'effet du stress hydrique et prè-condition stress sur l'élongation de 2^{ème} feuilles chez la variété Waha.

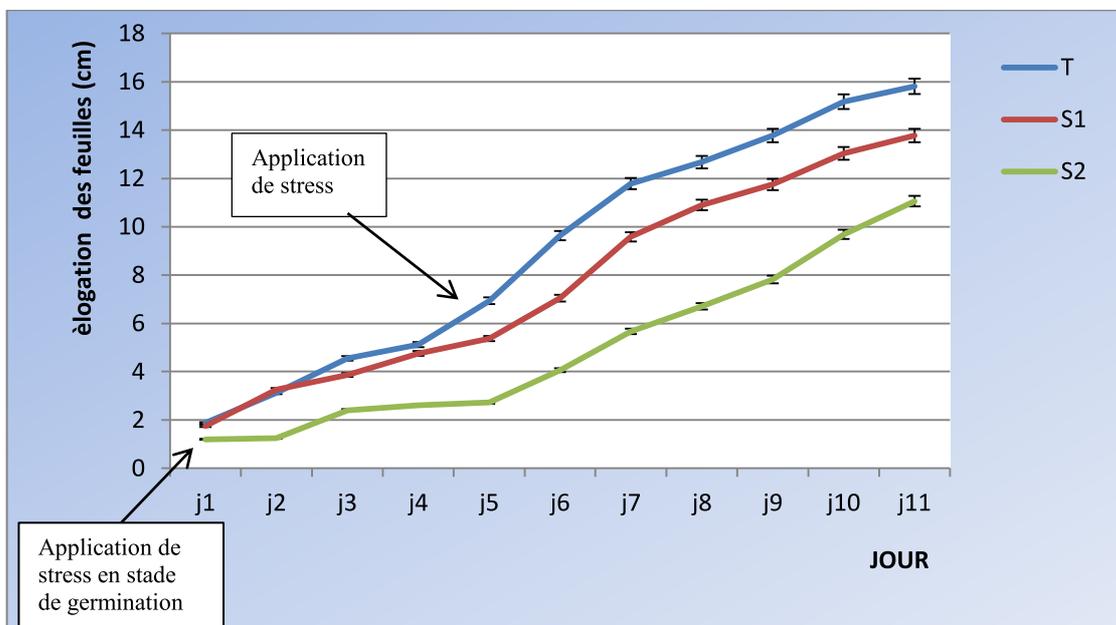


Figure 20 : L'effet du stress hydrique et prè-condition stress sur la l'élongation de 2^{ème} feuilles chez la variété GT dur.

L'étude des résultats (fig18, 19,20), démontre que l'application de stress hydrique au stade de germination induit des réductions importantes des valeurs de l'élongation de 2^{ème} feuille chez les trois variétés.

Nos résultats semblent concorder avec les travaux de **(Feliachi et al., 2001)** La sécheresse est l'un de principaux facteurs environnementaux qui affecte grandement la germination des espèces cultivées et réduit leur survie au cours des stades précoces de développement.

Les valeurs de l'élongation des feuilles les plus élevées enregistrées chez les témoins. Alor ont noté que le stress hydrique diminue la croissance des feuille ont confirmé nos résultat avec **(Debaeke et al. 1996)**. Un stress hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs.

Après l'application de stress hydrique à partir de 5^{ème} jour on note une augmentation de l'élongation de feuille pour les plantes traitées sous pré-condition de stress hydrique (au stade de germination, au stade de plantation S2) par rapport au celle qui traitée par un seul stress hydrique (au stade de plantation S1), c'est le cas des variétés Mexicali et Waha.

En ce cas la 1^{ère} application de stress hydrique au stade de germination joue un rôle de vaccin.

Par conte chez la variété GT dur l'application du 2^{ème} stress hydrique la pré-condition stress provoquée une diminution de l'élongation de feuille par rapport les plantes qui traitées par un seul stress hydrique (au stade de la plantation), c'est-à-dire vaccin (stress au stade de germination) n'affecté pas sur la variété GT dur (Pas des références, travail d'origine).

Donc l'application de la pré-condition stress sur la variété Mexicali et Waha est amélioré l'élongation des feuille par contre chez la variété GT dur l'application de la 2^{ème} niveau de stress n'a pas amélioré ce paramètre.

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

Un stress hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa Production par rapport au potentiel du génotype.

Une réduction significative (seuil 5%) de la croissance des parties aériennes, et en particulier des dernières feuilles, sous l'effet du stress hydrique: ce comportement vis-à-vis d'un déficit hydrique avait déjà été noté par **Benlaribi et al (1990)** chez les variétés algériennes nous avons relevé précédemment que cette réduction de croissance intéressait également.

III.2. Variation des paramètres physiologiques

III.2.1. Effet du Stress Hydrique et pré-condition stress Sur la Teneur Relative en eau (TRE)

La TRE est un indicateur très utilisé pour mettre en évidence l'état de la balance hydrique d'une plante .La chute observée des teneurs en eau chez les variétés étudiées.

Les résultats sont vérifiés par le test statistique (tableau 04.05.06, Annexe2) à l'aide de l'analyse des différences entre les modalités, qui révèlent que le traitement de stress hydrique est impact une différence significative ($P \leq 0.05$) sur la teneur en eau, entre les niveaux de stress et non significative entre ($P > 0.05$) entre les trois variétés.

Les résultats de la teneur en eau au niveau de la 2^{ème} feuille présentés dans le (tableau III).

Tableau III : Moyenne et résultats statistiques de la variation de la teneur en eau chez les trois variétés de blé dur en (%) sous stress hydrique et pré-condition stress.

V \ T	T	S1	S2
Mexicali	92,35±0,04	56,87±0,003	60,64±0,056
Waha	92,59±0,06	68,28±0,041	71,70±0,066
GT dur	92,87±0,054	55,69±0,076	52,20±0,05

T : traitement V : variété

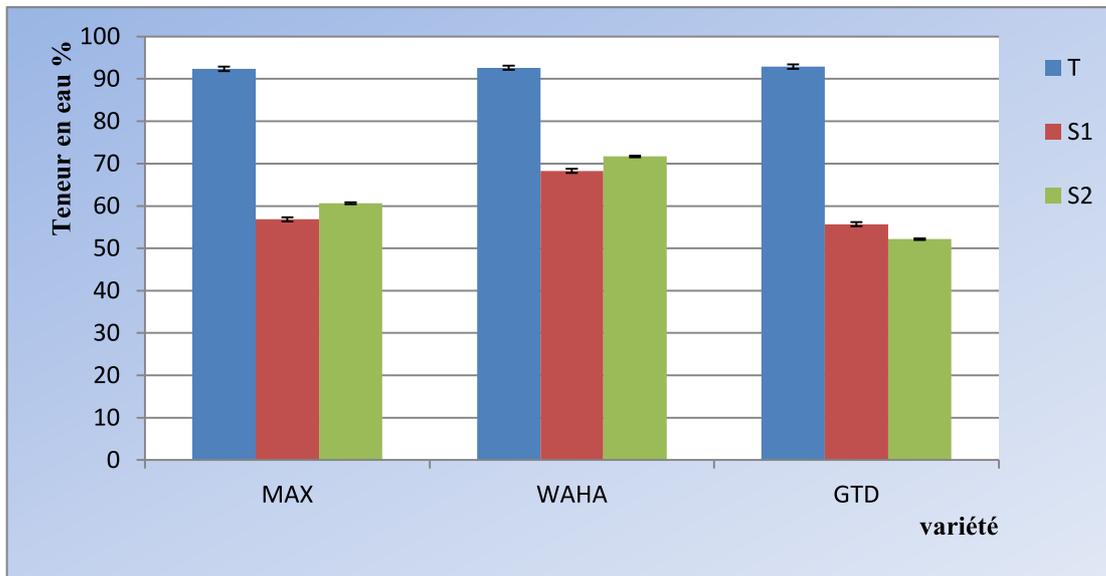


Figure 21 : La teneur en eau dans la 2^{ème} feuille chez les trois variétés (Mexicali, Waha, GT dur) sous stress hydrique et pré-condition stress.

Les résultats du teneur en eau (Fig. 21) exprimé le teneur relative en l'eau(TRE) dans la feuille des trois variétés qui exprimé à stress hydrique de 6 jour.

Les variétés ne présentent pas une différence significative quant à leur teneur relative en eau par ailleurs, l'effet stress et l'interaction variétés stress ont été variables. Les résultats de l'analyse de la variance présentent cette variabilité.

Les trois variétés en condition irriguée présente les valeurs les plus élevées avec maximum de (91.41%) chez Mexicali.

L'application de stress hydrique diminué la perte d'eau pour toutes les variétés avec des fréquences variable, d'après **Clark et Mac-Caig, (1982)** Le manque d'eau est un élément déterminant pour la croissance des plantes, Particulièrement en région aride et semi-aride. Il induit chez les plantes stressées une diminution du contenu relatif en eau. Attirent l'attention sur l'utilisation de la teneur relative en eau comme indicateur de l'état hydrique de la plante sous stress.

L'application de pré-condition de stress hydrique (au stade de germination, au stade de la plantation) est amélioré la teneur en eau (71,70%) au maximum chez Waha et minimum

de (60,64%) chez Mexicali par rapport au l'application d'un seul stress hydrique (au stade de la plantation) avec maximum de (68,28%) chez Waha et minimum de (56 ,87%) chez Mexicali .

Matin et al., (1989) in Nouri, (2002) montrent que les géotypes qui maintiennent une teneur en eau élevée dans la présence de stress hydrique sont des variétés tolérants.

Au contraire l'application de la pré-condition de stress hydrique (au stade de germination, au stade de la plantation) ni pas amélioré la teneur en eau chez la variété GT dur.

peut-être cette variété est très sensible au stress hydrique on peu confirmée nos résultat avec **Scofield et al., (1988)** notent que cette diminution de la teneur en eau est plus rapide chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes.

III.2.2. Effet de stress hydrique et pré-condition stress sur la teneur moyenne en chlorophylle (a), (b) et (a+b) au niveau des 2^{ème}s feuilles :

Les résultats de la teneur en chlorophylle au niveau de la 2^{ème} feuille présentés dans le (tableau IV).

Tableau IV : Moyenne et résultats statistiques de la variation de la teneur en chlorophylle chez les trois variétés étudiées en (ug/g MF) sous stress hydrique et pré-condition stress.

Variété	Traitement	a	b	a+b
M	T	32,58 ±0,05	16,00 ±0,902	48,34 ±1 ,098
	S1	31,34 ±0,009	14,62 ±0,785	45,74 ±1,002
	S2	28,84 ±0,087	13,16 ±0,341	41,79 ±1,056
W	T	30,83 ±0,060	19,95 ±0,432	50.63 ±1,005
	S1	29,78±0 ,665	19,68 ±0,675	49.25 ±1,780
	S2	28,50 ±0,042	19,53 ±0,501	44.81 ±1,091
G	T	26,45 ±0,076	11,87 ±0,76	35,073±1,981
	S1	25,72 ±0,654	10,24 ±0,509	34,83±2,001
	S2	25,09 ±0,543	9,64 ±0,761	32,55 ±1 ,654

III.2.2.1. Chlorophylles (a)

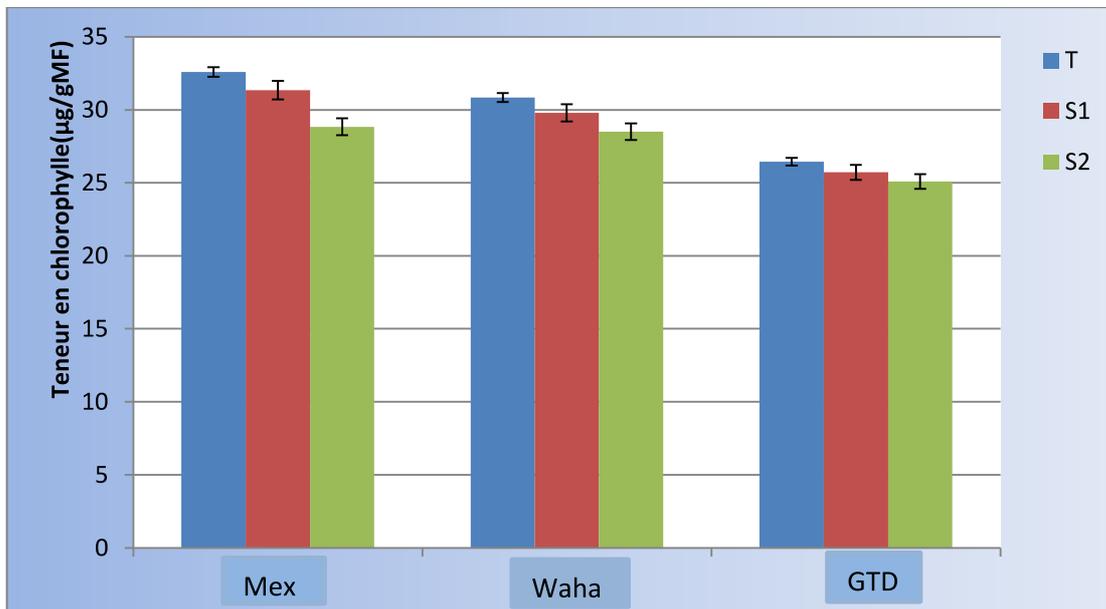


Figure 22 : Teneur en chlorophylle (a) de 2^{ème} feuilles chez les trois variétés sous stress hydrique et pré-condition stress.

III.2.2.2. Chlorophylles (b)

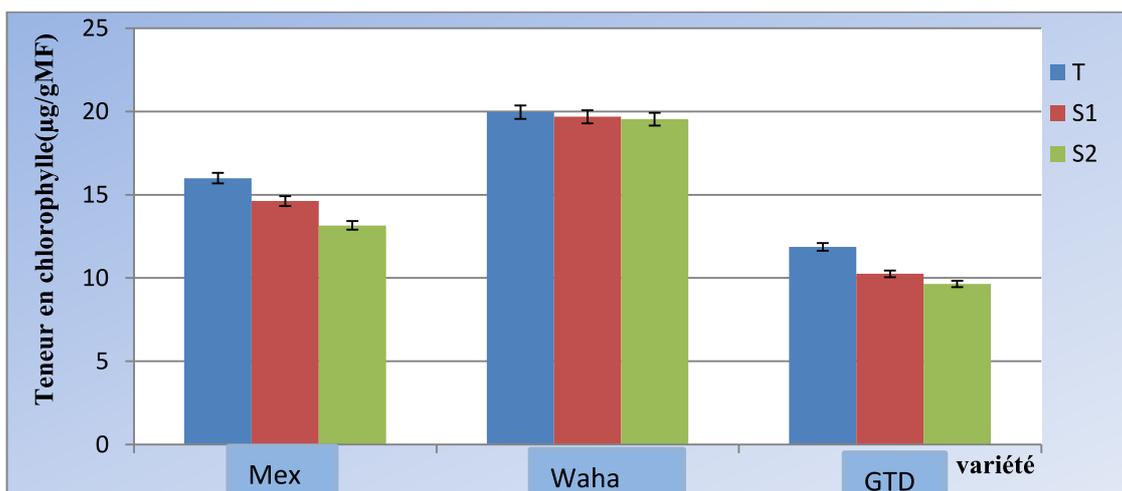


Figure 23: Teneur en chlorophylle (b) de 2^{ème} feuilles chez les trois variétés sous stress hydrique et pré-condition stress.

III.2.2.3 Chlorophylles (a+b)

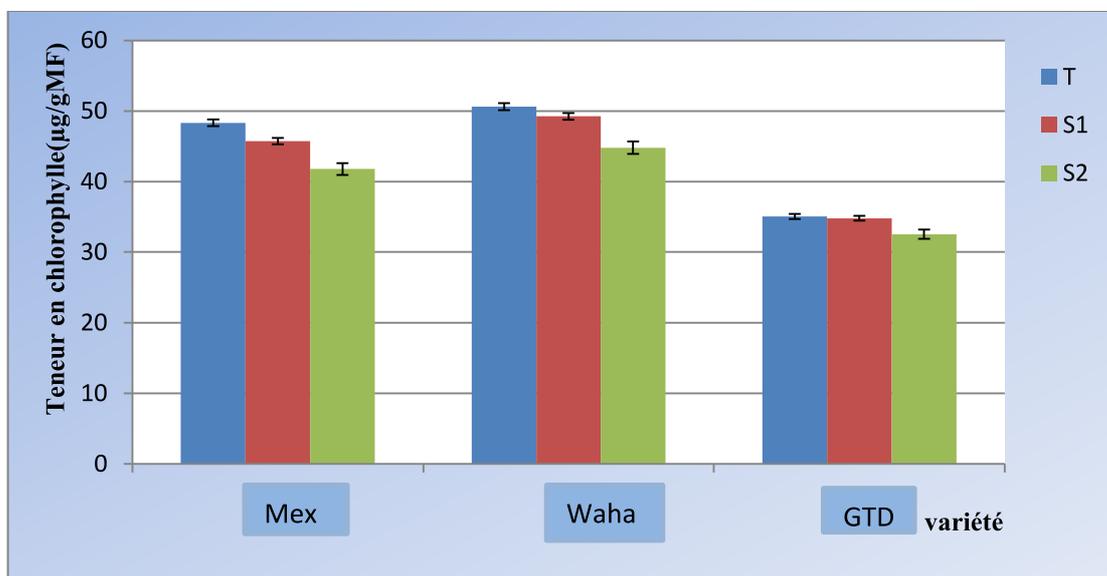


Figure 24 : Teneur en chlorophylle (a+b) de 2^{ème} feuilles chez les trois variétés sous stress hydrique et prè-condition stress.

Selon les résultats obtenus le stress hydrique fait diminuer la teneur en Chlorophylle. C'est pourquoi, pour ce paramètre l'analyse indique une différence significative entre les variétés ainsi que l'interaction variétés x traitements.

La teneur en chlorophylle chez les feuilles des plantes soumises au stress hydrique est au-dessous de celle des témoins.

Les valeurs les plus élevée enregistrée chez les témoins.

L'application des différent niveau de stress hydrique diminue la teneur en chlorophylle chez les trois variétés à différent degré.

Nos résultats semblent concorder avec les travaux de **Havaux (1988)**, **Djekoun et Yekhleh (1996)**, qui montrent une réduction de la photosynthèse, vis-à-vis de la sécheresse. Cette réduction est liée, d'une part à la fermeture des stomates et (**Johnson et al.,1984**) et d'autre part, à la réduction de l'activité photochimique du PSII (**Farquhar et Sarhey, 1982**). **Tahri et al., (1997)** enregistrent une diminution des teneurs en pigments chlorophylliens totaux (chl a et b) suite à un stress osmotique chez deux variétés de blé dur (**Hedegús et al., 2001**).

On signale que les variétés les plus tolérantes sont celles qui ont un teneur élevé chlorophylle (a+b). C'est le cas de variété Waha (50.6361µg/g MF) et le teneur le plus faible, C'est le cas de variété GT dur avec (35.0732 µg/g MF).

La quantité de la chlorophylle des feuilles peut être influencée par beaucoup de facteurs tels que l'âge des feuilles, la position des feuilles, et les facteurs environnementaux tels que la lumière, la température et la disponibilité en eau (**Hikosaka et al., 2006**).

Selon **Hireche, (2006)** les différentes observations de la teneur en chlorophylle totale entre les variétés sont liées aux tolérances à la sécheresse.

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.

III. 3. Variation des paramètres biochimiques

III.3.1. Effet de stress hydrique et prè-condition stress sur la teneur en proline (µg/100mg MF)

Les résultats sont vérifiés par le test statistique (tableau 10. 11.12 Annexe 2) à l'aide de l'analyse de la variance, qui révèlent que chez la variété étudiées, le traitement de stress hydrique est impact significative ($P \leq 0.05$) sur la teneur de proline, et aussi entre les variétés,

Les résultats de la teneur en chlorophylle au niveau de la 2^{ème} feuille présentés dans le (tableau V)

Tableau V : Moyenne et résultats statistiques de la variation de la teneur en proline chez les trois variétés en (ug/g MF) sous stress hydrique et prè-condition stress.

V \ T	T	S1	S2
Mexicali	0,62±0,045	0,62±0,046	0,62±0,040
Waha	1,45±0,098	1,52±0,078	0,95±0,088
GT dur	1,62±0,12	1,52±0,099	1,47±0,15

T : traitement **V :** variété

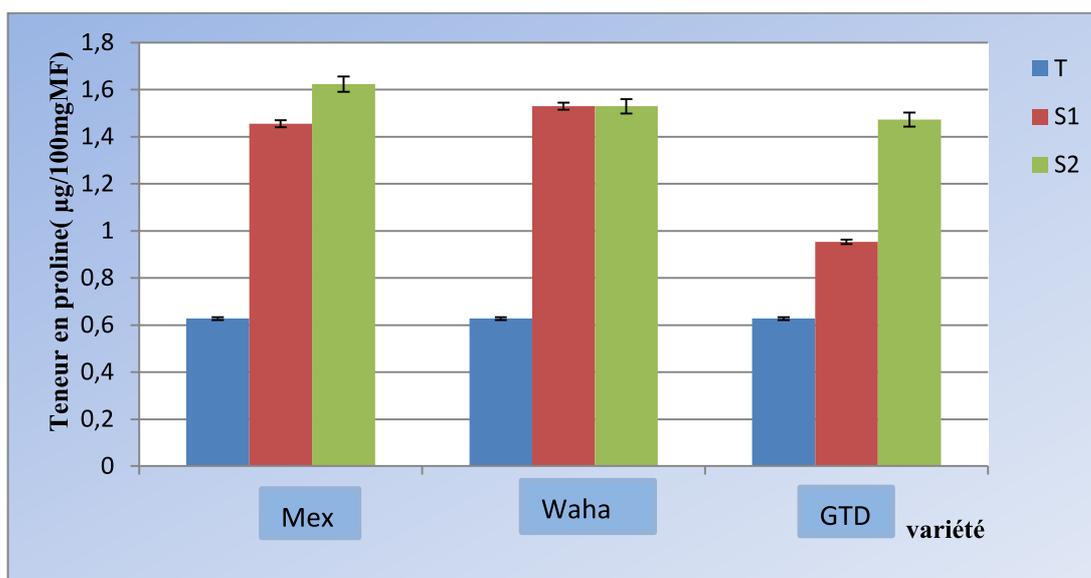


Figure 25: L'évaluation de la teneur en proline chez les 2^{ème} feuilles des trois variétés sous stress hydrique et pré-condition stress.

Les résultats des moyens, qui illustrés sur la (Fig.25), Chez Les trois variétés Mexicali, Waha, GT dur le stress hydrique a provoqué une accumulation de la proline dans les feuilles.

Les taux d'augmentation de la proline ont atteint ont pré-condition stress (les plantes qui traitées par deux niveau de stress hydrique au stade de la germination et au stade de la plantation) avec maximum de (1.623 µg/100mg MF) chez Mexicali, avec de minimum de (0,62 µg/100mg MF) noté chez les témoins.

On remarque que l'augmentation de la quantité de proline est en corrélation positive avec le degré du stress hydrique.

Ce résultat est en conformité avec les recherches de plusieurs auteurs dont **Monneveux et Nemmar (1986)**, **Bellinger et al. (1991)** et **Gorham (1993)**.notent que l'augmentation de la quantité de proline est en corrélation positive avec le degré du stress hydrique.

Dans cette expérience les trois variétés utilise le même stratège au coure la teneur en proline pour tolérance au stress.

Selon **Wilfred (2005)** la capacité d'accumuler la proline chez les plantes est un facteur variétal et un signe de tolérance au stress hydrique. Les trois variétés utilisent la proline comme une substance de résistance au stress hydrique.

Plusieurs auteurs montrent que l'augmentation de la teneur en proline est reliée directement à l'application du stress hydrique (Cechin et al., 2006). L'accumulation de la proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (osmotiques, hydriques, thermiques) (Blum, 1996). Plus le niveau de stress appliqué augmente plus les teneurs en proline deviennent plus marquées (Savouré et al., 1995).

III.4. Discussion général

Les différentes analyses entreprises ont porté sur quelques caractères morphologiques et physiologiques et biochimiques chez trois variétés ; le but étant de cerner les mécanismes d'adaptation au stress hydrique et ce, à travers l'expression des réponses génotypiques. Ces derniers pourraient aider à expliquer en partie les rendements obtenus en plein champ dans le cadre d'une sélection directe.

A la lumière des résultats obtenus, s'il est illusoire de vouloir identifier avec grand discernement les mécanismes d'adaptation, il est cependant possible d'en dégager quelques traits caractéristiques et spécifiques à chaque génotype.

Face à un stress hydrique, les réponses génotypiques sont diversifiées : Elles sont soit l'expression d'un ajustement osmotique, à travers une teneur élevée en eau, soit l'accumulation d'osmoprotecteurs importante telle que la proline ou soit d'un surcoût énergétique représenté par les teneurs pigmentaires chlorophylliennes.

- c'est ainsi qu'il a été noté des augmentations de longueur des 2^{ème} feuilles chez les plantes traitées par prè-condition stress hydrique au (stade de germination ; stade plantation) par rapport aux celle qui traitée par un seul stress (stade de plantation), c'est le cas de variétés Waha et Mexicali par contre chez la variété GTD le stress diminue la longueur des 2^{ème} feuilles
- c'est ainsi qu'il a été noté chez le résultat des teneurs en eau, des valeurs élevées concerne les témoins de tout les variétés et adaptation plus élevée chez les plantes sous prè-condition stress hydrique variétés telles Waha et Mexicali qui laisserait croire à un ajustement osmotique dont le résultat est des teneurs en eau élevées, par rapport aux plantes trait par un seul stress hydrique (au stade du plantation), par contre on remarque chez la variété GTD teneur en eau négative avec les niveau de stress
- La tolérance au stress imposé reflétée par le statut énergétique et plus particulièrement par la chlorophylle montre des valeurs élevées de ce dernier pour les trois variétés.
- Une autre forme d'accommodation est imputée à l'accumulation importante de proline chez les trois variétés.

- On conclue :

*L'application de stress au stade de germination joue un rôle de vaccin chez les variétés Mexicali et Waha par contre chez GT dur ce stress retardé la germination.

*Les variétés Mexicali et Waha sont les plus tolérantes au stress hydrique, l'application de la pré-condition stress amélioré la capacité d'adaptation de ces variétés

*La variété GT dur est très sensible au stress hydrique.

Liste des Figure

Figure01 : Origine et diffusion de <i>Triticum Turgidum</i>	03
Figure 02 : Structure d'un épi et épillet du blé.....	07
Figure 03 : L'appareil racinaire de blé dur.....	07
Figure04 : Coupe longitudinale présentant les constituants du grain.....	08
Figure 05 : Cycle de développement de blé.....	12
Figure 06 : Le stade de germination des graines.....	25
Figure 07 : Les plantes 1 ^{ier} jour du semis.....	26
Figure 08 : Plan expérimental.....	27
Figure 09 : Les traitements de stress hydrique.....	28
Figure 10.11 : Les étapes de détermine la teneur en eau.....	29
Figure12 : Les échantillons sont mis dans l'étuve.....	30
Figure 13 : Broyage des pigments Chlorophylliennes.....	31
Figure 14 : Les tubes de la chlorophylle.....	31
Figure 15 : Courbe étalon du dosage de la proline.....	32
Figure 16 : Le dosage du proline.....	32
Figure 17 : Les tubes de proline	33
Figure 18 : L'effet du stress hydrique et pré-condition stress sur l'élongation des 2 ^{émé} feuilles chez la variété Mexicali.....	34
Figure 19 : L'effet du stress hydrique et pré-condition stress sur l'élongation de 2 ^{émé} feuilles chez la variété Waha.....	35
Figure 20 : L'effet du stress hydrique et pré-condition stress sur l'élongation de 2 ^{émé} feuilles chez la variété GT dur.....	35

Figure 21 : La teneur en eau dans les 2 ^{éme} feuille chez les trois variétés (Mexicali, Waha, GT dur) sous stress hydrique et pré-condition stress.....	38
Figure 22 : Teneur en chlorophylle (a) de 2 ^{éme} feuilles chez les trois variétés sous stress hydrique et pré-condition stress.....	40
Figure 23: Teneur en chlorophylle (b) de 2 ^{éme} feuilles chez les trois variétés sous stress hydrique et pré-condition stress.....	40
Figure 24 : Teneur en chlorophylle (a+b) des de 2 ^{éme} feuilles chez les trois variétés sous stress hydrique et pré-condition stress.....	41
Figure 25: L'évaluation de la teneur en proline chez les 2 ^{éme} feuille des trois variétés sous stress hydrique et pré-condition stress.....	43

Liste des Tableaux

Tableau I: Les génotypes étudiés et leurs origines.....	23
Tableau II: Principaux caractères des variétés étudiées.....	24
Tableau III: Moyenne et résultats statistiques de la variation de la teneur en eau chez les trois variétés en (%) sous stress hydrique et pré-condition stress.....	37
Tableau IV: Moyenne et résultats statistiques de la variation de la teneur en chlorophylle chez les trois variétés en (ug/g MF) sous stress hydrique et pré-condition stress.....	39
Tableau V: Moyenne et résultats statistiques de la variation de la teneur en proline chez les trois variétés en (ug/g MF) sous stress hydrique et pré-condition stress.....	42

II. Matériel et méthode**II.1. Objectifs de l'expérimentation**

Ce travail a pour objectif de comparer le comportement de trois variétés de blé dur sous stress hydrique et pré-condition stress ceci par l'étude de quelques paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques.

II.1.1. Matériel végétal

Les semences des variétés de blé dur (*Triticum durum*) utilisée dans cette étude fournies par INRA (l'Institut Nationale de la Recherche Agronomie) de Sétif.

Les essais ont porté sur trois variétés de blé dur : Waha, Mexicali, GT Dur.

Le matériel végétal utilisé est constitué de trois variétés du blé dur, le choix de ces géotypes est géré par l'origine, les paramètres phénologiques, les paramètres morphologiques et le degré de tolérance à la sécheresse, qui s'avèrent très contrastes.

Les géotypes étudiés et leurs origines sont mentionnés dans le tableau II.

Tableau I: Les géotypes étudiés et leurs origines

Géotypes	Code	Origine
MEXICALI	M	Tessili (ITGC/sétif)
WAHA	W	Syrie (ITGC/sétif)
GT DUR	GTD	Mexicaine (ITGC/Sétif)

Les principales caractéristiques morphologique et technologiques et les paramètres agronomiques sont illustrés dans les tableaux ci-dessous

Tableau II: Principaux caractères des variétés étudiées

	Caractéristique Morphologique	Caractéristique Technologique	Productivité	Zone d'adaptation	Conseil de culture
Waha Syrie	Grain clair ambré à roux, moyen	Bonne résistance à la moucheture et au mitadin. PMG moyen	Bonne	Hauts plateaux et plaines intérieures.	de type printemps. Semis : de la mi-nov. la mi-déc.
Mexicali Tessili	Grain allongé	Légèrement sensible à la moucheture et au mitadinage. PMG : élevé.	Assez Bonne	Hauts plateaux et zones sahariennes	Variété précoce. Semis : mi-nov. A la mi-déc. (hauts plateaux) et en nov. (sahara)
GTA DUR Mexicaine	le grain allongé		Assez Bonne	les conditions pédoclimatiques des plaines intérieures	

Source :(Ben Belkacem et Kellou, 2000 ; Ykhlef et Djekoun, 2000, Ait Kaki, 2002).

II.1.2. Conduite des essais

Les essais sont menés au niveau du Laboratoire de la phytopathologie de l'Université de Mohamed El Bachir El Ibrahimi BBA.

II.1.2.1. Condition de germination

Les graines sont méticuleusement choisies avant leur utilisation (Pas de cassures ni signes apparents de maladies). Avant de mettre les grains dans les plans pour germiner, ils désinfectent par l'eau de javel /l'eau distillée (10ml /90ml) pendant 15 minutes, puis on rince à l'eau distillée trois fois, les grains ont été mises en germination dans des plans a base recouverte de deux a trois

Couches de papier absorbant et imbibées dans l'eau de robinet, l'essai comporte trois génotypes (Waha, Mexicali, GT dur) chaque variété divisée sur trois traitements Témoin, **S1** : l'application d'un seul stress hydrique au niveau de stade de la plantation (le traitement qui n'est pas exposé à un stress au stade germination).

S2 : pré-condition, le traitement qui est exposé à un stress au stade germination et un autre au stade de plantation.

Les graines ont été mises en germination dans une température ambiante pendant 7 jours avec une irrigation (une fois par jour).

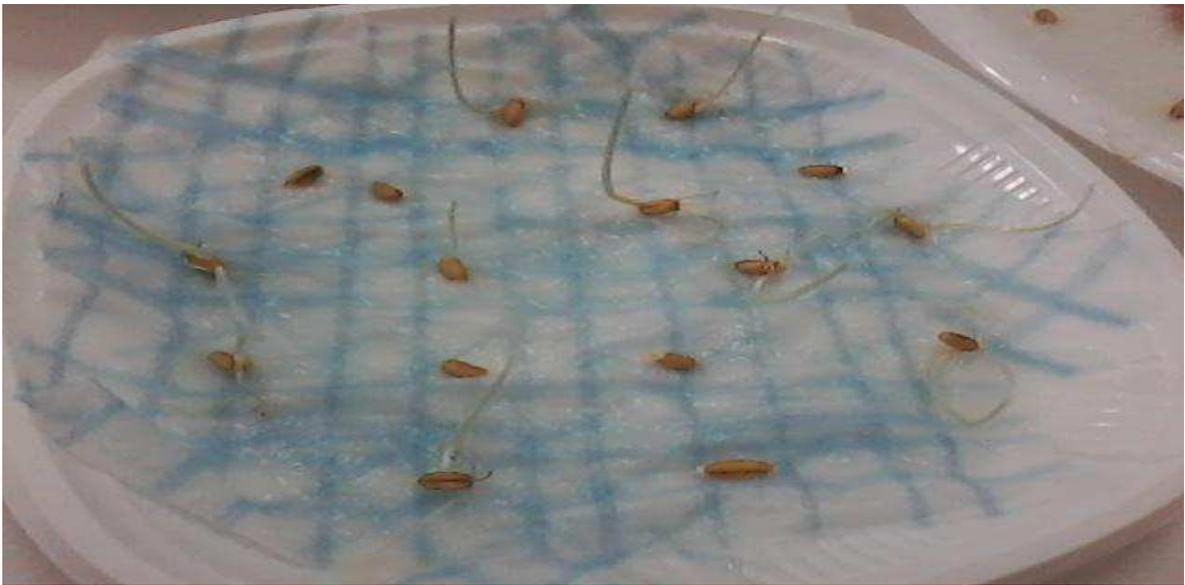


Figure 06: Le stade de germination des graines.

II.1.2.2. Plantation

Les graines ont été mises en germination à l'obscurité ; suite à laquelle le taux de germination a été relevé les plantules sont transplantées ensuite dans des pots de 5kg.

II.1.2.2.1. Préparation des pots

Le substrat a été préparé par 1/3 de sol, 1/3 de sable, 1/3 de terreau dans chaque pot. Les pots préparés ont été répartis à raison de 5 pots/génotype, dans chaque pot 30 plantules, les semis ont été effectués manuellement à raison de 30 grains par pot réparties d'une façon homogène sur la surface de chaque pot à une profondeur de 2-3 cm.



Figure 07 : Les plantes 1^{er} jour du semis.

II.1.3.Traitement (application de stress)

a) Au stade de la germination

Après 7 jour de miss en germination on applique le stress par l'arrêté d'arrosage pour le traitement pré- conditionne du chaque variété pendant 2 jour.

b) Au stade de la plantation

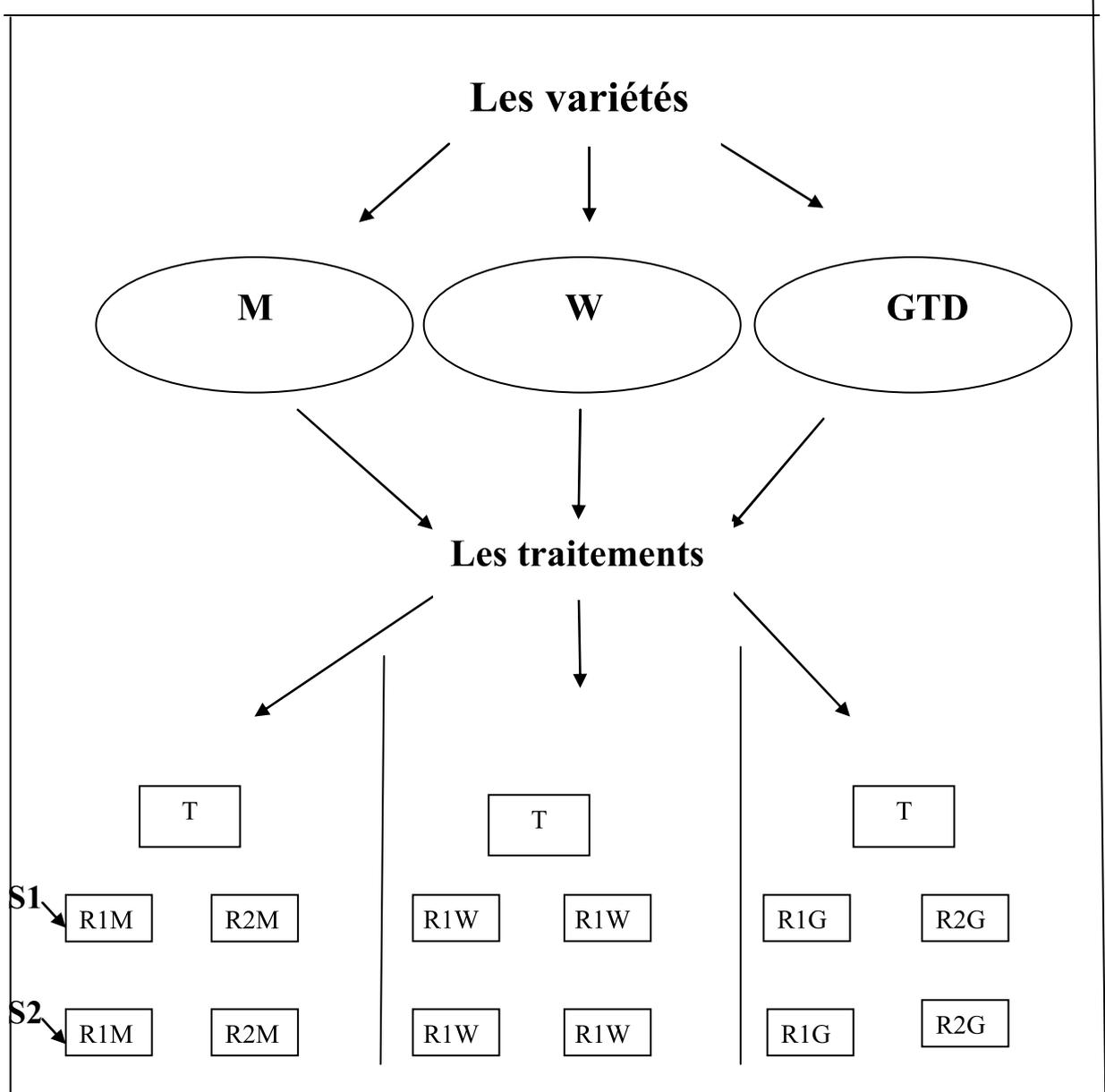
Les pots sont irrigué régulièrement chaque jour jusqu'à l'obtention de la 2^{émé} feuille, à ce stade les trois variétés ont subit un stress, il est provoqué artificiellement par un arrêt total des irrigations pendant 7 jour pour chaque traitement jusqu' à l'obtention du taux de tarissement du sol recherché.

Ainsi trois traitements sont retenus:

T: (traitement témoin sans application de stress hydrique): le sol est maintenu à 100% de sa capacité de rétention en eau. Ce régime est considéré comme témoin.

S1: l'application d'un seul stress hydrique au niveau de stade de la plantation(le traitement qui ne pas exposé à un stress au stade germination).

S2 : pré-condition, le traitement qui exposé à un stress au stade germination et d'autre au stade de plantation.



Clé :

M : Mexicali , **W** :Waha ,**G** : GT dur, **S1** :l'application d'un seul stress hydrique au niveau de stade du plantation (le traitement qui ne pas exposé à un stress au stade germination), **S2** : pré-condition le traitement qui exposé à un stress au stade germination et d'autre au stade de la plantation **T** : témoin **R1** : répétition 1, **R2** :répétition 2 .

Figure 08: Plan expérimental

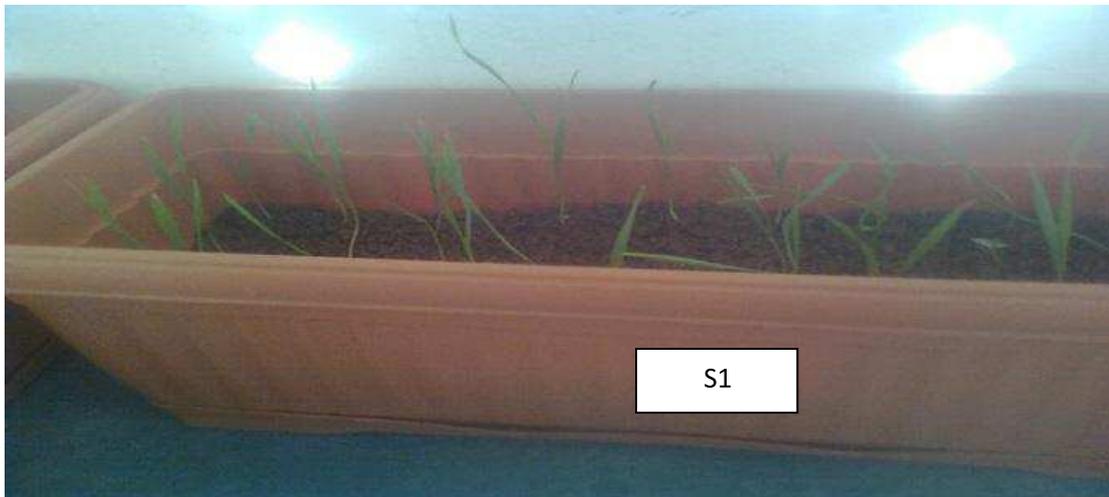
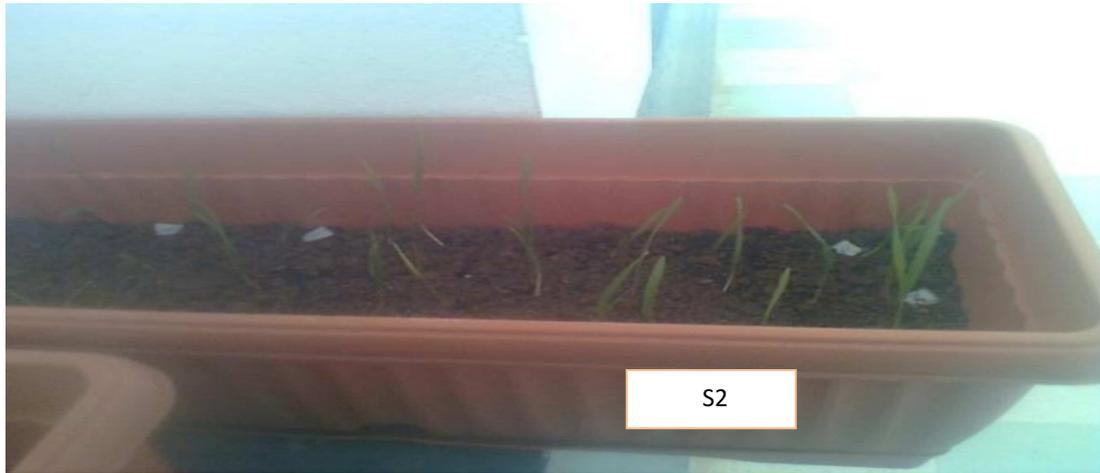


Figure 09 : Les traitements de stress hydrique

II.2. Paramètres mesurés

II.2.1. Paramètre morphologique

II.2.1.1. Elongation des feuilles formées

Sur huit échantillons, Nous avons mesuré l'élongation de la deuxième feuille de la base jusqu'à l'extrémité mesurée l'aide d'un papier millimètre pendant 11 jours.

II.2.2. Paramètre physiologique

II.2.2.1. Teneur relative en l'eau

La méthode préconisée est celle de Weatherley (1950) et modifiée par BARR, (1962), qui consiste à prélever au midi solaire un échantillon de feuilles étendards prises au hasard sur chaque pots. Les échantillons sont immédiatement transportés au laboratoire où les feuilles sont pesées fraîches (PF : poids frais), elles sont ensuite mises dans des boîtes de pétri contenant de l'eau distillée. L'ensemble est mis dans un incubateur à une température de 4⁰C et à l'obscurité pendant 24h pour obtenir un taux de réhydratation maximal, les feuilles sont pesées de nouveau, pour avoir le poids de turgescence (PT). Par la suite les feuilles sont mises dans l'étuve à 80⁰C pendant 24h afin de les sécher et les peser pour avoir leur poids sec (PS).

La teneur relative en eau est obtenue par la formule suivante :

$$\text{TRE} = \frac{\text{PF} - \text{PS}}{\text{PT} - \text{PS}} \times 100$$

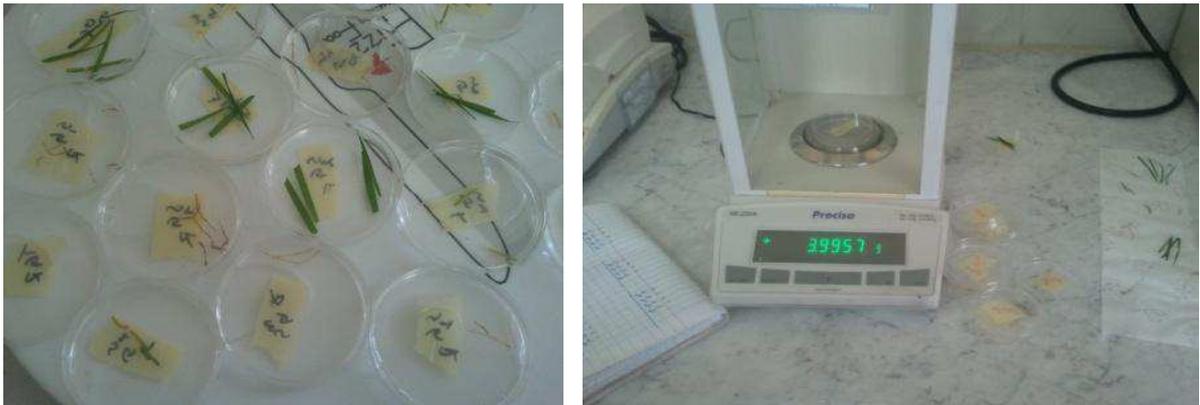


Figure 10.11: Les étapes de détermination de la teneur en eau.



Figure12: Les échantillons sont mis dans l'étuve.

II.2.2.2. Teneur en chlorophylle

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) à deux longueurs d'onde ($\lambda_1 = 645$ et $\lambda_2 = 663\text{nm}$). (Bouchlaghem., 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).
- ❖ Chl a+b: 8, 02 (DO645) +20, 20 (DO663).



Figure 13 : Broyage des pigments Chlorophylliennes



Figure 14: Les tubes de la chlorophylle.

II. 2.2.3. Teneur en proline

La méthode utilisée pour le dosage de la proline est celle de Troll et Lindsley (1955), modifiée et mise au point par **Dreier et Goring (1975)**.

Le dosage est effectué sur le tiers médian de la feuille. On pèse 100 mg de substance végétal fraîche laquelle on ajoute 2 ml de méthanol à 40%. L'ensemble est chauffé au bain marie à 80°C pendant 1h, après refroidissement, on prélève 1 ml d'extrait au quel est ajouté 1 ml d'acide acétique (CH_3COOH), 2.5 mg ninhydrine ($\text{C}_9\text{H}_4\text{O}_4$) et un mélange contenant ; 40 ml d'acide ortho phosphorique (H_3PO_4 dont la densité 1.7), 150ml d'acide acétique et 60 ml d' H_2O le tout est porté à ébullition à 100°C pendant 30 minutes.

La solution vire au rouge, on refroidit (un quart d'heure) et on ajoute 5 ml de toluène : deux phases se séparent, la phase supérieure qui contient la proline est colorée en rouge et la phase inférieure sans proline reste transparente.

Après avoir récupéré la phase supérieure, on ajoute une spatule de sulfate de sodium, pour éliminer l'eau qu'elle contient. La lecture des densités optiques des échantillons (extraits et étalons) se fait à une longueur d'onde de 528 nm.

Le zéro de spectrophotomètre est réglé grâce au blanc de gamme, composé de 1ml de méthanol à 40% +1ml d'acide acétique+1ml du mélange modifié + 25 mg de ninhydrine.

Le calcul du taux de proline se fait selon le courbe étalon et selon l'équation suivante

$$\text{Concentration en proline} = y * 2 * 1000 / \text{MF} * 115.13 (\mu\text{M.g.MF}^{-1})$$

MF: masse de matière fraîche (g).

115.13: masse molaire de la proline.

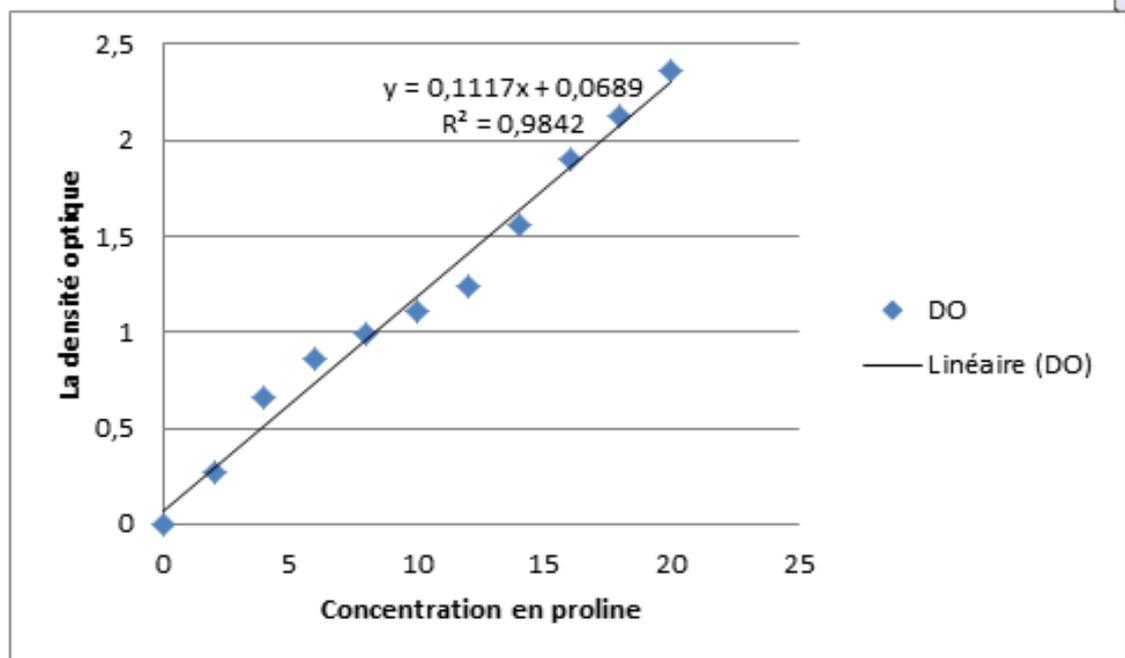


Figure 15: Courbe étalon du dosage de la proline



Figure 16: Le dosage du proline.



Figure 17: Les tubes de proline.

II.3.Traitement et analyse statistique

Afin de déterminer la significativité des traitements appliqués sur les différents paramètres étudiés dans l'expérimentation, nous avons procédé à des analyses de la différence entre les modalités et à la comparaison des moyennes à l'aide du test de Fisher avec un intervalle de confiance à 95% sur les paramètres (morphologique, physiologique et biochimique) analysés et de chaque traitement à l'aide du logiciel XL STAT.

I.1. Blé dur

I.1.1. Historique et Origine du blé dur

I.1.1.1. Origine géographique

Il y a environ 12.000 ans, un petit groupe d'humains a pris le virage du chasse-cueille à la culture de plantes pour la survie durable. La découverte de l'agriculture a entraînée de nombreux changements dans la culture humaine, un phénomène connu sous le nom révolution néolithique est le résultat de la domestication progressive de graminées cultivées dont la plus ancienne semble être le blé dur (Feillet, 2000), l'agriculture a renforcé le mode de vie sédentaire, ce qui a conduit à la stratification de la société et au développement de technologies (Salamini et al., 2002).

Le blé est l'une des premières espèces cultivées par l'homme au proche Orient, il y a environ 10.000 à 15.000 ans avant J.C (Herve, 1979 in Zamour ,2014), des restes de blés, diploïde et tétraploïde, ont été découverts sur des sites archéologiques au proche Orient d'après Harlan (1975) et on croit que le blé dur provient des territoires de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran selon Feldmen (2001).



Figure01 : Origine et diffusion de *Triticum Turgidum* (Bonjean, 2001).

I.1.1.2. Origine génétique

Les blés sauvages tétraploïdes sont largement répandus au Proche-Orient, où les humains ont commencé à les récolter dans la nature (Bozzini, 1988 in Hamel, 2010), comparativement aux blés diploïdes, leurs grands épis et leurs gros grains les rendaient beaucoup plus intéressants pour la domestication. Le blé dur est allotétraploïde (deux génomes : AABB), comptant au total 28

chromosomes ($2n=4x=28$), contenant le complément diploïde complet des chromosomes de chacune des espèces souches, comme telle, chaque paire de chromosomes du génome

A (*Triticum.Monoccocum*) à une paire de chromosomes homologues dans le génome B(*Aegilops speltoïdes*), à laquelle elle est étroitement apparentée. Toutefois, durant la méiose, l'appariement des chromosomes est limité aux chromosomes homologues par l'activité génétique des gènes inhibiteurs (**Wall et al., 1971** in **Ghozlène, 2013**).

I.1.2. Situation du blé

I.1.2.1. Situation du blé dans le monde

Pour la campagne 2015/2016, la production mondiale de céréales devrait atteindre 2 005 millions de tonnes (Mt) selon le **CIC** (Conseil international des céréales), soit seulement 40 Mt de moins que le niveau record enregistré lors de la campagne 2014/2015. La consommation diminuerait de 21 Mt pour atteindre 1 988 Mt. Les stocks de fin de campagne seraient en progression de 17 Mt pour s'établir à 466 Mt, leur plus haut niveau depuis la campagne 1986/1987.

Les stocks mondiaux de blé progresseraient pour la 3^e année consécutive, atteignant 215 Mt (+ 7 % sur un an) selon le **CIC**. Depuis 2013/2014, la production mondiale de blé est en effet supérieure à la consommation mondiale. En 2015/2016, avec 734 Mt, elle enregistrerait un nouveau record, dépassant de 6 % la moyenne des cinq dernières campagnes. La consommation mondiale augmenterait légèrement pour atteindre 719 millions de tonnes. Les surfaces consacrées au blé seraient les plus étendues depuis la campagne 1998/1999 et le rendement moyen serait également supérieur aux performances affichées jusqu'à présent selon le **CIC**.

I.1.2.2. Situation du blé en Algérie

Les produits céréaliers en Algérie représentent plus de 40% de la valeur des importations des produits alimentaires, les produits céréaliers occupent le premier rang (39,22 %) devant les produits laitiers (20,6%), le sucre et sucreries (10%) et les huiles et corps gras (10%) (**Chehat, 2007**).

En 2012 la production algérienne était de 3.432.231 tonnes (**FAO 2012**).

En 2013/2014 l'importation est de 62.10^5 tonne (**Djermoun, 2009**), en fait, le blé dur est un élément important dans le régime alimentaire du peuple algérien (**Winget et Chalbi, 2004**), il est principalement utilisé sous forme de galettes, pâtes, couscous et frik, il est également utilisé pour produire les différents types de gâteaux traditionnels (**Djermoun, 2009 et Abecassis et al., 2013 et Kezih et al., 2014**).

I.1.3. Classification botanique

Selon (Ait–Slimane-Ait-Kaki., 2008) le blé dur est une plante herbacée, appartenant au groupe des céréales à paille, d'après la classification de **Bonjean et Picard (1990)**, le blé dur est une monocotylédone classé comme suit :

Embranchement : Spermaphytes.

S/Embranchement : Angiospermes.

Classe : Monocotylédones.

Super ordre : Commeliniflorales.

Ordre : Poales.

Famille : Graminacées.

Genre : Triticum sp.

Espèce : Triticum durum Desf.

I.1.4. Caractères morphologique du blé dur

I.1.4.1. Appareil végétatif

- Tige

La tige de la plante est cylindrique, comprend cinq ou six nœuds qui sont séparés par des structures dense appellent nœuds d'où naissent les feuilles, la tige est creuse ou pleine de molle (**Soltner, 1988 in Lemekeddem et Debbache, 2013**).

La commence à prendre son caractère de tige qu'au début de la montaison, c'est à dire qu'au débute la phase reproductrice, cette tige présent cependant des bourgeons axillaires qui seront à l'origine axe, les quelles auront les même structure que la tige principale ou maître bien (**Prats et al., 1971 in Lemekeddem et Debbache, 2013**).

- Feuilles

Les feuilles sont alternées, ligulées et engainantes (**Bonjeau et Picard, 1990 in Fritas ,2012**), elles ont des nervures parallèles et sont terminées en pointe (**Bonjeau et Picard, 1990 in Fritas, 2012**), l'inflorescence est toujours en épillets associés en inflorescence complexe, épis ou grappes d'épillets, se recouvrant étroitement les uns aux autres.

I.1.4.2.Appareil reproducteur

L'épi, il est issu du bourgeon du plateau de tallage dès 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 apparaît enveloppé dans la dernière feuille et après quelques jours on peut étudier sa structure en détail, c'est l'épiaison (**Parts et al., 1971in Lemekeddem et Debbache, 2013**).

L'épi comporte une tige pleine ou rachis coudée et étranglée à intervalles régulière et portant alternativement à droite et à gauche un épillet (**voir Fig 02**).

- Fleur

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 dément et de blé est autogame, ce qui a des conséquences très importantes dans la pratique de la sélection, du croisement et de reproduction de cette plantes, en effet, un blé en s'autofécondation, gardera ses caractères génétiques accablément ces d'une manière remarquablement constante.

Après la fécondation, la fleur donne naissance à un fruit unique, le caryopse ou grain, qui comporte en embryon ou Game plaque sur les réserves (**Parts et al.,1971 in Lemekeddem et Debbache, 2013**) (**voir Fig 02**).

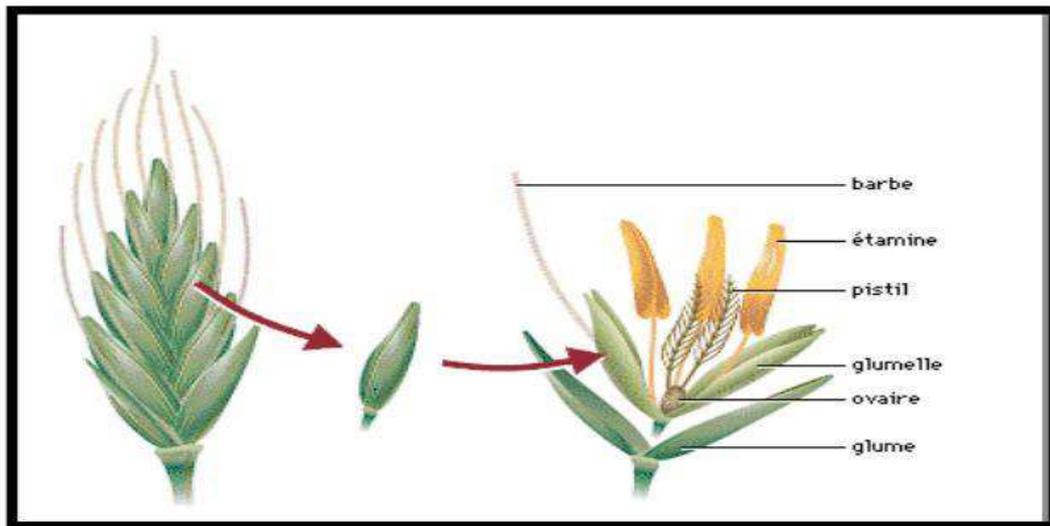


Figure 02 : Structure d'un épi et épillet du blé (Hamadache ,2001).

I.1.4.3. Appareil racinaire

- Racines

Le système racinaire du blé est du type fasciculé, contient deux types des racines :

- Les primaires racines adventices a (naissent sur la tige) qui assureront la nutrition et développement de la plante (Belaid, 1987 in Lemekeddem et Debbache ,2013).
- Le système secondaire (racines coronaire) apparait au moment où la plante se ramifiée (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 a une inflorescence (Belaid ,1987 in Lemekeddem et Debbache, 2013) (voir Fig 03).



Figure 03 : L'appareil racinaire de blé dur (Lemekeddem et Debbache, 2013).

I.1.4.4. Grain

Est entouré d'une matière végétale qui la protège des influences extérieures, l'amande contient 65 à 70% d'amidon ainsi qu'une substance protéique (le gluten ou colle végétale) dispersée parmi les grains d'amidon, le germe est la partie essentielle du fruit permettant la reproduction de la plante : il se développe et devient à son tour une jeune plante (Bebba, 2011) (voir Fig 04).

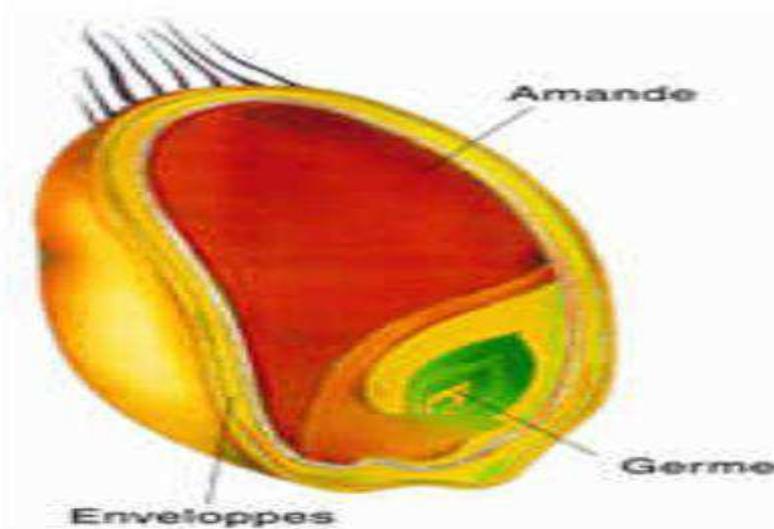


Figure04 : Coupe longitudinale présentant les constituants du grain (Paul, 2007 in Ait Slimane-Ait Kaki, 2008).

I.1.5. Cycle de développement

En général, toutes les céréales ont le même cycle de développement selon (Bouffenaar et al., 2006) le développement représente l'ensemble des modifications phénologiques qui apparaissent au cours du cycle de la culture.

Les dates de déclenchement des stades de développement dépendent essentiellement des températures et des photopériodes accumulées par la culture depuis sa germination (Bouffenaar et al., 2006) .

Trois périodes repères caractérisent le développement du blé à savoir : la période végétative, reproductrice et période de formation du grain et maturation (Bouffenaar et al., 2006).

I.1.5.1. Période végétative

Elle débute par le passage du grain de l'état de vie ralentie à l'état de vie active au cours de la germination qui se traduit par l'émergence de la radicule et des racines séminales et celle de l'élongation de la coléoptile (**Boufenar et al., 2006**).

Elle se divise en deux phases dont leur durée s'étale jusqu'au fin tallage avec une croissance complètement végétative.

-Phase germination- levée

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 (**voir Fig 05-1**).

La levée se fait réellement dès la sortie des feuilles à la surface du sol, au sein d'un peuplement, la levée est atteinte lorsque la majorité des lignes de semis sont visibles (**Gate, 1995**), l'eau et l'oxygène et la chaleur nécessaires pour sa germination (**Soltner, 2005**) (**voir Fig 05-2**).

-Phase levée-tallage

C'est un mode de développement propre aux graminées, il est caractérisé par :

- Stade de formation du plateau de tallage

C'est le phénomène de "pré -tallage" dans lequel le deuxième entre nœud qui porte le bourgeon terminal s'allongé à l'intérieur de la coléoptile, il stoppe sa montée à 2 centimètres sous la surface quelle que soit la profondeur du semis, à ce niveau il y aura l'apparition d'un renflement : c'est le futur plateau de tallage (**voir Fig 05-4**).

- Stade d'émission des talles

À l'aisselle des premières feuilles du blé des bourgeons axillaires entre alors en activité pour donner de nouvelles pousses : les talles (**Soltner, 2005 ; Gate, 1995**).

Dans cette phase, la plante se base dans leur alimentation sur les ressources de la graine et l'azote du sol parce que ses besoins sont faibles en éléments minéraux notamment l'azote jusqu'au stade 2-3^{ème} feuilles (**Austin et al., 1975**in **Cherfia, 2010**) (**voir Fig 05-3**).

D'après **Masle (1981)**, une alimentation azotée limitant pour la plante se manifeste simultanément par l'interruption du processus de tallage herbacé et par une réduction de la croissance des talles existantes.

I.1.5.2. Période reproductrice

C'est la formation et la naissance de l'épi, le début de cette phase est marqué par une différenciation de l'ébauche d'épillet sur l'apex ce stade marque la fin de la période végétative et l'acheminement vers la fonction de reproduction (**Bouffenaar et al., 2006**).

I.1.5.2.1. Phase montaison et le gonflement

Durant cette phase, il y a l'allongement des entre nœuds d'un certain nombre de talles herbacées, les talles les plus âgées se trouvent couronnées par des épis alors que les talles suffisamment avancée meurent par la suite (**Masle, 1982 in Benchikh, 2015**).

Cette phase est marquée par un agrandissement de la demande en eau, lumière et l'azote (**Gate, 1995 et Clement et al., 1975 in Benchikh, 2015**), la durée de cette phase est très peu variable : 28-30 jours, elle se termine au moment de la différenciation des stigmates des fleurs (**Bouffenaar et al., 2006**).

A partir de la montaison, les besoins en azote deviennent très importants et déterminent le nombre d'épis, le nombre de grain par épi et le poids maximal du grain (**Hebert, 1975 in Benchikh, 2015**).

- Phase d'épiaison et de fécondation

Cette phase a une durée peu variable (32 jours en moyenne), c'est durant cette période que s'achève la formation des organes floraux et s'effectue la fécondation (**Benchikh, 2015**).

I.1.5.3. Période de formation et maturation des grains

a) Phase de grossissement du grain

Durant cette phase, l'embryon se développe et ainsi l'albumen se remplit par des substances de réserve, c'est la phase laiteuse dont le grain s'écrase facilement (**Bouffenaar et al, 2006**).

b) Phase de Maturation

C'est la dernière phase du cycle végétatif, la maturation correspond à l'accumulation de l'amidon dans les grains puis à leur perte d'humidité (**Soltner, 2005**), le poids des grains continue d'augmenter contrairement au poids des tiges et feuilles, elle se termine par le stade pâteux des grains (l'écrasement du grain à ce stade formant une pâte) (**Bouffenaar et al., 2006**), et enfin le stade de maturité physiologique dont le grain devient dur et accepte leur couleur jaunâtre.

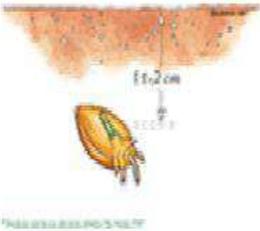
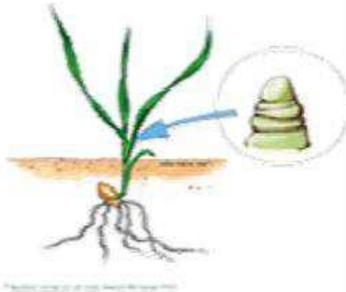
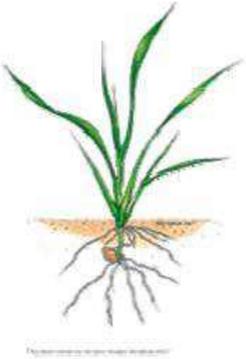
			
1- La germination	2- La levée	3- Trois feuilles	4- Début tallage
			
5- Épi à 1 cm	6- Un nœud	7- Méiose pollinique	8- L'épiaison
			
9- La floraison	10- Bâillement	11- Grain formé	12- Épi à maturité

Figure 05 : Cycle de développement de blé (Soltner, 2005).

I.1.6. Exigences climatique de blé dur

L'influence du climat est un facteur déterminant à certaines périodes de la vie du blé.

a) Température

La température est l'un des facteurs importants pour la croissance et l'activité végétative, la germination commence dès que la température dépasse 0°C, avec une température optimale de croissance située entre 15 à 22° C, les exigences globales en température sont assez importantes et varient entre 1800 et 2400 °C selon les variétés (**Belaid, 1986 in Bebba, 2011**).

De même la température agit sur la vitesse de croissance, elle ne modifie pas les potentialités génétiques de croissance ; c'est la somme de température qui agit dans l'expression de ces potentialités. Chaque stade de développement du blé nécessite des températures particulières (**Belaid, 1986 in Bebba, 2011**).

b) Eau

Selon (**Soltner, 1990 in Ghozlen, 2013**), l'eau a une grande importance dans la croissance de la plante, en plus de l'eau de constitution des cellules et de celle qui entre dans les synthèses glucidiques catalysées par la chlorophylle, l'eau est le véhicule des éléments minéraux solubles de la sève brute. A cet égard, (**Clarke et Mccaig, 1982 in Ghozlen, 2013**) voient qu'il est intéressant de déterminer la teneur relative en eau (RWC), c'est-à-dire mesurer le pourcentage d'eau présent dans la plante.

c) Lumière

La lumière et le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement de blé, un bon tallage et garanti, si le blé est placé dans les conditions optimale d'éclaircements (**Soltner, 1988 in Bebba, 2011**).

d) Sol

Les sols qui conviennent le mieux au blé sont des sols drainés et profonds, des sols limoneux, argilo-calcaires, argilo- siliceux et avec des éléments fins.

Du point de vu caractéristiques climatiques, les blés durs sont sensibles au calcaire et à la salinité ; un PH de 6,5 à 7,5 semble indiquer puisqu'il favorise l'assimilation de l'azote (**Soltner, 1988 in Bebb, 2011**).

I.2. Généralité sur le stress

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 au rôle 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, 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**).

I.2.1. Définition de stress hydrique

Le stress hydrique constitue un important facteur limitant la production des céréales, il affecte tous les aspects de croissance, il se traduit chez la plante par une série de modifications qui touchent les caractères morpho- physiologiques, biochimiques, génétiques et même les niveaux d'expression des gènes associés à la sécheresse (**Mefi et al., 2000**).

Le manque d'eau ou déficit hydrique représente le stress abiotique le plus sévère auquel la culture du blé dur fait face dans les conditions de productions des zones arides et semi- arides (**Chennafi et al., 2006**).

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, un manque d'eau précoce a affecté principalement la croissance des racines, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (**Debaeke et al., 1996 in Laala, 2009**), ceci se répercute sur le rendement économique de la culture, qui peut chuter de plus de 80% (**Chennafi et al., 2006**).

I.2.2.Effets de stress hydrique

I.2.2.1.Effets de stress hydrique sur le cycle de développement des plantes

I.2.2.1. 1. Sur la germination

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

La sécheresse est l'un de principaux facteurs environnementaux qui affecte grandement la germination des espèces cultivées et réduit leur survie au cours des stades précoces de développement, au cours de cette phase, c'est le métabolisme des carbohydrates qui se trouve fortement affecté (**Ingram et al., 1996 in Zamour, 2014**), à travers la perturbation du fonctionnement enzymatique impliqué dans ce processus. Il a été démontré que le glyceraldéhyde-3-déshydrogénase cytosolique est fortement induite par le déficit hydrique ce qui est l'origine d'un changement de l'acuité de la glycolyse (**Velasco et al., 1994 in Zamour, 2014**).

De nombreux gènes contrôlant le métabolisme des sucres simples sont régulés en amont par les variations de l'hydratation cellulaire.

Quoi que l'hydrolyse de l'amidon et la libération des sucres réducteurs énergétiques constituent une étape incontournable dans le déroulement de la germination, mais indirectement la disponibilité des carbohydrates pendant cette phase assure un rôle de protection contre le déficit hydrique, ils constituent les principaux osmolytes impliqués dans l'ajustement osmotique, assurent une protection des macromolécules essentiellement membranaires (**Zemour, 2014**).

I.2.2.1.2.Sur la croissance

L'eau est un élément constitutif essentiel des tissus végétaux vivants dont elle présente 50 à 90% du poids frais de la cellule (**Lelievre, 1999 in Belakhdar et Rebai, 2010**).

Si les plantes se déshydratent au-dessous d'un seuil voisin de 50 %, elles meurent (**Lelievre, 1999 in Belakhdar et Rebai, 2010**).

Les plantes diffèrent dans leur sensibilité aux stress, la réponse varie selon le stade de développement, de la germination à la maturité, l'effet de sécheresse est beaucoup plus marqué sur le développement aérien que sur le développement racinaire (**Sharp et Davies, 1989 in Belakhdar et Rebai, 2010**).

Ceci s'explique par le fait que la partie aérienne est plus exposée aux effets de la déshydratation de l'atmosphère, en effet, ces auteurs observent un enracinement plus profond dans un sol sous contraintes hydrique que dans un sol régulièrement irrigué.

A) Sur la partie racinaire

Quand le sol se dessèche, une réduction très important des racines engendre une réduction de la surface de contact sol/racine provoquant une augmentation de la résistance au passage de l'eau du sol vers les racines, ce qui exagère la sécheresse (**Katerdji, 1989 ; Benlaribi et Monneveux, 1988, in Saidat, 2007 in Nacéri et djâât, 2010**).

Signale que lors du dessèchement d'un sol la concentration des éléments minéraux dans la plante est modifiée, le transfert vers les racines est diminué (**Nemmar, 1983 ; in saidat, 2007 in Saidat, 2007 in Nacéri et djâât, 2010**).

B) Sur La partie aérienne

Chez le blé, le symptôme remarquable est le raccourcissement de la hauteur des tige, un déficit de début de montaison affect l'allongement des premières entre-nœud qu' un déficit de montaison (plus fréquent) réduit la longueur du dernier entre-nœud en plus de la hauteur de la tiges et la longueur du col de l'épis. On observe aussi des peuplements épis anormalement (**Gate, 1995, in saidat, 2007 in Saidat, 2007 in Nacéri et djâât, 2010**).

L'organe qui extériorise en premier l'effet du la sécheresse est le limbe de la feuille, ceci se traduit un changement de forme et/ou d'orientation de la feuille (**Sarda et al., 1992 ; Deraissac, 1992, in saidat,2007 in Saidat, 2007 in Nacéri et djâât 2010**).

I.2.2.2.Effets de stress hydrique sur quelque paramètre physiologique

L'eau à un rôle fondamental dans la vie des plantes dans la mesure où elle conditionne leurs activités physiologiques et métaboliques, elle est le vecteur des éléments nutritifs de la plante (**Riou, 1993**).

A) Sur la photosynthèse

Lors d'un déficit hydrique, l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse et la conductance stomatique sont affectées (**Lowlor, 2002 ; Lowlor et Cornic, 2002**), la réduction de la photosynthèse, 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 et d'une limitation biochimique du chloroplaste à fixer le CO₂ (**Tardieu et Simoneau, 1998 ; Escolana et al., 1999 Flexas et Medrano, 2002**).

B) Sur la transpiration

Chez le blé, La transpiration résiduelle au cuticulaire représente plus de 50% de transpiration totale chez les plantes soumises une contrainte hydrique (**Clark et Romagosa, 1991**), le bilan d'énergie du couvert végétal montre qu'une partie importante de l'énergie radiative incidente est dispersée sous forme de transpiration, une réduction de la transpiration par fermeture stomatique se traduit donc par un échauffement de la feuille, souvent de plusieurs degrés (**Leinonen et Jones 2004, in Tardieu, 2007 in Saidat, 2007 in Nacéri et djâât 2010**).

I.2.2.3.Effets du stress hydrique sur le rendement

Fellachi et al, (2001), Haffaf et al. (2002) montrent que le déficit hydrique affecte considérablement les composants de rendements en réduisant le peuplement d'épi de mille grains par épi et inhibe le remplissage du grain ce qui affecte directement le poids de mille grains et par conséquent réduit la productivité de la culture.

Le rendement en grains chez le blé dépend fortement du nombre de grains par épi, du poids de grains par épi et du nombre d'épis par m² (**Triboï, 1990 in Mouellef, 2010**), l'effet du déficit hydrique sur ces composantes et par conséquent sur le rendement, dépend du stade au cours duquel ce déficit survient (**Debaeke et al.,1996 in Mouellef, 2010**), ainsi, un déficit hydrique à la montaison se traduit par la chute du nombre d'épis par m², la régression intense des tailles et la baisse du nombre de grains par épi (**Debaeke et al.,1996 in Mouellef ,2010**).

À la fin de la montaison, 10 à 15 Jours avant l'épiaison, la sécheresse réduit le nombre de fleurs fertiles par épillet (**Debaeke et al.,1996 in Mouellef, 2010**), le manque d'eau après la floraison, combiné à des températures élevées, entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et de la durée de remplissage (**Triboï, 1990**), au cours du remplissage des grains, le manque d'eau a pour conséquence une réduction de la taille des grains (échaudage), réduisant par conséquent le rendement (**Gate et al.,1993 in Mouellef ,2010**).

I.2.3.Mécanisme d'adaptation aux stress hydrique

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu (esquive, évitement et tolérance) (Turner, 1986), la résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (**Madhava Rao et al., 2006**).

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

I.2.3.1.Adaptation phénologique

Les paramètres phénologiques renvoient à la notion « d'évitement » ou d'échappement qui correspond au pouvoir d'un cultivar à achever son cycle pendant la période où l'eau est disponible (avant la déclaration de la sécheresse) (**Hamada, 2002**).

La précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau, en effet, en produisant la biomasse la plus élevée, les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible et ils sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs (**Bajji, 1999 in Belakhdar et Rebai, 2010**).

C'est l'un des traits les plus importants dans l'adaptation des plantes à la sécheresse terminale. Ainsi, en conditions méditerranéennes, la recherche d'une plus grande précocité a été, jusqu'en 1992, le moyen le plus utilisé pour éviter les effets négatifs sur le remplissage des grains de la sécheresse et des hautes températures de fin de cycle (**Ali Dib et al., 1992 in Belakhdar et Rebai, 2010**).

I.2.3.2.Adaptation morphologique

L'effet de la sécheresse peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilats, ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine : réduction de la surface foliaire et du nombre de talles, enroulement des feuilles et/ou meilleur développement du système racinaire (**Slama et al., 2005**).

A) Au niveau de la plante

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**).

La longueur des barbes est un paramètre morphologique qui semble également étroitement lié à la tolérance au stress hydrique (**Hadjichristodoulou, 1985 in Nadjem, 2011**).

La hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important particulièrement dans les zones arides, ceci s'expliquerait par le fait qu'une paille haute s'accompagne souvent d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une capacité d'extraction de l'eau supérieure (**Bagga et al., 1970 in Nadjem, 2011**).

Les plantes à enracinement superficielle et peu dense souffrent plus du déficit hydrique que ceux à enracinement profond (**El Hassani et Persoons, 1994 in Nadjem, 2011**).

B) Au niveau structurel

Une des principales modifications structurelles, observée sur des plantes ayant subi un stress hydrique, concerne l'altération des propriétés physico-chimiques des parois cellulaires (**Dixon et Paiva, 1995 in Amarai, 2010**), ces changements peuvent être induits par des modifications au niveau des enzymes impliquées dans la biosynthèse des monolignols ou dans leur assemblage dans la paroi. L'augmentation de l'expression de ces gènes peut être reliée à l'arrêt de la croissance et à l'épaississement de la paroi (**Dixon et Paiva, 1995 in Amarai, 2010**).

I.2.3.3. Adaptation physiologique

I.2.3.3.1. Ajustement osmotique

Pour limiter la perte en eau, les plantes sont capables de maintenir la turgescence de leurs cellules grâce à l'accumulation contrôlée de composés organiques appelés osmoprotectants, ce phénomène correspond à l'ajustement osmotique, les osmoprotectants sont des composés solubles, non chargés à pH neutre et compatibles, même à forte concentration avec les fonctions métaboliques (**Zhang et al., 1999 ; Abebe et al., 2003 ; Valliyodan and Nguyen, 2006**).

Des études menées sur l'osmorégulation indiquent que les acides aminés (proline, glycine, bêtaine) peuvent jouer un rôle significatif dans ce processus (**Tahri et al., 1997 in Mazouz, 2006**).

Les sucres aussi ont été considérés par plusieurs auteurs comme des bons osmorégulateurs qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes au stress hydrique (Cai et al.,2007).

Les composés inorganiques (potassium, nitrates) peuvent aussi avoir un effet dans la régulation osmotique et dans la tolérance au stress hydrique, il semblerait même que ce type de molécule soit plus efficace que les composés organiques (Hare et Cress, 1997in Mazouz, 2006).

La proline, un acide aminé multifonctionnel impliqué dans l'adaptation des plantes aux contraintes environnementales, l'accumulation de la proline est une des stratégies adaptatives déclenchées par la plante face aux contraintes de l'environnement (Belkhodja et Benkabilia, 2000).

-Accumulation de proline

La proline joue un rôle d'osmoticum de part les fortes concentrations qu'elle atteint soumis stress, elle agit aussi comme un soluté compatible qui s'accumule a des fortes concentrations dans le cytoplasme sans interférer avec les activités métabolique cellulaires (Samaras et al., 1995 in Mazouz 2006).

L'origine de la proline accumulée sous stress n'est pas totalement éclaircie, elle est soit synthétiser de nouveau à partir de l'acide glutamique (Glu) ou via l'ornisitol (Orn) qui sont utilisés comme précurseurs. La synthèse via l'acide glutamique est la plus probable (samaras et al.,1995 in Mazouz,2006).

L'accumulation de la proline dans la région apicale des racines des maïs stressées fait suite à l'augmentation de la vitesse de déposition de cet acide (Adjab, 2002), il démontrent que l'accumulation de la proline dans la zone apicale des racines du maïs stressées est due à un transfert.

Rajasekaram et al(1997) La proline est requise par l'apex racinaire comme source d'énergie et l'azote. (Hare et cress,1997in Mazouz ,2006) suggèrent que sous stress la proline est transférée à partir des cellules sources, qui possèdent la capacité de synthétiser la proline, vers des cellules cibles qui ont une forte demande en énergie.

I.2.3.3.2.Régulation stomatique

La stratégie de la tolérance est mise en œuvre par les plantes grâce à l'abaissement du potentiel hydrique qui maintient la turgescence (Sorrells et al., 2000), les mécanismes intervenant dans la tolérance assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire.

La réduction des pertes en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes au stress, cette diminution de la transpiration engendre une réduction de la photosynthèse, les génotypes qui ont la capacité photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le stress présentent une efficacité de l'utilisation de l'eau élevée et une plus grande capacité de survie (Araus et al., 2002).

I.2.3.3.2.1. 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 (Slayter, 1974 in Mouellef, 2010).

Le rapport chlorophylle (a/b) est un bon indicateur du seuil de tolérance au stress hydrique (Guettouche, 1990). (Tahri et al., 1997 in Mouellef, 2010) 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) (Mouellef, 2010).

I.2.3.4. Acide abscissique (ABA)

La régulation de l'état hydrique des parties aériennes de la plante par la fermeture des stomates est notamment déclenchée par un signal chimique racinaire, la molécule signal est une phytohormone, l'acide abscissique (ABA), synthétisé par les racines soumises à un stress hydrique et qui est véhiculé jusqu'aux feuilles par la sève brute (Djekoun et Ykhlef, 1996).

L'ABA joue un rôle dans la résistance des plantes à de nombreux stress et est de ce fait surnommée "hormone du stress", c'est notamment le cas lors d'attaques de certains pathogènes, de périodes anormalement chaudes, de stress oxydatifs liés à un manque d'oxygène (inondations par exemple), et enfin d'un stress hydrique lié à un stress osmotique (composante d'un stress salin), une période de gel ou de sécheresse.

Elle agit dans la plupart de ces cas en interaction avec d'autres facteurs ou hormones (agonistes et/ou antagonistes) et c'est l'intégration de voies ABA-dépendantes et ABA-indépendantes qui permet la mise en place d'une réponse spécifique adaptée au stress subi (Jensen et al., 1996 in Amrai, 2010).

I .2.3.5. Les protéines de stress

Les protéines de stress jouent un rôle dans l'adaptation de la plante et de ce fait de nombreux chercheurs abordent la résistance au stress par l'isolement et l'étude de ces molécules (**Campalans et al.,1999**). **Schulze et al.,(2005)** ont écrit qu'une partie des protéines induites ont une fonction directe dans l'augmentation de la tolérance au stress (protéines fonctionnelles), d'autres ont une fonction dans la chaîne de transduction (protéines régulatrices) qui aboutiront à la production de protéines fonctionnelles.

Les différentes matérielles utilisées :



Photo01: Bain-marie.



Photo02: Spectrophotometre.



Photo 03 : Balance.

L'expérience étudiée :



Photo04 : Désinfectent par l'eau de javel /l'eau distillée.



Photo05 : Germination.

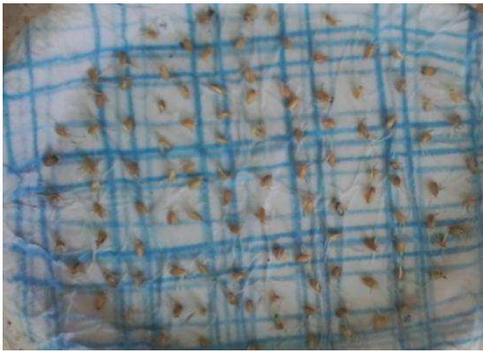


Photo06: L'arrêt d'arrosage.



Photo07: Transplantées.



Photo08: Les pots préparé pour l'expérience .

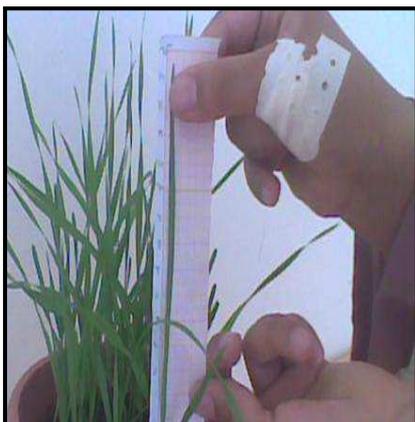


Photo 09 : Mesure d'élongation de 2ème feuille.



Photo10: Filtration de chlorophylle.

Conclusion

L'étude de la réponse au stress hydrique chez les trois variétés de blé dur testées révèle l'existence d'une grande variabilité pour la plupart des paramètres mesurés. L'effet du stress hydrique et pré-condition stress est bien marqué entre les traitements et les témoins de chaque variété et entre les variétés.

Nous avons étudié la réponse de ces trois variétés de blé dur au stress hydrique et pré condition stress, par analyse de variance de quelques paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques. On a pu observer une diminution de l'élongation de la 2^{ème} feuille par rapport aux témoins, c'est le cas des variétés Waha et Mexicali ont noté une augmentation de l'élongation de 2^{ème} feuille chez les plantés traitées par pré-condition stress par rapport aux celle qui à traitées par un seul stress.

Le stress hydrique et pré-condition stress a provoqué une diminution de la teneur relative en eau (TRE) chez les trois plantes testées. Et induit une baisse dans la TRE et des taux de Chlorophylles a et b, inversement il provoque une augmentation de la proline chez les trois variétés Mexicali, Waha, GT dur.

La réponse biochimique, évaluée à travers le processus d'accumulation de proline du les trois variétés sous stress hydrique et pré-condition stress, a mis en évidence le caractère de ces trois variétés qui expriment leur capacité à synthétiser et accumuler de la proline. L'accumulation de ce composé organique au niveau des feuilles est un phénomène lié aux stress hydrique et aux variétés.

La pré-condition stress amélioré la capacité d'adaptation des variétés Mexicali et Waha par contre la variété GT dur ni pas amélioré par ce stress.

L'application de stress au stade de germination joue un rôle de vaccin chez les variétés Mexicali et Waha par contre chez GT ce stress retardé la germination

Perceptive

Dans le cadre d'un travail futur, il serait souhaitable :

- d'appliquer cette étude sur plusieurs stades de cycle de vie.
- Vérifier les résultats sur champ.
- Utiliser plusieurs variétés.
- d'étudier le rendement.
- de compléter le travail par des études de biologie moléculaire pour identifier les gènes responsables

Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude de quelque paramètre morphologique, physiologique et biochimique de trois variétés de blé dur sous stress hydrique et pré-condition stress.

Les résultats montrent que le stress hydrique diminue l'élongation de feuille, teneur en eau teneur en chlorophylle et augmenté l'accumulation de proline .

La pré-condition stress hydrique amélioré la capacité d'adaptation du les variétés Mexicali et Waha mais la variété GTdur qui présenté la même réponse de stress hydrique . Les résultats a montré que L'application de stress au stade de germination joue un rôle de vaccin chez les variétés Mexicali et Waha.

Mots clés : blé dur, Morphologie, Physiologie, Biochimie, Stress hydrique ,pré-condition stress.

الملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة بعض المعايير المورفولوجية والفيزيولوجية والبيوكيميائية لثلاثة اصناف من القمح الصلب تحت تاثير الاجهاد المائي والاجهاد المائي المسبق.

النتائج بينت ان الاجهاد المائي تسبب في نقص طول الاوراق والمحتوى المائي النسبي للاوراق ومحتوى الكلوروفيل الكلي مع تراكم البرولين

الاجهاد المائي المسبق حسن من مقاومة الصنفين ماكسيكالي و واحة ولكن جيتادور اظهرت نفس الاجابة مع الاجهاد المائي

النتائج بينت ان تطبيق الاجهاد المائي المسبق في طور انبات البذور لعب دور اللقاح لدى ماكسيكالي و واحة

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب ,مورفولوجية,فيزيولوجية,بيوكيميائية,الاجهاد المائي ,الاجهاد المائي المسبق .

Abstract

The objective of this work is the study of some morphological parameter, physiological and biochemical three varieties of durum wheat under water stress and stress precondition

The results show that water stress decreases the elongation of leaf, water content chlorophyll content and increased the accumulation of proline.

The water stress precondition improved adaptability of the varieties Mexicali Waha but GTdur variety that presented the same water stress response. The results showed that at the stage of germination under stress plays a role in the vaccine Mexicali varieties and Waha,

Keywords: Durum wheat, Morphology, Physiology, Biochemistry, Water stress, stress pre-condition