

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
Département: Écologie et Génie de l'Environnement



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.

Thème:

**Effet du stress salin sur quelques paramètres morphophysologiques de deux variétés
de blé tendre (*Triticum aestivum* L.).**

Présenté par:

Abid Sara

Chouahda Abir

Fraga Hanane

Devant le jury composé de:

Président: Mme. Laouar H.

(M.C.B)

Université de Guelma

Examineur: Mme. Alloui N.

(M.C.B)

Université de Guelma

Encadreur: Mme. Chahat N.

(M.C.B)

Université de Guelma

Septembre 2020

Remerciements

Avant toute chose, nous remercions **Dieu** le tout puissant, pour le courage et la force qu'il nous a donné pour mener ce travail jusqu' à la fin.

Nous adressons nos plus profond et sincères remerciement à notre encadreur **Mme. Chahat Nora**, qui a dirigé ce travail, nous la remercies pour son aide, sa patience, ses conseils précieux qui ont conduit à l'achèvement ce travail. Qu'elle trouve ici l'expression de notre plus profond respect et profonde gratitude.

Nos remerciements s'adressent également à Mme Mme Laouar H, pour l'honneur qu'elle nous a fait d'avoir bien voulu présider notre jury.

Et Mme Allioui N, pour avoir accepté d'examiner ce travail

Nos remerciements vont également à Mer Zitouni A. pour son aide précieux dans le traitement statistique des résultats

Nos vifs remerciements vont également aux ingénieurs des laboratoires de la faculté SNVSTU qui ont mis à notre disposition les produits et le matériel nécessaire pour la réalisation de ce travail.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proche et amis, qui ont toujours nous soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.



Dédicaces

A nos parents
Nos frères et sœurs
A nos familles
Respectives
A nos amis

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction	01
---------------------------	----

Chapitre I : Généralités sur le blé tendre

1. Origine du blé tendre	03
1.1. Origine génétique	03
1.2. Origine géographique.....	04
2. Caractéristiques morphologiques de la plante.....	05
2.1. Appareil racinaire.....	05
2.2. Appareil aérien.....	06
3. Classification botanique.....	08
4. Structure et composition chimique du grain du blé tendre.....	09
4.1. Structure du grain du blé tendre.....	09
4.1.1. Le germe.....	09
4.1.2. L'albumen.....	09
4.1.3. Les enveloppes du grain.....	09
4.2. Composition chimique du grain du blé tendre.....	10
4.2.1. Éléments principaux.....	10
4.2.2. Éléments secondaires.....	11
5. Cycle de développement	12
5.1. Germination.....	13
5.2. Levée.....	13
5.3. Stade début tallage.....	13
5.4. Stade fin tallage	13
5.5. Stade montaison	13
5.6. Stade gonflement.....	13
5.7. Stade épiaison.....	14
5.8. Stade floraison.....	14

5.9. Stade maturation.....	14
6. Exigences pédoclimatiques.....	15
6.1. Température.....	15
6.2. L'eau.....	15
6.3. L lumière.....	15
6.4. Le sol.....	15
7. Importance de la culture du blé tendre.....	16
7.1. Dans le monde.....	16
7.2. En Algérie.....	17
8. Contraintes de la culture du blé tendre.....	19
8.1. Les contraintes naturelles.....	19
8.2. Les contraintes économiques.....	19
9. Les principales maladies et ravageurs du blé tendre.....	19
9.1. Maladies cryptogamiques.....	19
9.2. Les ravageurs.....	22

Chapitre II : Le Stress chez les plantes

1. Définitions du stress.....	24
2. Les stress abiotiques.....	24
2.1. Le stress thermique.....	24
2.1.1. Effet du stress thermique sur les plantes.....	25
2.1.1.1. Effet des températures élevées.....	25
2.1.1.2. Effet du froid.....	26
2.1.1.3 Effet du gel.....	26
2.1.2. Mécanismes d'adaptations aux températures extrêmes.....	27
2.1.2.1. Au froid.....	27
2.1.2.2. Aux températures élevées.....	27
2.1.2.3. Au gel	28
2.2. Le stress hydrique	28
2.2.1. Effet du stress hydrique sur les plantes.....	29
2.2.1.1. Sur la membrane plasmique.....	29
2.2.1.2. Sur les échanges gazeux et la transpiration	29

2.2.1.3. Sur la photosynthèse.....	29
2.2.1.4. Sur la croissance des rameaux et des racines.....	30
2.2.2. Mécanismes d'adaptation au stress hydrique.....	30
2. 3. Le stress xénobiotique.....	31
2.3.1. Effet du stress xénobiotique sur les plantes.....	31
2.3.2. Mécanismes d'adaptation au stress xénobiotiques.....	31
2. 4. La salinité et stress salin.....	32
2.4.1 Classification des sols salés.....	32
2.4.1.1. Sols salins à complexe calcique (les Solontcheks).....	32
2.4.1.2. Sols salins à complexe sodique (les Solonetz).....	33
2.4.2. Effet de la salinité sur les plantes.....	33
2.4.2.1. Sur la germination.....	33
2.4.2.2. Sur la croissance et le développement.....	34
2.4.2.3. Sur la photosynthèse.....	34
2.4.3. Les mécanismes d'adaptations face au stress salin.....	35
2.4.3.1. Exclusion.....	35
2.4.3.2. Inclusion.....	35
2.4.3. 3. Ajustement osmotique.....	36

Chapitre III : Matériel et méthodes

1. L'objectif de l'essai.....	38
2. Présentation du site de l'essai.....	38
3. Matériel végétal.....	38
3.1. Semences de blé tendre.....	38
3.2 Origine et caractéristiques des variétés.....	39
4. Solutions salées de NaCl.....	40
5. Installation et conduite de l'essai.....	40
5.1. Essai de germination.....	40
5.2. Essai de croissance.....	42
6. Caractéristiques du substrat.....	43
7. L'irrigation.....	44
8. Paramètres étudiés.....	44

8.1. Paramètres relatifs à la germination des graines (Essai en boites de pétri).....	44
8.2. Paramètres relatifs à la croissance et le développement.....	44
8.2.1. La surface foliaire SF.....	44
8.2.2. Nombre de feuilles.....	45
8.2.3. Longueur de la racine principale.....	45
8.2.4. La hauteur des plantes.....	45
9. Traitement statistique des résultats.....	45

Chapitre IV: Résultats et discussion

1. Essai de germination dans les boites de pétri.....	46
1.1. Pourcentage de germination des graines.....	46
1.2. Longueur de la radicule.....	47
1.3. Longueur de la tigelle.....	48
2. Essai de croissance et de développement des plantules dans les pots.....	50
2.1. La surface foliaire.....	50
2.2. Nombre de Feuilles.....	51
2.3. La longueur de la racine principale.....	52
2.4. Hauteur des plantes.....	53
Conclusion.....	55

Résumé

Abstract

الملخص

Références bibliographiques

Annexes

Liste des abréviations

°C: Degré Celsius.

%: Pourcentage.

Ca⁺: Calcium.

Cl⁻: Chlorure.

CO₂: Dioxyde de carbone.

Cm: Centimètre.

FAO: Food and Agriculture Organisation.

Fig: Figure.

H: Heure.

H₂O: Eau.

ha: hectare.

HD: Hiddab.

K⁺: Potassium.

m: mètre.

Mg: milligramme.

Mg²⁺: Magnésium.

min: minute.

mM: milimolaire.

N: Azote.

Na Cl: chlorure de sodium.

Na⁺: Sodium.

NO₃⁻: Nitrate.

P: phosphore.

PSII: photosystème II

pH: Potentiel hydrogène.

SF: La surface foliaire.

T°: Température en degré Celsius.

Liste des figures

N°	Titre	page
01	Relations phylogénétiques entre le blé tendre (<i>T. aestivum L.</i>) et ses ancêtres sauvages.	04
02	Origine du blé tendre.	04
03	Carte de la diffusion de la culture du blé.	05
04	Organisation du système racinaire des Céréales.	06
05	Morphologie de l'appareil aérien du blé tendre.	07
06	Epi de blé tendre en floraison.	08
07	Histologie du grain de blé tendre.	10
08	Cycle de développement de blé tendre.	14
09	Surfaces mondiales de blé en 2016.	16
10	Production céréalière mondiale, utilisation et stocks.	17
11	Quelques maladies cryptogamiques chez le blé tendre.	21
12	Quelques attaques des ravageurs chez le blé tendre.	23
13	Photo représente les graines des deux variétés testées.	38
14	Essai de germination des graines des deux variétés de blé tendre dans les boîtes de pétri.	41
15	Essai de croissance dans les pots et sous serre.	42
16	Pourcentage de germination (%) des deux variétés de blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).	47
17	Longueur de la racine (cm) des deux variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).	48
18	Longueur de la tigelle (cm) des deux variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).	49
19	La surface foliaire (cm ²) des deux variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).	51
20	Le nombre de feuilles des deux variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).	52
21	Longueur de la racine principale (cm) des deux variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).	53
22	La hauteur de la plante (cm) des deux variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).	54

Liste des tableaux

N°	Titre	page
01	Plan taxonomique du blé tendre.	08
02	Distribution histologique des principaux constituants des grains du blé tendre en %.	12
03	la production du blé tendre en Algérie (milliers de quintaux).	18
04	Evolution du taux d'autosuffisance pour le blé tendre (%).	18
05	Maladies cryptogamiques du blé tendre.	20
06	Les ravageurs du blé tendre.	22
07	Classification des sols salés.	33
08	Caractéristiques du matériel végétal utilisé.	39
09	Description du dispositif expérimental de l'essai de germination dans les boîtes de pétri.	41
10	Description du dispositif expérimental de l'essai de croissance dans les pots et sous serre.	43

Introduction

Introduction

Les céréales sont les principales sources de la nutrition humaine et animale dans le monde. Le blé occupe la première place pour la production mondiale et la deuxième, après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines (**Bajji, 1999**). Le blé tendre est l'espèce céréalière la plus importante du point de vue économique qui s'est adaptée à des conditions naturelles très variées (**Epstein et al., 1980**).

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Cette caractéristique est perçue d'une manière claire à travers toutes les phases de la filière. La production des céréales, jachère comprise, occupe environ 80 % de la superficie agricole utile (SAU) du pays. La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 million d'ha. Les superficies annuellement récoltées représentent 63 % des emblavures. Elle apparaît donc comme une spéculation dominante (**Djermoun, 2009**).

Les cultures céréalières sont souvent confrontées à de nombreux facteurs abiotiques, dont la salinisation qui constitue une menace réelle pour la sécurité alimentaire mondiale du fait qu'elle abaisse les rendements des cultures et peut détériorer les terres de façon irrémédiable. En effet, chaque minute, trois hectares de terres arables sont détériorés d'une manière souvent irréversible à cause de la salinisation des sols. Ce phénomène progresse rapidement dans le monde et concerne un cinquième des terres irriguées [1].

Les zones les plus touchées sont celles à climat aride à semi-aride. Plus l'aridité est forte, plus l'irrigation est incontournable à la culture et plus son usage est risqué [1]. La stratégie la plus utilisée par les végétaux pour éviter les problèmes d'excès d'ions est la compartimentation cellulaire, qui se traduit par une accumulation préférentielle du Na⁺ dans la vacuole (**Apse, 1999**). Face à cette contrainte qui intervient directement dans la limitation des rendements agricoles et pour valoriser les sols touchés par ce phénomène, l'introduction d'espèces végétales tolérantes est une stratégie alternative souvent recommandée (**Jaouadi et al., 2010**). De même, l'application exogène de solutés compatibles connus par leur rôle osmoprotecteur constituent la principale stratégie visant la promotion du rendement agricole sous stress salin (**Ashraf et al., 2012**). En Algérie, les sols salés dans bonne partie se trouvent localiser dans les régions steppiques où le processus de salinisation est marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficient (**Szablocs, 1989**).

Cette étude portera sur l'analyse de quelques paramètres de germination et de croissance (paramètres morphologiques et physiologiques) de deux variétés de blé tendre Hiddab et Arz, traitées par des doses croissantes de NaCl (0, 50, 100, 150, 200 mM de NaCl). Pour ce faire nous avons appliqué le stress salin à différents niveaux sur les graines des deux variétés testées en suivant leur comportement germinatif et en mesurant quelques caractères de la plantule à fin d'évaluer leur niveau de tolérance vis-à-vis la contrainte saline.

Chapitre I
généralités
sur le blé tendre

1. Origine du blé tendre

1.1. Origine génétique

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des Poaceae (ex. Gramineae). C'est une céréale dont le grain est un fruit sec indéhiscent, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments (**Feillet, 2000**). Il existe plusieurs blés, dont deux ont une importance économique: le blé dur (*Triticum. Turgidum ssp. durum*) espèce tétraploïdes utilisée pour produire les semoules et les pâtes alimentaires, et le blé tendre (*Triticum aestivum L.*), espèce hexaploïdes utilisée pour la panification (**Samouelian et al., 2009**).

Les espèces du genre *Triticum* se différencient par leur degré de ploïdie: blés diploïdes, à génome AA, blés tétraploïdes AA et BB, blés hexaploïdes AA, BB et DD, ainsi que par leur nombre de chromosomes qui sont respectivement, 14, 28 et 42 chromosomes (**Feillet, 2000**).

Le blé tendre est une espèce hexaploïde avec 42 chromosomes dérivés de trois génomes désignés respectivement A, B et D, ils contribuent chacun sept paires de chromosomes au génome total (**Chapman, 2009**).

L'espèce sauvage *Triticum urartu* est diploïde ($2n = 14$, génome AA) et serait à l'origine d'une espèce de blé cultivée dès le néolithique, *T. monococcum*, et dont la forme actuelle est l'engrain. Le croisement naturel de *T. sitopis*, diploïde ($2n = 14$, génome BB), avec *T. urartu* serait à l'origine du blé tétraploïde *T. dicoccoides* ($2n = 28$, génome AA BB) qui a pour origine l'espèce cultivée *T. dicoccum*. Cette espèce, *T. dicoccum*, a conduit par sélection au blé dur actuel (*T. durum*). L'hybridation du blé tétraploïde *T. dicoccum* avec une graminée sauvage *T. tauschii* (génome DD) a donné le blé tendre actuel (*T. aestivum L.*) (**Fig. 01**). Le blé tendre est ainsi une plante hexaploïde provenant de deux hybridations naturelles successives (**Fig. 02**), faisant passer le nombre de chromosomes de 14 (2×7) à 42 ($2n = 6 \times 7$) (**Samouelian et al., 2009**).

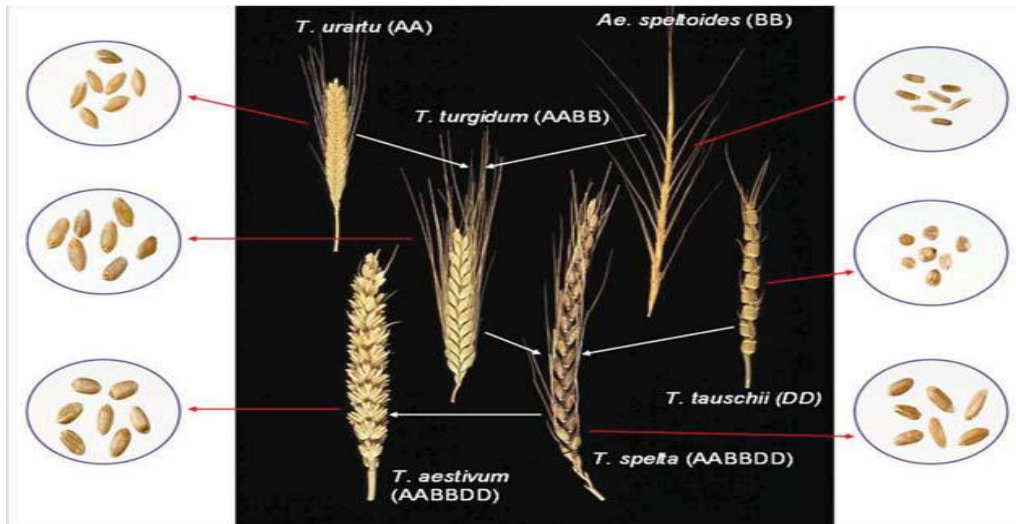


Figure 01: Relations phylogénétiques entre le blé tendre (*T. aestivum* L.) et ses ancêtres sauvages (Shewry, 2009).

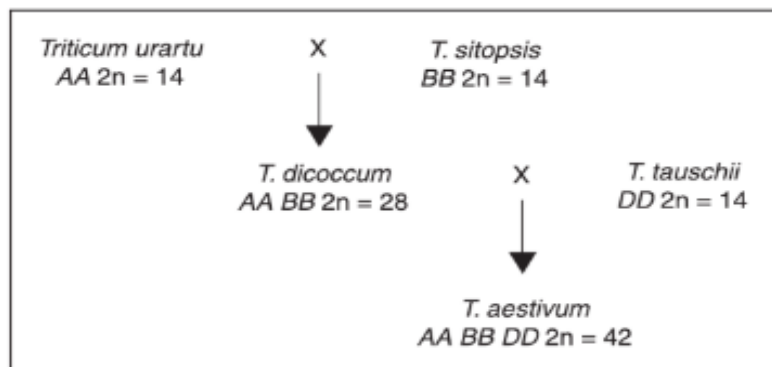


Figure 02: Origine du blé tendre (Samouelian et al., 2009).

1.2. Origine géographique

L'origine du blé est difficile à préciser à cause de la diversité des opinions taxonomiques. De même, il existe de considérables modifications morpho-physiologiques entre les blés cultivés actuels et leurs ancêtres d'une part, et d'autre part, seul un petit nombre d'entre eux est actuellement cultivé dans les mêmes territoires que ceux où ils ont été domestiqués (Bonjean, 2001).

Le blé est l'une des principales ressources alimentaires de l'humanité. La saga du blé accompagne celle de l'homme et de l'agriculture (Feillet, 2000).

La culture du blé s'est diffusée vers le Nord-Ouest par les plaines côtières du bassin méditerranéen et arrivée jusqu'au Balkans (URSS) puis en suivant la vallée du Danube

(Allemagne) pour se fixer aussi dans la vallée du Rhin (France) entre 5000 et 6000 ans avant J.C. Les restes archéologiques montrent que le blé a atteint l'Ouest de l'Europe environ 5000 ans avant J.C. Dans le même temps, il est introduit en Asie et en Afrique. Son introduction en Amérique, et plus encore en Australie, n'est que très récente. L'évolution du blé s'est donc produite dans de nombreux écosystèmes (**Fig. 03**), de manière relativement indépendante jusqu'au XIX siècle (**Bonjean, 2001**).



Figure 03: Carte de la diffusion de la culture du blé (**Bonjean, 2001**).

2. Caractéristiques morphologiques de la plante

2.1. Appareil racinaire

Le système racinaire est en réalité se compose de 2 systèmes qui se succèdent (**Fig. 04**):

- ✓ Le système de racines primaires ou séminales, qui se met en place à la levée et perdure jusqu'au début du tallage. Il est composé d'une racine principale de laquelle partent 2 paires de racines latérales.
- ✓ Le système des racines secondaires, coronales ou de tallage, qui remplace progressivement le système primaire lors du développement des talles. Il est de type fasciculé et constitue de nombreuses racines adventives d'importance équivalente (**Soltner, 1988**).

La profondeur des racines de blé tendre est variable selon le travail du sol ainsi que l'humidité du sol. Certains auteurs ont rapporté que 50 % de la longueur totale des racines se trouve entre 0-25 cm, 10 % entre 20-50 cm mais elles peuvent atteindre 1 m à 1.2 m dans un sol bien profond (**Bachir Bey et al., 2015**).

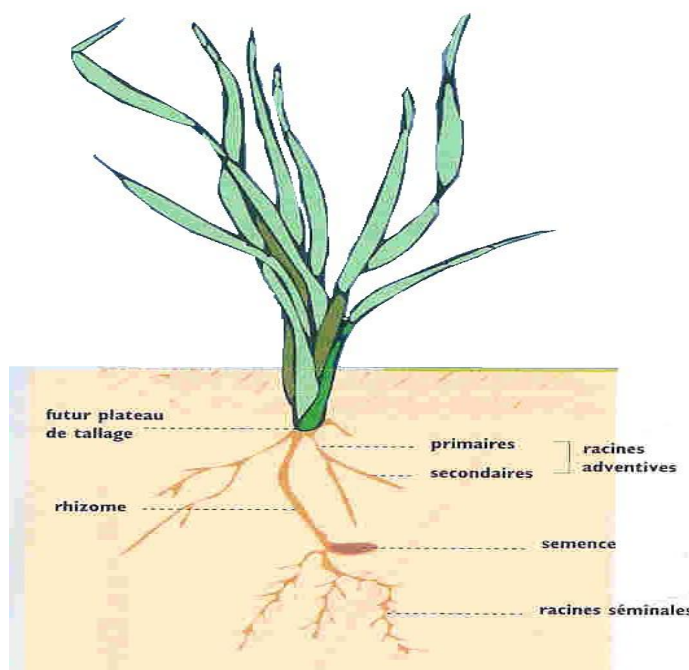


Figure 04: Organisation du système racinaire des Céréales [2].

2.2. Appareil aérien

L'appareil aérien est formé d'un nombre d'unités correspondantes aux talles, partant d'une zone à la base de la plante appelée plateau de tallage (**Soltner, 1998**). Les tiges sont des chaumes cylindriques, creux par résorption de la moelle centrale [3], possèdent cinq à sept nœuds ainsi que trois ou quatre feuilles véritables. La feuille la plus haute, ou dernière feuille, sous-tend l'inflorescence. Chaque chaume produit un épi composé, dont les ramifications sont les épillets (**Lersten, 1987**). La feuille du blé est simple, allongée, alternée à nervures parallèles; elle se compose de deux parties (**Fig. 05**):

- ✓ La partie inférieure entourant la jeune pousse qui est la graine.
- ✓ La partie supérieure en forme de lame qui est le limbe (**Soltner, 1999**).

L'inflorescence est un épi (**Fig. 06**). Ce dernier est constitué d'unités de base appelés épillets (**Soltner, 1998**). Les épillets sont portés par le rachis, ou axe principal de l'épi, et séparés par de courts entre-nœuds. Chaque épillet est un axe reproducteur condensé constitué de 2 ou 3 fleurs enveloppées chacune par deux bractées stériles appelées glumes (inférieur et

supérieur). La fleur possède trois étamines se terminant chacune par une grande anthère; le pistil comprend un seul ovaire, un seul ovule et deux styles se terminant chacun par un stigmate plumeux et ramifié (Lersten, 1987).

Le fruit du blé est un caryopse, c'est un fruit sec indéhiscent dans lequel le péricarpe du fruit et le tégument de la graine sont soudés [4]. Le grain est obtenu après le battage, c'est à dire une fois que les balles enveloppant le grain ont été supprimées. La couleur des grains de blé varie généralement du roux au blanc et pourpre, la longueur du grain varie de 0.48 à 0.95 cm et le poids est d'environ 35 mg selon les variétés et le degré de maturité. Le grain de blé est caractérisé par une brosse, et est parcouru en surface par un sillon longitudinal dont le repli atteint parfois le quartier médian du grain (Feillet, 2000).

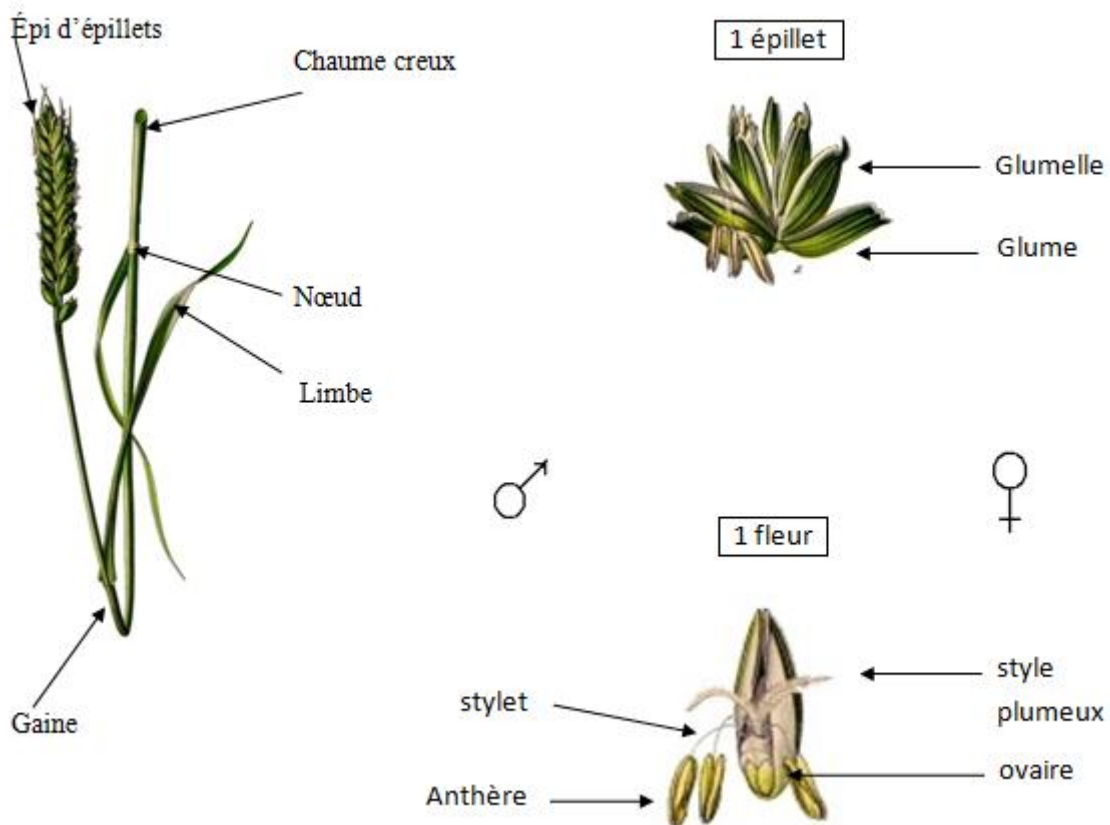


Figure 05: Morphologie de l'appareil aérien du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) [5].



Figure 06: Epi de blé tendre en floraison [6].

3. Classification botanique

Selon **Chadefaud et Emberger (1960)**, le blé tendre obéit à la classification suivante (**Tableau 01**):

Tableau 01: Plan taxonomique du blé tendre (**Chadefaud et Emberger, 1960**).

Règne	Plantae
Embranchement	Spermaphytes
S/Embranchement	Angiospermes
Division	Magnoliophyta
Classe	Monocotylédones
S/Classe	Commelinidae
Ordre	Poales
Famille	Poaceae (ex. Gramineae)
S/Famille	Triticeae
Genre	<i>Triticum</i>
Espèce	<i>Triticum aestivum L.</i>

4. Structure et composition chimique du grain du blé tendre

4.1. Structure du grain du blé tendre

Le grain de blé se compose de trois principaux éléments: le germe, l'albumen et l'enveloppe (**Fig. 07**).

4.1.1. Le germe

Le germe provient de la fusion des gamètes mâles et femelles. Il est constitué d'une part, de l'axe embryonnaire qui donnera la tigelle, le mésocotyle et la radicule et d'autre part du scutellum qui donnera le cotylédon (**Surget et Barron, 2005**). Le germe est la partie du grain où le taux d'humidité et la concentration en lipides sont les plus importantes (**Pomeranz, 1988**).

4.1.2. L'albumen

L'albumen constitue le plus important compartiment du grain et représente environ 80 % de son poids (**Pomeranz, 1988**). Il correspond au tissu de réserve. L'albumen amylicé est essentiellement constitué des granules d'amidon enchâssés dans une matrice protéique composée en grande partie de prolamines (gliadines, gluténines de hauts et faibles poids moléculaires) mais aussi d'albumines et de globulines. Ces deux familles protéiques, gluténines et gliadines, sont hydrolysées lors de la germination et du développement de la plantule par les enzymes produites dans l'embryon et la couche à aleurone. Elles constituent la source d'acides aminés nécessaires à la germination de la graine (**Evers et Millar, 2002**).

4.1.3. Les enveloppes du grain

Les enveloppes de la graine et du fruit donnent le son en semoulerie, elles sont d'épaisseurs variables et sont formées de six tissus différents (**Godon et Willm, 1991**): épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe de la graine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (**Fiellet, 2000**).

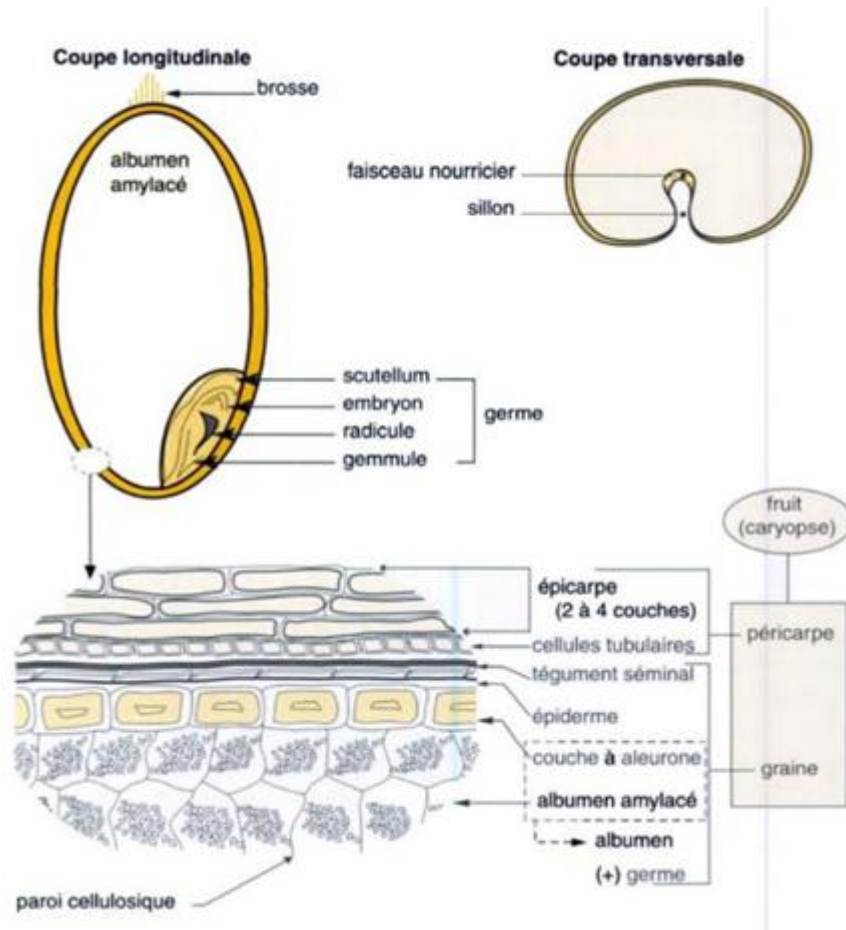


Figure 07: Histologie du grain de blé tendre (Fiellet, 2000).

4.2. Composition chimique du grain du blé tendre

Bien que le blé dur soit surtout riche en carbohydrates, le blé tendre plus riche en cette substance et moins protides. Pour le reste des composants, les deux espèces ont des teneurs similaires (Ben Mbarek et Boubaker, 2017). Le grain est principalement constitué d'amidon (environ 70 %), de protéines (10 à 15 % selon les variétés et les conditions de culture) et de pentosanes (8 à 10 %): les autres constituants, pondéralement, sont les lipides, la cellulose, les sucres, les minéraux et les vitamines (Fiellet, 2000).

4.2.1. Éléments principaux

Les glucides, surtout sous forme d'amidon, ce dernier est considéré comme le constituant le plus important des céréales. Le blé fournit cependant peu de protéines et encore moins de lipides (Fiellet, 2000).

❖ Glucides

Les glucides sont des molécules énergétiques qui nettement majoritaires avec 60 % de la matière humide ou 80 % de la matière sèche (**Godon et Willum, 1998**).

Ils principalement constituent par: amidon, les sucres simples, la cellulose, les pentoses et les pentosanes (**Feillet, 2000**).

❖ Protéines

Ce sont des composés azotés que l'on rencontre sous forme simple (acides aminés) et sous forme plus complexe (protéines). La teneur en protéines des céréales et des protéagineux varie suivant les espèces, elle est en moyenne de 12 % pour le blé, les principaux sont: les protéines solubles (les albumines, les gloublines), les protéines de réserves (les gliadines, les gluténines et les glutens) (**Shewry et al., 1986**).

❖ Lipides

Ce sont les matières grasses. Dans les céréales elles sont fortement concentrées dans le germe. Le blé en contient 1 à 2 % (**Feillet, 2000**), elles sont riches en acides gras insaturés (**Godon, 1991**).

4.2.2. Éléments secondaires

❖ Pigments et vitamines

Ce sont des composés chimiques complexes, surtout concentrés dans le péricarpe et le germe à des teneurs très faibles. Les pigments sont spécifiques à chaque espèce et même à chaque variété. Ils sont parfois associés à des vitamines (pigments caroténoïdes) (**Feillet, 2000**).

❖ Enzymes

Ce sont des protéines qui exercent une activité catalytique spécifique sur un grand nombre de réactions chimiques, mais dont le rôle est très important: ils sont responsables de transformer les substances en les autres substances (hydrolyse de l'amidon et des protéines, destruction des sucres simples et des acides aminés), les principaux enzymes sont: α et β Amylase, Lipases, Protéases, Lipoxydases. (**Feillet, 2000**).

❖ Eau

L'eau est toujours présente dans le grain, à une teneur plus ou moins grande et joue un rôle important dans l'altération de la semoule (**Godon, 1991**). Du point de vue chimique et physique, son action solvant favorise les réactions enzymatiques et les attaques microbiennes (**Feillet, 2000**).

❖ Les sels minéraux

Selon **Godon (1991)**, La teneur moyenne en matière minérale du grain de blé est d'environ 1.8 % du poids sec.

Le tableau 02 représente la distribution histologique des principaux constituants du grain du blé tendre en %.

Tableau 02: Distribution histologique des principaux constituants des grains du blé tendre en % (**Feillet, 2000**).

	Grain %	Péricarpe %	Aleurone %	Albumen %	Germe %
Amidon	68.9	0	0	82	0
Sucres réducteurs	2.4	0	01.8		30
Protéines	13.7	10	30	12	31
Lipides	2.7	0	9	2	12
Pentosanes	7.4	43	46	1.6	7
Cellulose	2.8	40	3	0.1	2
Minéraux	1.9	7	12	0.5	6

5. Cycle de développement

Le cycle évolutif du blé se divise en trois périodes (une période végétative, La période reproductive, La période de maturation), comporte des phases caractérisées par des stades repères (**Fig. 08**). La réalisation des différents stades est sous le contrôle de la somme des températures journalières (degré-jour) subie par la plante (**Hamadache, 2013**).

5.1. Germination

Cette étape correspond à une activation métabolique de l'embryon décelable par les échanges respiratoires de la graine. C'est un processus préparatoire à l'élongation de la radicule et de la coléoptile (**Boyeldieu, 1999**).

5.2. Levée

Elle est définie par l'apparition de la première feuille qui traverse la coléoptile (**Mouille, 1971**).

5.3. Stade début tallage

Est repéré dès que la plante possède trois à quatre feuilles et une tige sur le maître brin à l'aisselle de la feuille la plus âgée. L'émergence de cette première talle hors de la gaine de la première feuille constitue le repère conventionnel du stade début tallage (**Gate, 1995**).

5.4. Stade fin tallage

Le fin tallage correspond à la fin de la période végétative et le début de la phase reproductrice du cycle du blé, les méristèmes apicaux des tiges commencent à former des pièces florales au lieu des feuilles, le nombre final de talles est arrêté car la photopériode (longueur du jour) permet l'élongation des premiers entre-nœuds (**Hamadache, 2001**).

5.5. Stade montaison

Elle se manifeste à partir du stade épi à 1 cm, c'est la fin du tallage herbacé et la tige principale ainsi que les talles les plus âgées commencent à s'allonger suite à l'élongation des entre-nœuds, auparavant emplies sous l'épi (**Belaid, 1996**). Pendant cette phase de croissance active, les besoins en éléments nutritifs notamment en azote sont accrus (**Merizek, 1992**).

5.6. Stade gonflement

La gaine de la dernière feuille se trouve gonflée par l'épi encore dans la tige, à ce stade, le blé a initié une vingtaine d'épillets par épi. Durant cette phase, la méiose pollinique commence et les grains de pollen s'élaborent, la méiose dure 1 à 2 jours, une baisse de température peut induire une stérilité des gamètes mâles et une élévation des températures (> 30°C) peut par contre engendrer une stérilité femelle (**Hamadache, 2001**).

5.7. Stade épiaison

L'épiaison débute lorsque les premières barbes ou le sommet de l'épi deviennent visibles au-dessus du col de la feuille étendard, elle correspond à la sortie de 50% des épis de la gaine des dernières feuilles (**Soltner, 1999**).

5.8. Stade floraison

C'est au cours de cette période que s'achève la formation des organes floraux et que va s'effectuer la fécondation. Le nombre de fleurs fécondées durant cette période critique dépendra de la nutrition azotée et l'évapotranspiration (**Clement et Prats, 1970**).

5.9. Stade maturation

Après fertilisation, le développement du grain va passer par 3 phases : d'abord une phase de divisions cellulaires, puis le remplissage des cellules en amidon et protéines pour finir par une phase de maturation ou dessiccation du grain (**Acevedo et al., 2002**). A ce stade le poids sec du grain à atteint sa valeur maximum et définitive. Après se stade le grain devient de plus en plus dur et peut être récolté: c'est la maturité de récolte (**Gate, 1995**).

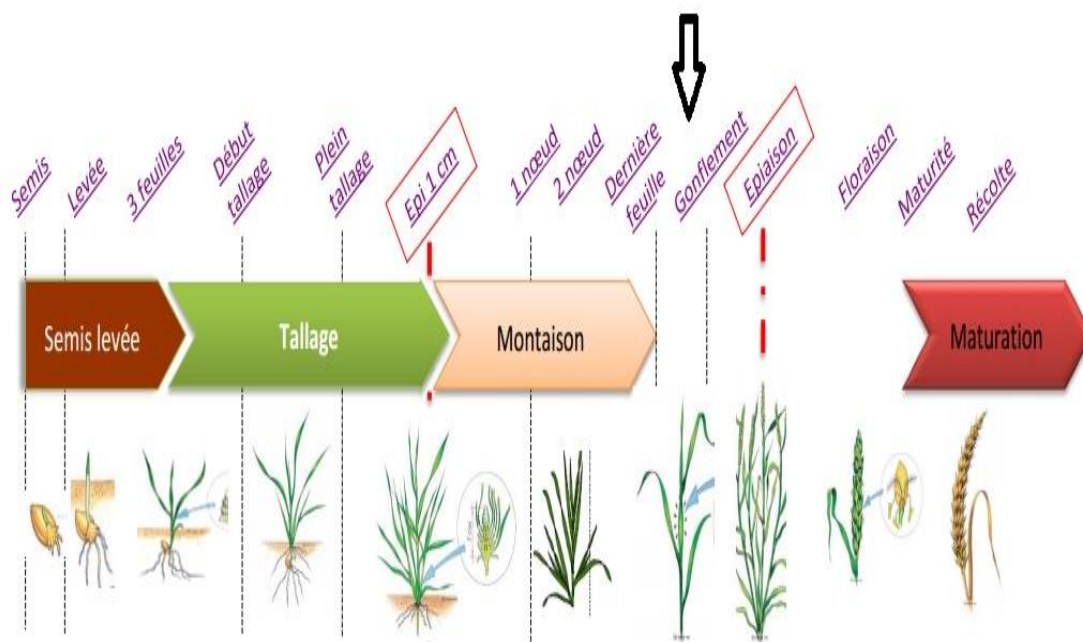


Figure 08: Cycle de développement de blé tendre [7].

6. Exigences pédoclimatiques

6.1. Température

L'activité physiologique du blé est maximale à 25 °C, des températures de 28 à 32 °C sont considérées comme stressantes. Les hautes températures au-dessus de 30 °C affectent le poids final du grain en réduisant la durée de remplissage du grain (**Al Khatib et Paulsen, 1984**), ainsi que le nombre de grains produit par unité de surface emblavée. La réduction du nombre de grains produit par m² est attribuée à la sensibilité des grains de pollen durant leurs phases de développement aux températures élevées (**Abbassenne et al., 1998**).

L'élévation de la température inhibe l'accumulation de l'amidon et des protéines dans le grain de pollen, le rendant incapable de fertiliser (**Dorion et al., 1996**).

6.2. L'eau

Le blé exige une humidité permanente durant tout le cycle de développement, la quantité d'eau demandée varie selon la sensibilité de chaque phase. Les besoins en eau sont estimés à environ 800 mm (**Soltner, 1988**).

6.3. La lumière

La lumière exerce une influence sur l'intensité de la photosynthèse comme d'autres facteurs climatiques (humidité, température,...). La photosynthèse est un excellent moyen de conversion de l'énergie solaire en matière organique (**Kayamba, 2017**). De même, le bon tallage est garanti, si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairement (**Soltner, 1990**).

6.4. Le sol

Le blé exige un sol sain, apprécie les sols limoneux, argileux calcaires ou les sols argileux siliceux profonds (**Kayamba, 2017**).

Le sol doit être bien pourvu en calcium et riche en matière organique. Le blé tendre est moins exigeant que le blé dur (**Anonyme, 2011**).

7. Importance de la culture du blé tendre

7.1. Dans le monde

Le blé fait partie des trois grandes céréales mondiales avec le maïs et le riz. C'est, avec environ 600 millions de tonnes annuelle, la troisième plante par l'importance de la récolte mondiale, et avec le riz, la plus consommée par l'homme (François et Gaudry, 2016). Il couvre 17 % des surfaces cultivées des zones tempérées, des zones à climat méditerranéen à subtropical (Fig. 09) situées entre le 57 ° de latitude Nord en Russie et en Scandinavie et le 45 ° de latitude Sud en Argentine (Le Stum et al., 2017).

Cinq pays ou régions assurent les deux tiers de la production mondiale. L'Union européenne, la Chine, l'Inde, les Etats-Unis et la Russie ont produit en moyenne 397 millions de tonnes de blé au cours de la période 2003-2007. Aux côtés de ces grands producteurs on trouve une série de 8 pays dont la production se situe généralement entre 10 et 30 millions de tonnes et qui ne représentent ensemble pas loin du quart (23 %) de la production mondiale de blé chaque année: le Canada, le Pakistan, l'Australie, la Turquie, l'Argentine, l'Iran, l'Ukraine et le Kazakhstan. Ces deux groupes de pays fournissent ensemble environ 93 % de la production mondiale de blé (Destrait et Defense, 2011).

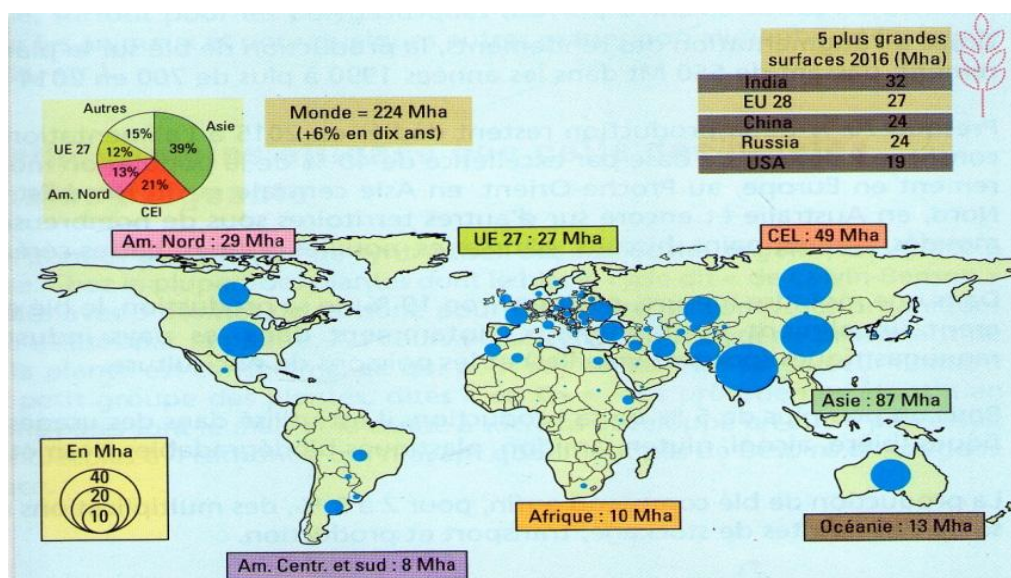


Figure 09: Surfaces mondiales de blé en 2016 (Le Stum et al., 2017).

Selon les dernières prévisions de la FAO pour 2019, la production mondiale des céréales devrait atteindre un taux de 2,714 milliards de tonnes. L'utilisation mondiale de céréales en 2019-2020 devrait atteindre 2,709 milliards de tonnes, ce qui est un nombre

record. Les projections des stocks mondiaux de céréales à la fin de 2020 (décembre) des récoltes ont augmenté de 14 millions de tonnes (1,6 pour cent) par rapport au mois précédent et se sont élevées à 863 millions de tonnes (**Fig. 10**), mais à ce niveau, c'est la troisième valeur la plus élevée jamais enregistrée (**FAO, 2019**).



Figure 10: Production céréalière mondiale, utilisation et stocks (**FAO, 2019**).

7.2. En Algérie

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. La production des céréales, jachère comprise, occupe environ 80 % de la superficie agricole utile (SAU) du pays. La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 million d'ha. Les superficies annuellement récoltées représentent 63 % des emblavures. De 1995 à 2005, le marché Algérien a absorbé, en moyenne annuelle, 4244903 tonnes de blés (**Djermoun, 2009**).

Cette culture est concentrée essentiellement dans la région des Hauts Plateaux dont on peut citer Oum El Bouaghi, Tiaret, Sétif, Souk Ahras, Tebessa, Sidi Bel Abbes et Saida (**Anonyme, 2008**).

La production céréalière en Algérie est fortement dépendante des conditions climatiques. Cela se traduit d'une année à l'autre par des variations importantes de la production et du rendement. Ainsi, le manque de précipitations, mais aussi la mauvaise répartition des pluies pendant l'année expliquent en grande partie la forte variation de la production céréalière (**Djermoun, 2009**). Le tableau 03 représente la production du blé tendre en Algérie durant les années 2005 à 2009 (**ONS, 2009**).

Tableau 03: la production du blé tendre en Algérie (milliers de quintaux) (ONS, 2009).

Année	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09
Production de blé tendre	9 151	7 900	2 972	9 521

La couverture des besoins de consommations des céréales est assurée à hauteur de 37,7 % par la production nationale au cours de la période 1995-2004. L'offre domestique demeure encore faible (**Tableau 04**), le taux d'autosuffisance se situe au environ de 28,4 % pour le blé tendre (**Djermoun, 2009**).

Tableau 04: Evolution du taux d'autosuffisance pour le blé tendre (%) (**Djermoun, 2009**).

Année	Blé tendre
1995	20,8 %
1996	36,6 %
1997	8,5 %
1998	47,5 %
1999	41,8 %
2000	18,3 %
2001	31,1 %
2002	18,4 %
2003	34,5 %
2004	31,4 %
1995/2004	28,4 %

8. Contraintes de la culture du blé tendre

8.1. Les contraintes naturelles

Les contraintes naturelles entravent la production du blé en Algérie, la pluviométrie en constitue l'une des plus importantes (**Bencharif et Rastoin, 2007**). Ajouter à cela plusieurs autres contraintes intervenant dans la limitation des rendements:

- La sécheresse, (manque d'eau prolongé influe directement sur la croissance de la plante).
- Le vent, peut provoquer des dégâts mécaniques.
- La grêle, les symptômes dépendent du stade de la céréale et le moment de la chute de grêle (**Mathieu, 2012**).

8.2. Les contraintes économiques

Les contraintes économiques sont liées aux coûts de production élevés résultants des facteurs de production et du matériel agricole (**Bencharif et Rastoin, 2007**).

9. Les principales maladies et ravageurs du blé tendre

9.1. Maladies cryptogamiques

Le blé tendre est susceptible d'être confronté à de différentes maladies cryptogamiques (dues à des champignons) qui peuvent pénaliser le rendement et/ou la qualité, en attaquant différents organes (**Fig. 11**): les plantules lors de la germination (fonte des semis dus à des *fusarium*), les feuilles (*Septoriose, Oïdium, Rouilles*) et les épis (*Fusarioses*) (**Le Stum et al., 2017**).

Le tableau 05 représente l'agent causal, les symptômes et les moyens de lutte de quelques maladies cryptogamiques affectant le blé tendre.

Tableau 05: Maladies cryptogamiques du blé tendre (Mathieu, 2012).

Maladies	Agent causal	Symptômes	Moyens de lutte
Oïdium (Fig. A)	<i>Erysiphe graminis f.sp.tritici</i>	Apparition des touffes blanches, cotonneuses sur toute la feuille (face supérieure) qui deviennent brunes et grises, ainsi des taches sur les gaines des feuilles et les glumes des épis.	Un choix variétal adapté, la rotation culturale et le fractionnement de l'azote sont les trois facteurs qui limitent fortement le risque.
La rouille brune (Fig. B)	<i>Puccinia reconditaf sp. tritici</i>	Pustules du début d'attaque du brun au brun orangé, dispersées sur la feuille, essentiellement sur la face supérieure. Les attaques graves peuvent atteindre l'épi (barbes, glumes) en fin de cycle.	-La lutte culturale est essentiellement orientée vers le choix de variétés peu sensibles. -La lutte chimique en préventif.
La rouille jaune (Fig. C)	<i>Puccinia striiformis</i>	Sur les feuilles supérieures pustules jaunes parfois orangées, alignées entre les nervures, jusqu'à dessiner des stries. On peut observer les pustules aussi sur les feuilles inférieures, les épis et les grains.	
La rouille noire (Fig. D)	<i>Puccinia graminisf sp. tritici</i>	Apparition des pustules rouge brique à marron foncé, sur les feuilles, les tiges et les épis.	
Fusariose (Fig. E)	<i>Fusarium spp.</i>	Sur les feuilles, apparition de taches avec grande macule vert bouteille au centre. Des stries noires qui s'étendent sous forme de trait de plume en suivant les nervures. La nécrose se généralise ensuite autour de la tige. Sur l'épi, feutrage rosé autour de la glume.	Un choix variétal adapté, la rotation culturale et la lutte chimique en préventif.
Septoriose (Fig. F)	<i>Septoria tritici (ex zymoseptoria tritici)</i>	Taches brunes claires avec des ponctuations noires.	

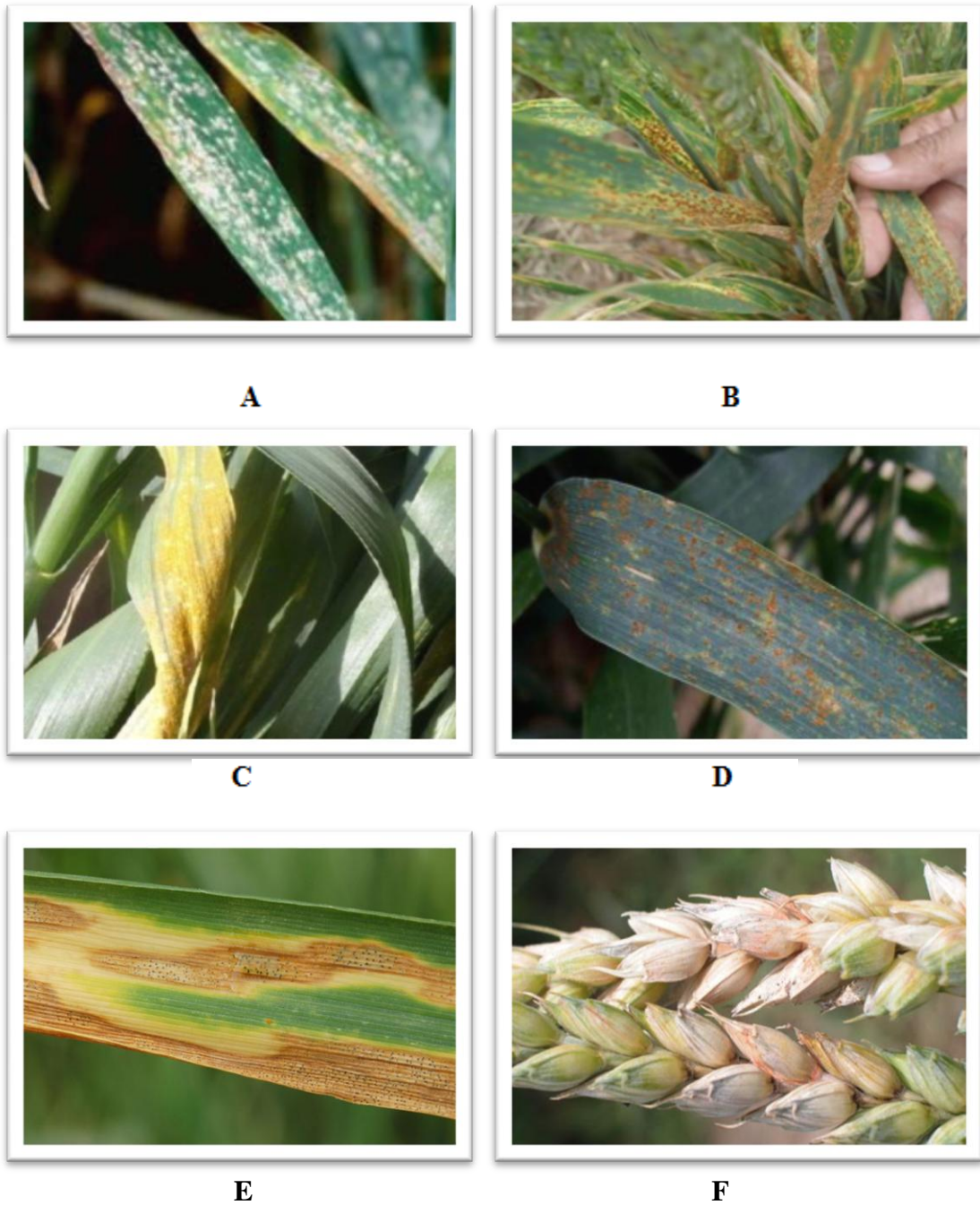


Figure 11: Quelques maladies cryptogamiques chez le blé tendre (**A:** L'Oïdium de blé tendre; **B:** la Rouille noire; **C:** La Rouille jaune; **D:** La Rouille brune; **E:** Septoriose; **F:** Fusariose des épis) [8].

9.2. Les ravageurs

Les ravageurs représentent des caractéristiques très diverses, de taille, de milieu de vie, de besoins biologiques ou encore d'effectif à atteindre pour occasionner des dégâts significatifs aux cultures. Des vertébrés, mollusques, insectes ou nématodes (**Fig. 12**) peuvent ainsi être présents à des stades différents de la culture (**Robin et taupin, 2017**).

Le tableau 06 représente les symptômes et les moyennes de lutte contre les ravageurs du blé tendre.

Tableau 06: les ravageurs du blé tendre (**Mathieu, 2012**).

Ravageurs	Symptômes	Moyens de lutte
Limaces (Fig. A)	A la levée, les germes sont dévorés avant leur sortie de terre. Après la levée, les feuilles sont effilochées et trouées.	-Réaliser un déchaumage juste après la récolte pour éliminer les œufs et les jeunes limaces. -Le labour enfouit les limaces en profondeur plus qu'il ne les détruit. -Broyer les résidus.
Mouche des semis (Fig. B)	Graines en décomposition jaunissement des plantules. On peut retrouver à la base de la plantule, le point de pénétration de la larve.	-Le labour est très efficace. Un travail du sol doit être réalisé plusieurs semaines avant le semis. Il permet d'enfouir les pailles et résidus de récolte et de réduire les populations de mouches jusqu'à 50%.
Taupins (Fig. C)	Un jaunissement des extrémités du feuillage. Parfois, un rougissement du limbe se combine au jaunissement. La gaine de la tige est trouée et lacérée. Les plantes restent chétives et se dessèchent.	-Le travail du sol peut éliminer les individus. -Un déchaumage le plus tôt possible après la récolte sera plus efficace pour abaisser le niveau des populations.
Nématodes	Les plantes chétives et naines, leur tallage est réduit. On observe parfois un rougissement ou jaunissement des plantes en début d'attaque, par la suite elles retrouvent une couleur normale.	-Déchaumage précoce plus désherbage pour éviter l'apport de nourriture aux nématodes. -Nettoyage des outils de travail du sol pour éviter de transmettre les nématodes à d'autres parcelles.



A



B



C

Figure 12: Quelques attaques de ravageurs chez le blé tendre (A : Feuilles lacérées par les limaces; B : Jaunissement des plantules par Mouche des semis; C : Attaque de taupins sur plantules) (Mathieu, 2012).

Chapitre II
le stress
chez les plantes

1. Définitions du stress

Le stress est un mécanisme physiologique qui se manifeste lorsqu'un être vivant fait face à une contrainte ou à un déséquilibre [9]. Il signifie également l'influence de tout facteur qui perturbe la position habituelle de l'organisme. Chez les végétaux, le stress est considéré comme une condition non optimale pour la vie des plantes et un obstacle à l'amélioration du rendement (**Elsaaidi, 2005**).

Selon **Levitt (1980)**, un stress est l'ensemble des perturbations biologiques provoquées par une agression quel conque sur un organisme, c'est un facteur de l'environnement induisant une contrainte potentiellement néfaste sur un organisme vivant. D'un point de vue biologique, le stress est le changement plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante ou de l'animal, et la réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de sa physiologie, laquelle change sensiblement avec l'adaptation à la nouvelle situation à la limite de dégradation menant à une issue fatale (**Leclerc, 1999**).

2. Les stress abiotiques

Un stress abiotique est dû principalement à des facteurs environnementaux comme la sécheresse, les températures extrêmes, excès d'eau et la salinité (**Hopkins, 2003**).

Ces différentes contraintes agissent seules ou en interaction. Ainsi le stress de l'eau, dans son sens le plus large englobe la salinité élevée du sol et la sécheresse, deux problèmes majeurs pour l'agriculture (**Monneveux, 1997**). Ces facteurs abiotiques empêchent la plante d'accomplir son potentiel génétique complet (**Zhu, 2002**).

Les types de stress abiotiques dont les plantes souffrent durant leur cycle de développement sont couramment:

- Température (chaleur, froid et gel).
- Stress hydrique (inondation, sécheresse).
- Salinité.
- Produits chimiques (pesticides, polluants...) (**Hopkins, 2003**).

2.1. Le stress thermique

Chaque plante exige une gamme bien particulière de températures pour effectuer sa croissance et son développement. Chaque plante possède une température optimale de croissance et de développement, qui ne peuvent se dérouler qu'entre des limites supérieures

et inférieures. Lorsque la température avoisine ces limites, la croissance diminue et au-delà, elle s'annule (**Hopkins, 2003**).

Le stress thermique est souvent défini quand les températures sont assez hautes ou basses pendant un temps suffisant pour qu'elles endommagent irréversiblement la fonction ou le développement des plantes. Elles peuvent être endommagées de différentes manières, soit par des températures basses ou élevées de jour ou de nuit, par l'air chaud ou froid. La contrainte thermique est une fonction complexe qui varie selon l'intensité (degré de la température), la durée et les taux d'augmentation ou de diminution de la température (**Oukarroum, 2007**).

2.1.1. Effet du stress thermique sur les plantes

2.1.1.1. Effet des températures élevées

Les dommages directs dus aux hautes températures incluent la dénaturation et l'agrégation de protéines, et la fluidité des lipides membranaires. Les dommages les plus lents de la chaleur incluent l'inactivation des enzymes dans les chloroplastes et les mitochondries, l'inhibition de la synthèse des protéines, la dégradation des protéines et la perte d'intégrité de la membrane (**Howarth, 2005**).

D'autres études ont montré que l'effet des températures élevées sur le rendement se manifeste sous forme de réduction du nombre de grains de blé produit par unité de surface emblavée, du poids individuel du grain et de la durée de la phase de remplissage. La réduction du nombre de grains produit par m² est attribuée à la sensibilité du développement des grains de pollen sous conditions de températures élevées. L'élévation de la température inhibe l'accumulation de l'amidon et des protéines dans le grain de pollen, le rendant incapable de fertiliser (**Dorion et al., 1996**).

De même, Les effets des températures élevées sur la fluidité des membranes ont été démontrés. Ces effets se manifestent par une perturbation dans la distribution latérale des complexes pigment-protéines. Ces modifications interfèrent probablement avec l'efficacité du transport d'électrons et la photophosphorylation. La température limite de la photosynthèse et généralement marquée par un accroissement abrupt de la fluorescence de la chlorophylle, qui est aisément mesurée sur des feuilles intactes, cette augmentation de fluorescence est le reflet d'un endommagement irréversible du mécanisme de transfert d'énergie de PSII. Il s'ensuit qu'une proportion croissante de l'énergie absorbée ne peut être

utilisée dans les réactions photochimiques de PSII et doit être restituée sous forme de lumière (Hopkins, 2003).

2.1.1.2. Effet du froid

Les basses températures entraînent l'inhibition de la photosynthèse et le transport des électrons et aussi diminuent la vitesse des réactions enzymatiques et modifient la conformation des lipides membranaires et d'autres macromolécules ce qui entraîne des conséquences sur la plupart de processus biologiques (Stitt et Hurry, 2002). Chez certaines plantes, le développement de l'appareil reproducteur est particulièrement sensible aux basses températures. Une exposition de plant de riz au froid au moment de l'anthèse (ouverture des fleurs) entraîne la stérilité des fleurs, par ailleurs, il peut y avoir un rôle important dans le développement car il assure la vernalisation et l'allongement des entrenœuds (Hopkins, 2003).

Chez les plantes pérennes en zones tempérées, les effets des basses températures se traduisent par une forte augmentation en sucres solubles et une diminution de la teneur en amidon dans les tissus sont observés en automne et en hiver (Guy *et al.*, 2003).

2.1.1.3. Effet du gel

Lorsque la température chute fortement, des cristaux de glace se forment. Si la vitesse de congélation des cellules est faible, disons moins de $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$, de la glace se formera à l'extérieur des protoplastes, là où l'eau est la plus pure. L'eau du protoplasme migrera hors de la cellule et s'agglomèrera aux cristaux de glace extracellulaires. La glace qui est à l'extérieur des cellules végétales ne les tue pas et les tissus peuvent être réchauffés normalement sans dommages. À des vitesses de congélation intermédiaires (entre 10 et 100 $^{\circ}\text{C}$) les cristaux se forment dans les protoplastes. La formation de glace à l'intérieur des cellules, provoque la rupture des structures cellulaires fines et entraîne inévitablement la mort (Hopkins, 2003).

Les effets indirects des basses températures peuvent se manifester par la disparition progressive des plantes, plusieurs semaines après le dégel. Un autre effet indirect du gel est consécutif aux lésions des gaines foliaires de blé (1 ou 2 cm au-dessus du sol), provoquant l'aplatissement des plantes sur le sol et favorisant leur attaque par les agents pathogènes. En outre, la transformation de l'eau de surface en glace, et l'alternance des périodes de gel et dégel, provoquent des ruptures au niveau du collet (Sutka, 2001).

2.1.2. Mécanismes d'adaptations aux températures extrêmes

2.1.2.1. Au froid

Les adaptations biochimiques et physiologiques des plantes aux basses températures comprennent l'activation post-traductionnelle et l'augmentation de l'expression des enzymes de la voie de synthèse du saccharose, la modification de l'expression des enzymes du cycle de Calvin et les modifications de la teneur en protéines des feuilles (**Stitt et Hurry, 2002**).

D'une façon générale, la tolérance au froid est reliée à l'accumulation de produits divers par les plantes. Ces produits sont souvent des polyols, du glycérol mais aussi des glucides, comme le tréhalose le saccharose. Ces substances abaissent, bien entendu, le point de congélation de l'eau dans la cellule, mais également, se lient aussi aux membranes, empêchant l'eau d'y parvenir et par conséquent d'y former des cristaux (**cité in Haichour, 2009**).

2.1.2.2. Aux températures élevées

La réponse aux chocs thermiques est une réaction causée par l'exposition d'un organisme ou des cellules tissulaires à un stress soudain à haute température, et elle est caractérisée par une expression transitoire des protéines du choc thermique (HSP) (**Iba, 2002**).

Les HSP existent en différentes tailles moléculaires, toutes caractérisées par une liaison à des protéines structurellement instables. En plus de leurs fonctions de repliement des protéines immédiatement après la traduction, et de la transformation des protéines en une structure adaptée au transport membranaire, elles empêchent l'agrégation des protéines dénaturées et favorisent la renaturation des molécules protéiques agrégées (**Iba, 2002**).

Généralement, les températures élevées sont certainement le principal facteur influençant la productivité des plantes et menaçant leur survie dans les régions chaudes. Même si quelques espèces comme les graminées désertiques croissent bien à des températures de l'ordre de 50 °C, peu de plantes vasculaires sont capables de survivre à des températures foliaires excédant 50 °C ou 55 °C. Le maximum de tolérance connu chez les plantes vasculaires s'observe chez les agaves et les cactus, deux familles de plantes succulentes originaires des régions arides et semi-arides. De nombreuses espèces appartenant à ces deux familles sont capables de tolérer des températures de 60 °C ou plus, alors que certaines peuvent survivre à des traitements brefs (1 h) de 70 °C (**Hopkins, 2003**).

2.1.2.3. Au gel

L'acclimatation au gel est déclenchée par de nombreuses modifications métaboliques, des augmentations de la concentration de phosphates organiques et la conversion de l'amidon en glucides simples se produisent. Des glycoprotéines s'accumulent et le protoplasme devient généralement plus résistant à la déshydratation (**Hopkins, 2003**). De même, les plantes peuvent tolérer la formation du gel par le stockage des sucres qui sont considérés comme moyen d'assurer la cryoprotection des tissus de la plante surtout au niveau des feuilles qui sont nécessaires pour le développement de la plante (**Guy, 2003**).

2.2. Le stress hydrique

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

Selon **Laberche (2004)**, le stress hydrique est le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement, sachant que la réserve d'eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible par son système racinaire.

Les stress provoqués par un déficit en eau constituent une menace permanente pour la survie des plantes, néanmoins beaucoup d'entre elles produisent des modifications morphologiques et physiologiques qui leur permettent de survivre dans des régions de faible pluviosité et dont la teneur en eau des sols est peu élevée. L'excès en eau ou l'inondation est considérée comme stress, qui provoque une réduction de l'apport d'oxygène aux racines, de nutriment et d'autres fonctions racinaires cruciales. Le stress provoqué par un déficit hydrique est bien plus fréquent, de sorte que l'expression de stress de déficit hydrique est abrégée en stress hydrique (**Hopkins, 2003**). Selon **Bourgault (2009)**, Un stress hydrique s'installe lorsque les pertes d'eau par transpiration dépassent la quantité absorbée.

2.2.1. Effet du stress hydrique sur les plantes

2.2.1.1. 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, ceci entraîne des conséquences sérieuses sur le plan structurel et sur le plan métabolique. De même, il a été prouvé que le départ de l'eau des membranes rompt la structure normale de la bicouche lipidique ce qui provoque une fuite très importante de solutés entre les compartiments ou dans l'espace extracellulaire. Le stress hydrique provoque également le déplacement des protéines membranaires et contribue à une perte de sélectivité des membranes et de la compartimentation cellulaire ainsi qu'à une perte des enzymes membranaires (**Hopkins, 2003**). D'autre part, la déshydratation est à l'origine d'une diminution du volume cellulaire. La contraction volumique peut entraîner un phénomène de plasmolyse membranaire au niveau des cellules végétales (**Ferrando et Spiess, 2001**).

2.2.1.2. Sur les échanges gazeux et la transpiration

De nombreux facteurs endogènes et environnementaux influencent l'état d'ouverture des stomates (**Zeiger et Helpler, 1977**). 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**) dont le rôle essentiel est le maintien du fonctionnement de la plante en situation de stress (**Jiang et Yu, 2009**).

2.2.1.3. Sur la photosynthèse

La photosynthèse est particulièrement sensible au stress hydrique. Elle peut être affectée de deux manières. D'abord la fermeture des stomates supprime normalement l'accès du chloroplaste à un apport de dioxyde de carbone d'origine atmosphérique. Ensuite, l'apparition dans les cellules de potentiels hydriques faibles intervient directement sur

l'intégrité de la machinerie photosynthétique (**Hopkins, 2003**). L'effet du stress hydrique sur la photosynthèse a été démontré par d'autres auteurs qui ont rapporté une réduction de la surface foliaire, une diminution de la conductance stomatique et de la concentration interne en CO₂ ce qui diminue le taux photosynthétique (**Tradieu et Simoneau, 1998**). L'étude de **Bennaceur et al. (1999)**, sur le blé a révélé une diminution de l'activité photosynthétique cinq fois par rapport au témoin suite à l'exposition à un stress hydrique.

2.2.1.4. Sur la croissance des rameaux et des racines

L'un des premiers effets provoqués par le déficit hydrique est une réduction de la croissance végétative. La croissance des feuilles est généralement plus sensible que celle des racines (**Hopkins, 2003**). Selon **Nabors (2008)**, l'effet exercé par un potentiel hydrique faible est attribué à une perte de turgescence des cellules des zones en croissance. Il a été démontré 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 l'un des premières conséquences d'un apport réduit de l'eau se traduit par la réduction de la croissance (**Hopkins, 2003**).

Le déficit hydrique provoque ainsi une diminution importante dans 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**).

2.2.2. Mécanismes d'adaptation au stress hydrique

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives (**Turner, 1986**) qui peuvent être par l'esquive qui consiste à placer le cycle cultural d'une plante pendant des périodes où la demande climatique est faible et/ou pluvieuses (**Bourgault, 2009**). Ainsi que par l'évitement de la déshydratation qui peut être réalisé en maintenant l'absorption de l'eau ou en réduisant les pertes d'eau (**Wright et Rachaputi, 2004**), ou par la stratégie de tolérance qui consiste à maintenir les fonctions de la plante, croissance, transpiration et la photosynthèse, malgré le déficit hydrique (**Jean-Pierre et al., 2006**). La résistance globale d'une plante face à un 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**).

2. 3. Le stress xénobiotique

Les pollutions chimiques impliquent de nombreuses familles de molécules structurellement et fonctionnellement différentes, dont certaines sont qualifiées de xénobiotiques. Le terme xénobiotique signifie molécules étrangères à un organisme vivant et possédant pour ce dernier des caractéristiques toxiques même à de faibles concentrations (**Ramade, 2007**). La grande diversité de xénobiotiques peut inclure des dérivés de pétrole, des plastifiants, des hydrocarbures aromatiques polycycliques, des résidus médicamenteux (drogues, antibiotiques), des solvants, des pesticides et des herbicides... (**Rhind, 2009**).

2.3.1. Effet du stress xénobiotique sur les plantes

Les herbicides restent la classe de xénobiotiques ayant les plus forts impacts sur les plantes, puisqu'elles constituent leur cible biologique. En fonction de leur structure chimique, les herbicides ciblent différents processus cellulaires, et peuvent in fine concentration perturber la croissance et le développement, en agissant sur le métabolisme des tissus. Ces composés inhibent la division cellulaire et perturbent la photosynthèse par blocage des flux d'électrons. Les xénobiotiques peuvent également modifier les dynamiques cellulaires par des effets sur le cytosquelette, désorganiser les parois et les membranes cellulaires par inhibition de la synthèse des composés structuraux (polysaccharides, phospholipides), et affecter la signalisation cellulaire par interférence avec les phytohormones (**Calvet et al., 2005**).

2.3.2. Mécanismes d'adaptation au stress xénobiotiques

La notion de résistance à un composé phytotoxique correspond à la capacité de certains individus à éviter ou contourner les effets d'inhibition de la cible, par des phénomènes d'adaptation issus de mutations génétiques (**Ramel et al., 2007**).

Plusieurs mécanismes sont impliqués dans la résistance des plantes aux xénobiotiques notamment les herbicides. Certaines sont dues à des mutations spécifiques dans le gène codant les protéines ciblées, ce qui cause une réduction de l'efficacité de l'action de la molécule sur sa cible. Ceci se traduit, au niveau biochimique, par des modifications de structure et de conformation du site de liaison de l'herbicide, qui aboutissent à une forte réduction des interactions protéine-herbicide, rendant ainsi le composé phytosanitaire inefficace. De même, il a été prouvé que des gènes codant des activités du xénome peuvent éliminer l'effet toxique des herbicides par des sur-expressions de gènes de détoxification

(Délye, 2013). D'autres part, l'augmentation des enzymes intervenant dans la protection contre le stress oxydatif causé par l'herbicide est considérée comme un mécanisme de résistance contre les effets nuisibles des xénobiotiques (Cummins *et al.*, 2009).

2. 4. La salinité et stress salin

La salinité est définie comme la présence d'une concentration excessive de sels solubles dans le sol ou dans l'eau d'irrigation (Baiz, 2000). Elle est due essentiellement au chlorure de sodium et affecte le tiers des terres irriguées à l'échelle mondiale et constitue l'un des facteurs abiotiques limitant prépondérant la production végétale dans les zones arides (Hasegawa *et al.*, 1986).

Cette contrainte déclenche à la fois un stress osmotique et un stress ionique (Flowers *et al.*, 2005), ce qui conduit souvent à une baisse importante du potentiel hydrique (Kinet *et al.*, 1998), affectant ainsi le statut physiologique des plantes en changeant le métabolisme, la croissance et le développement (Garg *et al.*, 2002). La concentration en sels dans l'environnement d'une plante varie énormément, elle peut être insuffisante ou excessive. Le stress salin est un excès d'ions en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- (Hopkins, 2003). La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter sans grand dommage pour leur culture, varie avec les familles, les genres et les espèces (Levigneron *et al.*, 1995).

Les sols salés ont pour origine soit la dégradation des roches mères contenant des minéraux nécessaires à la formation des sels solubles (Ird, 2008), soit l'eau d'irrigation contenant des teneurs excessives de sels solubles aboutissant ainsi à la formation d'un sol salin (Hererro, 1992), ou lors des remontées des nappes phréatiques dont les eaux salées peuvent aboutir à la salinité (Aubert, 1975).

2.4.1. Classification des sols salés

Les sols salés sont classés en deux types (Duchaufour, 1988 in Loyer, 1991).

2.4.1.1. Sols salins à complexe calcique (les Solontcheks)

Ces sols sont caractérisés dans la solution du sol et dans le complexe adsorbant par une dominante du calcium et du magnésium sur le sodium et le potassium. C'est le cas de sols calcaires et gypseux dont la composition cationique de la solution du sol est comprise entre

ces limites: $1 < \text{Ca}^+\text{Mg}/\text{Na}^+\text{K} < 4$ et $\text{Ca}/\text{Mg} \geq 1$. La structure de ces sols reste stable même après dessalement. Une légère alcalinisation (augmentation de pH) se manifeste.

2.4.1.2. Sols salins à complexe sodique (les Solonetz)

Dans lesquels le sodium, dominant dans la solution du sol relativement aux alcalino-terreux, se fixe préférentiellement à ceux-ci, sur le complexe échangeable. On a dans la solution du sol: $\text{Ca}^+ \text{Mg}/\text{Na} + \text{K} < 1$. L'alcalinisation est nettement marquée après dessalement et hydrolyse du complexe. La structure tend en suite à se dégrader.

Selon la conductivité électrique de l'extrait du sol saturé, **Maillard (2001)**, a classé les sols salins en différentes classes (**Tableau 07**).

Tableau 07: Classification des sols salés (**Maillard, 2001**).

Classe	Conductivité de l'extrait du sol saturé (ds/m)
Non salins	0 – 2
Légèrement salins	2 – 4
Modérément salins	4 – 8
Fortement salins	8 – 16
Très fortement salins	≤ 16

2.4.2. Effet de la salinité sur les plantes

La salinité est l'un des facteurs limitant pour la croissance des plantes. Ses effets sur les végétaux sont: un arrêt de la croissance, le dépérissement des tissus sous forme de nécroses marginales, suivi par une perte de turgescence, une chute des feuilles et finalement par la mort de la plante (**Zid, 1982**).

2.4.2.1. Sur la germination

Plusieurs auteurs ont rapporté que la salinité affecte considérablement La germination des graines, qu'elles que soient halophytes ou glycophytes. Selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique (**Ismail, 1990**).

Selon **Maillard (2001)**, la salinité inhibe l'absorption de l'eau, la mobilisation des réserves et leur transport vers l'embryon. Cependant, il existe un seuil critique d'hydratation

que l'embryon doit atteindre avant le démarrage des processus germinatifs. De même **Bouda et Haddioui (2011)**, ont révélé que les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchant ainsi la levée de dormance des embryons et conduisant à une diminution de la capacité de germination. Par ailleurs, **Rejili et al. (2006)**, ont signalé qu'une bonne germination des graines et une émergence sous le stress salin est un critère valable pour garantir l'établissement adéquate dans les sols affectés par le sel.

2.4.2.2. Sur la croissance et le développement

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes (**Bouaouina et al., 2000**).

Wang et Nil (2000), signalent que la réponse immédiate du stress salin sur la croissance se manifeste par une réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire et cette expansion s'arrête si la concentration en sel augmente. Le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, des tiges et racines (**Chartzoulakis et Klapaki, 2000**). De même, il a été démontré que la salinité accrue est accompagnée d'une réduction significative dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface foliaire chez la tomate (**Mohamed et al., 1998**). Par ailleurs, les concentrations élevées de NaCl diminuent l'absorption de Ca^{2+} qui est relativement tolérante au sel, l'augmentation de la concentration en Na^+ s'accompagne d'une réduction de la concentration en Mg^{2+} , K^+ , N, P et Ca^{2+} dans la plante (**Levitt, 1980**). Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance en présence de sel lorsque des ions essentiels comme K^+ , Ca^{2+} ou NO_3^- deviennent limitant (**Haouala et al., 2004**).

2.4.2.3. Sur la photosynthèse

D'après **Alem et al. (2002)**, la salinité affecte l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse, qui présente la cause principalement de la réduction de la productivité végétale. Selon **Munns (2008)**, la réduction de la photosynthèse est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, qui est à l'origine de la fermeture des stomates, qui cause la réduction de la conductance stomatique.

La diffusion du CO_2 à l'intérieur des stomates devient alors limitée et sa fixation au niveau des chloroplastes diminue par conséquence la régénération du RuBP (Ribulose Biphosphate) devient limitée (**Rush et al., 1981**).

2.4.3. Les mécanismes d'adaptation face au stress salin

Une plante soumise au stress salin doit faire face à la pénétration de sel dans ses tissus. Ce dernier est rejeté ou accumulé par les différents organes, tissus, cellules et compartiments cellulaires (Levigneron et al., 1995). À l'échelle de la plante entière, les ions chlorure de sodium absorbés par les racines, sont véhiculés par la sève xélymique jusqu'aux tiges et aux feuilles. Là, ils sont soit stockés soit au contraire très peu retenus et revéhiculés par la sève phloémique jusqu'aux racines (Levigneron et al., 1995 ; Dajic, 2006). Plusieurs stratégies ont été développées par les plantes pour tolérer les fortes concentrations salines (Levitt, 1980 et Dajic, 2006).

2.4.3.1. Exclusion

L'une des stratégies permettant aux plantes de tolérer les concentrations excessives de Na^+ est l'exclusion des ions. Pour répondre au stress salin dont le stress ionique causé par Na^+ la plante doit contrôler l'entrée de Na^+ dans la racine ainsi que la translocation de cet ion de la racine aux feuilles. Le site principal de la toxicité de Na^+ pour la plupart des plantes est le limbe de la feuille, où Na^+ s'accumule (Munns, 2002). Les ions Na^+ sont transportés dans le xylème, véhiculés vers les feuilles par le courant de transpiration puis en partie recirculés par le phloème pour être ramenés vers les racines et les réexcrétés vers le milieu extérieur (Gerhard, 1987).

2.4.3.2. Inclusion

Ce mécanisme permet la survie des plantes en dépit de l'influence du stress à l'intérieur de l'organisme. La plante retient le sel qui parvient aux feuilles au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de pompes moléculaires. Les vacuoles sont des compartiments fermés au sein de la cellule, le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (Berthomieu et al., 2003). Grâce à ce processus de compartimentation de sodium au sein de la vacuole, la cellule parvient à maintenir une faible concentration de sodium dans le cytoplasme, minimisant ainsi son effet toxique; et d'autre part, l'augmentation concomitante de la concentration de sodium dans la vacuole va engendrer une forte pression osmotique qui va favoriser l'absorption d'eau et donc améliorer la turgescence des cellules (Glenn et al., 1999).

2.4.3.3. Ajustement osmotique

L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation des plantes face au stress salin, il peut intervenir à tous les stades de développement et son caractère inductible suggère qu'il n'a pas (ou peu) d'incidence sur le rendement potentiel. L'ajustement osmotique joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance de la plante à un stress salin ou hydrique (**Kara et al., 2011**). La plante devra synthétiser des solutés organiques pour ajuster son potentiel hydrique (**Belfakih et al., 2013**), ce qui permet de maintenir la turgescence des feuilles partiellement flétries lorsque l'apport d'eau reprend et de garder leurs stomates ouverts en prélevant du CO₂ pour effectuer leur photosynthèse dans des conditions de stress salin modéré (**Hopkins, 2003**). Les solutés responsables de la régulation osmotique sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés (proline, glycine-bétaine), des sucres solubles et certains constituants inorganiques (**Richards et al., 1997**). La fonction principale des solutés compatibles est d'empêcher la perte d'eau pour maintenir la turgescence cellulaire et à maintenir le gradient de reprise en eau dans la cellule. Ces accumulations de métabolites dans les cellules conduisent à une augmentation du potentiel osmotique et finalement aboutissent à une plus grande capacité d'absorption d'eau par les racines et l'économie d'eau dans les cellules (**Seyed et al., 2012**). Les plantes peuvent synthétiser trois types de solutés compatibles:

➤ La proline

La proline est la molécule organique la plus accumulée chez les organismes lors d'un stress salin (**Nakashima, 1998**). Son accumulation dans l'organisme, liée à l'osmorégulation cytoplasmique, est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez les plantes soumises à stress salin pour limiter ses effets (**Acevedo et al., 1989**).

L'accumulation de la proline chez les halophytes conduit à la diminution de la production des espèces oxygénées réactives (EOR) (**Jithesh et al., 2006**). De même, il a été prouvé que la proline intervient dans la régulation du pH cytoplasmique et constitue une source de carbone et d'azote durant les périodes de stress (**Denden et al., 2005**). Certaines études ont rapporté l'augmentation de la concentration de la proline chez les plantes tolérantes par rapport aux celles sensibles. L'apport exogène de proline permet dans certains cas d'améliorer le comportement des plantes vis-à-vis du stress (**Ashraf et Foolad, 2007**).

L'importance de la proline dans la tolérance à la salinité a été démontrée chez plusieurs lignées d'*Arabidopsis* hébergeant une construction antisens pour la proline déshydrogénase (Nanjo et al., 2003).

➤ **Les sucres solubles**

Les sucres sont des osmolytes fréquemment retrouvés chez les plantes exposées à un stress salin (Ruffino et al., 2010). Une augmentation du contenu en sucres solubles, principalement le saccharose est associée à l'adaptation des halophytes aux conditions salines (Prado et al., 2000). L'accumulation du saccharose et du glucose est observée chez plusieurs espèces soumises à des concentrations élevées de NaCl (Ruffino et al., 2010).

Les sucres pourraient agir en tant qu'osmoticum, protéger des macromolécules spécifiques (enzymes) et contribuer à la stabilité des structures membranaires. De même, il a été démontré que la biosynthèse et l'accumulation de mannitol (dérivé de sucres) chez des lignées de riz transgéniques étaient positivement corrélées avec la tolérance à la salinité (Su et al., 1999).

➤ **La bétaine**

Les bétaines interviennent au niveau de l'ajustement osmotique, de l'osmoprotection et de la protection des enzymes (Gorham, 1992). Dans les chloroplastes, la glycine bétaine joue un rôle important dans l'osmoprotection en stabilisant les macromolécules et en préservant les membranes sous stress (Yancey, 1994). Certaines plantes cultivées accumulent aussi ce composé lorsqu'elles sont soumises à un stress salin, c'est le cas de l'épinard, du tournesol, du blé, de l'avoine et du maïs (Levigneron et al., 1995; Ashraf et Foolad, 2007). Chez ces espèces, les génotypes tolérants accumulent en réponse au stress plus de glycine bétaine que les génotypes sensibles. La relation entre l'accumulation de bétaine et la tolérance au stress salin semblerait être liée à l'espèce, voire même au génotype (Ashraf et Foolad, 2007).

Chapitre III

matériel et méthodes

1. L'objectif de l'essai

Cette étude a pour principal objectif de suivre le comportement de deux variétés de blé tendre cultivées dans des milieux contenant des concentrations croissantes de NaCl (0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM, 200 mM), afin de déterminer le seuil de tolérance des deux variétés vis-à-vis le stress salin aux stades germinatif et plantule et d'identifier celle qui pourrait être cultivée dans des conditions de stress salin.

2. Présentation du site de l'essai

L'essai a été mené au niveau de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université 8 Mai 1945 de Guelma dans des conditions semi contrôlées (au laboratoire de botanique et sous serre en plastique).

3. Matériel végétal

3.1. Semences de blé tendre

L'essai a été porté sur deux variétés de blé tendre (**Hiddab, Arz**) (**Fig. 13**). Les semences utilisées pour évaluer l'impact des différents traitements de NaCl sur la germination et les paramètres de croissance (Hauteur des plantes, longueur de la racine principale, nombre de feuilles, surface foliaire) des deux variétés étudiées ont été fournies par Office Algérien Interprofessionnel des Céréales (O.A.I.C) de Guelma.

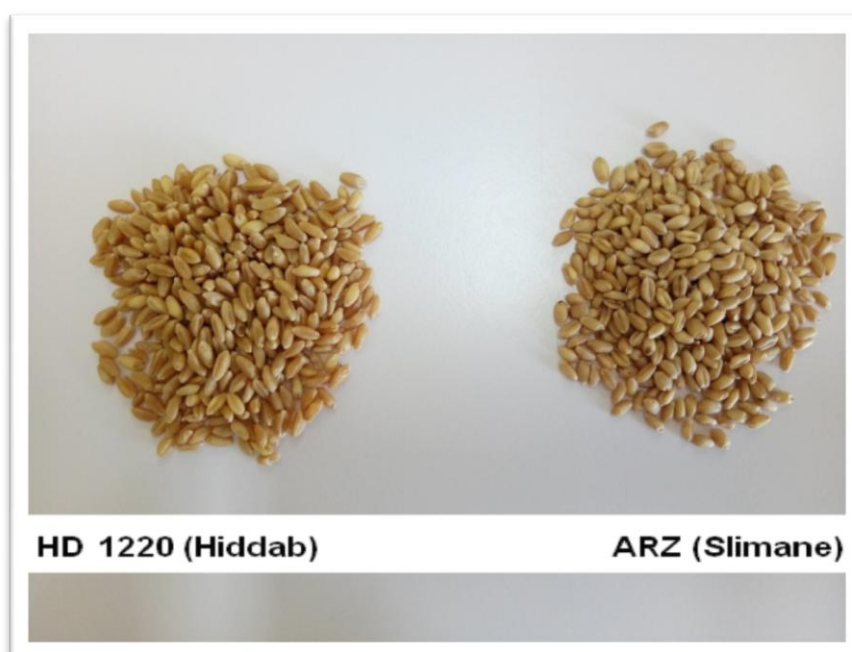


Figure 13: Photo représente les graines des deux variétés testées (photo personnelle).

3.2. Origine et caractéristiques des variétés

L'origine, le type variétal et les caractéristiques de chaque variété sont regroupés dans le tableau 08.

Tableau 08: Caractéristiques du matériel végétal utilisé (Boufenar-Zaghouane et Zaghouane, 2006).

Variétés	Origine	Type variétal	Caractéristiques
Hiddab (V1)	Mexique	Lignée pure	<p>Caractéristiques morphologiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Compacité de l'épi: très lâche. -Couleur de l'épi: blanc. -Hauteur de la plante à maturité: 90 à 110 cm. <p>Caractéristiques culturales :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Alternativité: hiver. -Cycle végétatif: semi-précoce à précoce. -Tallage: moyen à fort. -Résistante au froid et à la verse. -Tolérante à la sécheresse.
Arz (V2)	Mexique	Lignée pure	<p>Caractéristiques morphologiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Compacité de l'épi: lâche. -Couleur de l'épi: fortement coloré. -Hauteur de la plante à maturité: 95 à 100 cm. <p>Caractéristiques culturales :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Alternativité: hiver. -Cycle végétatif: semi-précoce. -Tallage: fort. -Résistante au froid, à la verse et à la sécheresse.

4. Solutions salées de NaCl

Les graines de blé tendre ont été exposées à un stress salin et ceci en utilisant des doses croissantes de NaCl (C0: 0 mM, C1: 50 mM, C2: 100 mM, C3: 150 mM et C4: 200 mM de NaCl). La gamme de concentrations utilisée a été choisie en se référant aux données bibliographiques notamment les travaux de **Benderradji et al., (2010)** sur le blé tendre (*Triticum aestivum L.*) et ceux de **Achour et al., (2015)** sur le Gombo (*Abelmoschus esculentus L.*).

5. Installation et conduite de l'essai

5.1. Essai de germination

Les graines des deux variétés de blé tendre ont été d'abord désinfectées à l'eau de javel (3 %), suivie d'un rinçage trois fois à l'eau distillée pour éliminer toute trace de chlore. Elles sont ensuite mises à germer dans des boîtes de pétri contenant du coton et recouvertes du papier filtre (**Ouhaddach et al., 2014**), à raison de 10 grains par boîte (**Fig. 14**). Chaque variété est représentée par 15 échantillons (trois répétitions / traitement / variété) (**Tableau 09**). L'essai a été conduit sous une température ambiante du laboratoire. La germination des semences a été examinée chaque jour pendant une semaine. Le pourcentage de germination des graines a été déterminé comme étant le rapport entre le nombre des graines germées et la totalité de graines ensemencées initialement selon un critère morphologique qui est la longueur de la radicule dont il est égal ou supérieur à 2 mm (**Benderradji et al., 2010**).



Figure 14: Essai de germination des graines des deux variétés de blé tendre dans les boites de pétri (**photo personnelle**).

Tableau 09: Description du dispositif expérimental de l’essai de germination dans les boites de pétri.

C0 V1 R1	C1V1R1	C2V1R3	C3V1R3	C4V2R3
C0V2R3	C1V2R1	C2V2R1	C3V1R2	C4V1R3
C0V1R3	C1V1R2	C2V2R2	C3V2R1	C4V2R1
C0V2R1	C1V2R3	C2V1R1	C3V1R1	C4V1R1
C0V1R2	C1V2R2	C2V2R3	C3V2R2	C4V2R2
C0V2R2	C1V1R3	C2V1R2	C3V2R3	C4V1R2

C: Concentration

V: Variété

R: Répétition

5.2. Essai de croissance

Dans le but de déterminer les effets de NaCl à doses croissantes sur la croissance, un deuxième essai a été réalisé dans des pots de taille moyenne de 20 cm de hauteur et 10 cm de diamètre, chacun est rempli de la tourbe, substrat commercial dont les caractéristiques sont indiquées ci-dessous. Le semis est pratiqué à raison de 10 grains par pot et pour chaque concentration. Chaque variété est représentée par 15 échantillons (5 concentrations salines en trois répétitions / variété) (**Tableau 10**). L'expérience a été conduite sous serre en plastique dans des conditions semi contrôlées, au niveau de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers (**Fig. 15**).

Les pots témoins sont irrigués seulement à l'eau distillée pendant la période d'application du stress par contre les pots stressés sont irrigués par les différentes solutions salines (50 mM; 100 mM; 150 mM et 200 mM). L'effet du stress est évalué à travers différentes mesures des paramètres étudiés.



Figure 15: Essai de croissance dans les pots et sous serre

(Photo personnelle).

Tableau 10: Description du dispositif expérimental de l'essai de croissance dans les pots et sous serre.

C0	C1	C2	C3	C4
C0 V2 R2	C1 V1 R2	C2 V2 R1	C3 V1 R2	C4 V1 R1
C0 V1 R1	C1 V2 R3	C2V2 R3	C3 V2 R1	C4 V2 R3
C0 V2 R3	C1 V2 R1	C2 V1 R3	C3 V2 R2	C4 V1 R2
C0 V1 R2	C1 V1 R3	C2 V1 R2	C3 V1 R1	C4 V2 R1
C0V2 R1	C1 V1 R1	C2 V2 R2	C3 V1 R3	C4 V2 R2
C0 V1 R3	C1V2 R2	C2 V1 R1	C3 V2 R3	C4V1 R3

C: Concentration

V: Variété

R: Répétition

6. Caractéristiques du substrat

Le substrat de base (tourbe de sphaigne) est caractérisé par:

- ❖ Un taux de matière sèche exprimée en pourcentage en masse de produit brute: 35%.
- ❖ Un taux de matière organique exprimée en pourcentage en masse de produit brute: 35%.
- ❖ pH (H₂O): 5.8-6.8.
- ❖ Résistivité: 25000 Ohm /cm.
- ❖ Rétention en eau: 80 vol %.

7. L'irrigation

L'irrigation est effectuée pendant les deux stades, germination et croissance de manière à maintenir le substrat de la culture à la capacité au champ (une fine couche de coton recouverte avec du papier filtre pour les boîtes de pétri et de la tourbe pour les traitements en pots). Le stress est appliqué par l'ajout de solutions salines (50 mM, 100 mM, 150 mM et 200 mM) aux échantillons traités; alors que les échantillons témoins sont arrosés uniquement à l'eau distillée non additionnée de NaCl. L'irrigation a été régulièrement une fois par jour pendant toute la période d'application du stress.

8. Paramètres étudiés

8.1. Paramètres relatifs à la germination des graines (Essai en boîtes de pétri)

Trois Paramètres ont été estimés (après 7 jours de l'application du stress):

- Le taux de germination des graines (%).
- Longueur de la racicule (cm).
- Longueur de la tigelle (cm).

8.2. Paramètres relatifs à la croissance et le développement

8.2.1. La surface foliaire SF

La surface moyenne de la feuille la plus développée (avant dernière feuille: la plus jeune adulte feuille), est déterminée à partir d'un échantillon de dix plantules par traitement, par la formule suivante:

$$SF (cm^2) = L \times I \times 0,709$$

L: la longueur moyenne des limbes des 10 feuilles.

I: la largeur moyenne des limbes des 10 feuilles.

0.709 représente le coefficient de correction, étant donné que la feuille a une forme triangulaire (Mefti et al., 2008).

8.2.2. Nombre de feuilles

Le nombre de feuilles a été comptabilisé sur un sous-échantillon de 3 plantes par répétition et par traitement.

8.2.3. Longueur de la racine principale

La longueur de la racine la plus développée a été mesurée pour chaque traitement à l'aide d'une règle graduée, 21 jours après le début de l'irrigation à l'eau salée et est exprimée en cm.

8.2.4. Hauteur des plantes

La hauteur des plantes (exprimée en cm) a été déterminée à l'aide d'une règle graduée, 3 semaines après le début de l'application du stress. La mesure a été effectuée depuis le collet jusqu'au l'extrémité de la partie aérienne.

9. Traitement statistique des résultats

Afin de déterminer la significativité des traitements appliqués sur les différents paramètres étudiés, nous avons procédé à une analyse statistique de la variance et à la comparaison des moyennes pour déduire la différence entre le témoin et les différentes concentrations en utilisant le logiciel Minitab 2018.

Chapitre IV

résultats et discussion

1. Essai de germination dans les boîtes de pétri

1.1. Pourcentage de germination des graines

La figure (16) Présente l'évolution du taux de germination des graines des deux variétés Hiddab et Arz de blé tendre en fonction des différentes concentrations de NaCl. L'analyse de celle-ci montre que la salinité a affectée la germination des graines des deux variétés testées. En effet, le taux de germination est diminué en augmentant les concentrations de NaCl dans le milieu. Nous observons aussi pour un même traitement, les pourcentages de germination des deux variétés sont variables. En absence de sel (0 mM NaCl), le taux de germination a enregistré les valeurs les plus élevées de l'ordre de 93,33 % et 83,33 % chez les deux variétés Hiddab et Arz respectivement comparativement aux différents traitements avec le NaCl. Lorsque le stress est modéré (50 mM), le taux de germination n'est pas significativement différent par rapport au témoin, mais lorsque le stress s'accroît (150 mM), les deux variétés montrent une diminution considérable (63,33 % pour Hiddab et 50 % pour Arz) du taux de germination comparativement aux témoins non traités (93,33 % pour Hiddab et 83,33 % pour Arz), et la variété Arz se montre la plus affectée par les fortes concentrations en sels.

Notant que la concentration 200 mM la germination a été complètement inhibée chez les deux variétés en comparaison avec les témoins non traités.

Plusieurs travaux ont montré que l'augmentation de la salinité dans le milieu de culture a un effet négatif sur le taux de germination des graines de différentes espèces végétales **Ramoliya et Pandey (2003)**, signalent que la variation des niveaux de sel peuvent restreindre la germination des graines et dans certains cas, entraîner la mort des graines. De même, **Askri et al. (2007)**, ont révélé que l'augmentation de la concentration en sels retarde la germination et réduit le pourcentage final de germination. Cette diminution est due selon **Othman et al. (2006)**, à la réduction de l'utilisation des réserves des grains. Par ailleurs, **Shokohifard et al. (1989)**, ont rapporté que le stress salin affectait négativement la germination des graines; soit osmotiquement par une absorption d'eau réduite, soit ioniquement par l'accumulation de Na et Cl provoquant un déséquilibre dans l'absorption des nutriments et une toxicité ionique.

La sensibilité au sel des graines pendant la germination peut s'expliquer par l'augmentation du taux des acides organiques tels que le citrate, le succinate et le malate. Cette accumulation des acides est accompagnée d'une chute de pH du cytosol, ce qui pourrait

affecter les activités enzymatiques lors de la germination (**Bourgeois-Chaillou et Guerrier, 1992**).

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p < 0,05$) (Annexe 01,02), et un effet variété et interaction non significatif ($p > 0,05$) (Annexe 03).

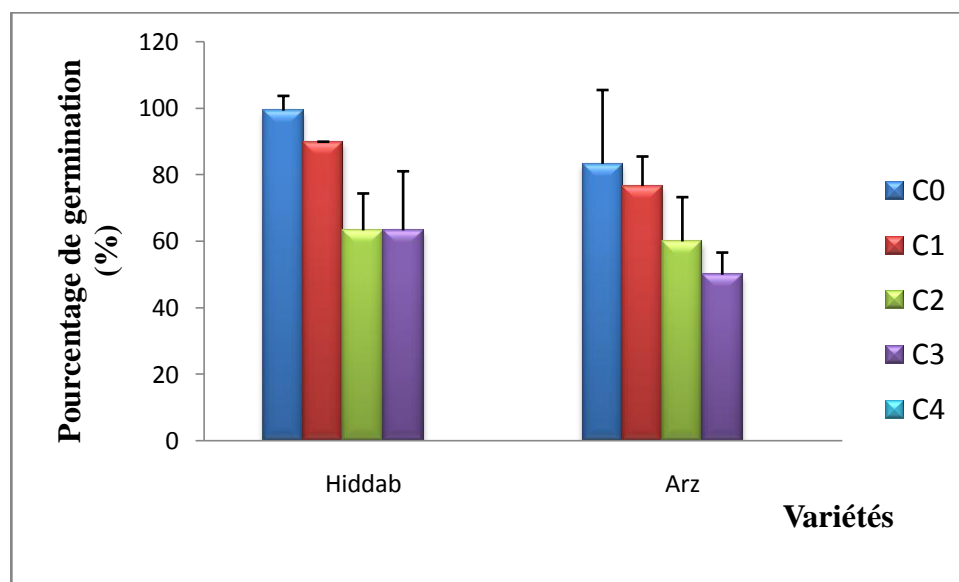


Figure 16: Pourcentage de germination (%) des deux variétés de blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

1.2. Longueur de la racicule

Les résultats de l'analyse du système racinaire sous différentes concentrations salines sont illustrés dans la figure (17). Ces résultats montrent que la longueur de la racicule est très affectée par le stress salin et ce pour les deux variétés étudiées. Une diminution de la longueur de la racicule est observée à partir de la concentration 50 mM et devient plus importante aux fortes doses notamment aux concentrations 100 et 150 mM. Les valeurs moyennes enregistrées à la concentration 150 mM sont de l'ordre de 0,98 cm et 0,93 cm chez les deux variétés respectivement contre 7,19 cm et 8,24 cm chez les traitements non additionnés du sel.

De nombreuses études ont signalé l'effet néfaste du stress salin sur la croissance des racicules dont celle d'**Okçu et al. (2005)**, sur le petit pois. Ces auteurs ont enregistré un effet hautement significatif du sel sur la croissance des racicules surtout avec l'intensification du stress. La diminution de la croissance racinaire sous l'effet du sel peut s'expliquer selon

Al Sherif (2009), d'une part, par le temps nécessaire à la graine pour ajuster sa pression osmotique interne et d'autre part, par la diminution progressive de la conductivité de l'eau dans le substrat, altérant l'activité des enzymes alpha et la bêta-amylase responsables de l'hydrolyse de l'amidon et de la libération d'ATP utilisé pour la percée de la radicule.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0,000$) (Annexe 04,05), et un effet variété et interaction non significatif ($p>0,05$) (Annexe 06).

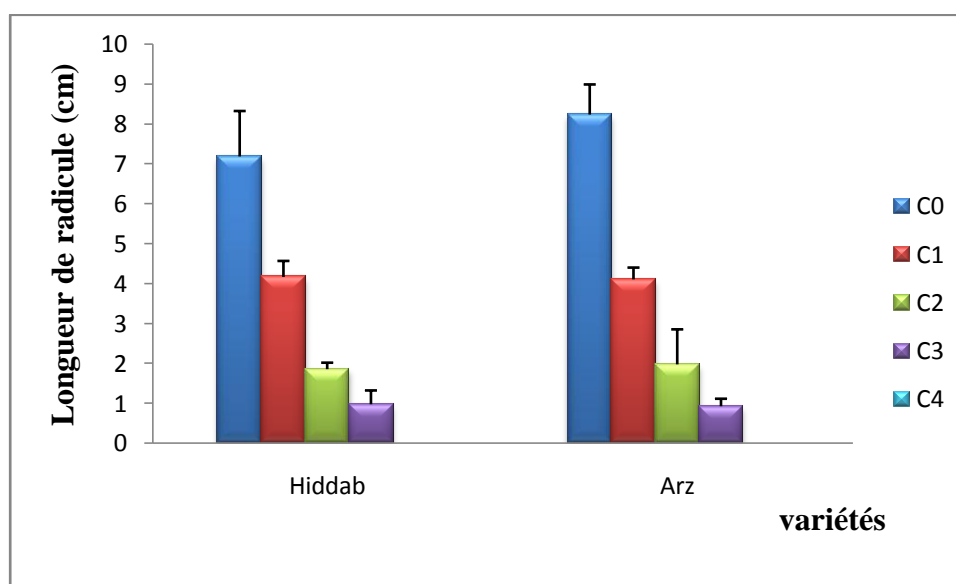


Figure 17: Longueur de la radicule (cm) des deux variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations du NaCl (mM).

1.3. Longueur de la tigelle

L'effet du traitement salin sur la longueur de la tigelle est rapporté à la figure (18). Nos résultats montrent que plus la concentration en NaCl augmente, plus la longueur de la tigelle diminue chez les deux variétés étudiées. Le taux de réduction de la longueur de la tigelle est plus important pour un stress plus sévère (150 mM) par rapport aux témoins avec les moyennes de 0,36 cm et 0,29 cm chez les deux variétés à 150 mM respectivement contre 8,58 cm et 7,55 cm pour les témoins et la variété Arz se montre la plus affectée en comparaison avec Hiddab.

Nos résultats qui ont constaté, que la croissance de la tigelle diminue avec l'augmentation de l'intensité du stress, sont en accord avec ceux d'Okçu et al. (2005), sur le petit pois. De même Benidire et al. (2014), ont avéré que la salinité exerce un effet inhibiteur sur la croissance des plantules de *V. faba* qui se traduit par une diminution de la longueur de

la tige en fonction de l'augmentation de la salinité dans le milieu. D'autres auteurs, ont rapporté que l'effet de la salinité sur la croissance de la tige et de la racine varie en fonction de la variété, la concentration de NaCl dans le milieu et la durée du traitement. Donc la salinité provoque une inhibition de l'activité et de l'expression des protéases qui semblent être nécessaires pour la germination (Lachhab *et al.*, 2013).

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0,000$) (Annexe 07,08), et un effet variété et interaction non significatif ($p>0,05$) (Annexe 09).

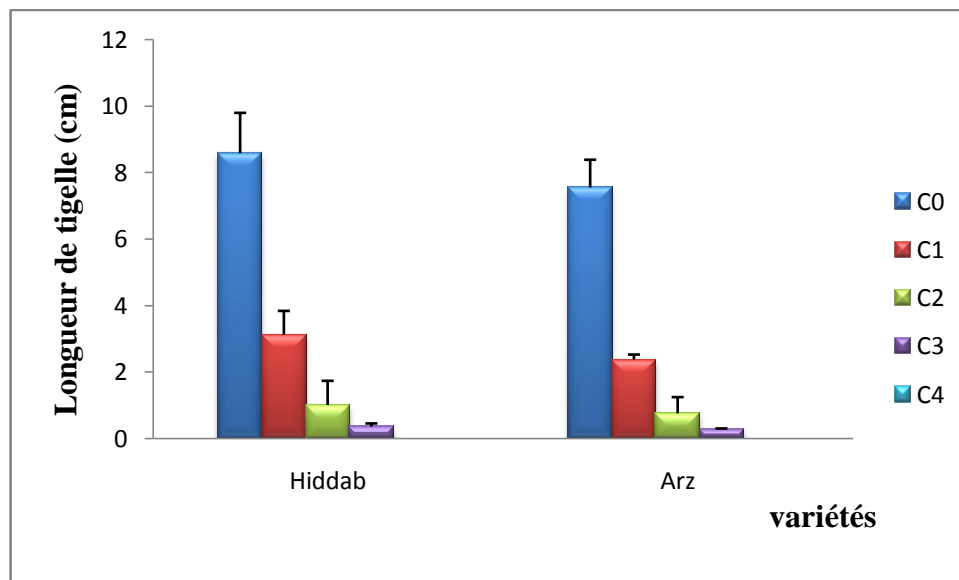


Figure 18: Longueur de la tigelle (cm) des deux variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2. Essai de croissance et de développement des plantules dans les pots

2.1. La surface foliaire

Les mesures de la surface foliaire présentent des variations notables qui sont illustrées dans la figure (19).

L'augmentation de la concentration en NaCl dans la solution d'arrosage provoque une réduction de la surface foliaire chez les deux variétés du blé tendre. Les résultats obtenus pour ce paramètre montrent une différence remarquable entre les deux variétés. En effet, les réductions sont plus drastiques pour Hiddab que pour Arz surtout aux fortes concentrations (200 mM NaCl). Les valeurs moyennes enregistrées à la concentration 200 mM sont: 2,78 cm² obtenu pour Hiddab et 2,43 cm² pour Arz, contrairement aux valeurs enregistrées en absence du stress salin (7,7 et 7,6 cm² consécutives).

Ces résultats corroborent avec ceux de **Cheikh M'Hamed et al. (2008)**, qui mentionnent que les effets de la salinité se manifestent principalement par une diminution de la croissance de l'appareil végétatif, particulièrement par une baisse des parties aériennes et racinaires. De même **Mekliche et al. (2003)**, rapportent que la réduction de la surface foliaire en conditions de stress salin tend à minimiser les pertes en eau en réduisant la transpiration mais peut aussi diminuer le rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique. D'autre part **Laribi et al. (2016)**, ont avéré que la réduction de la surface foliaire chez les plantes exposées à un stress salin est une stratégie développée par le blé dur et le blé tendre pour atténuer les effets de la limitation de la disponibilité de l'eau en conditions salin.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p < 0,05$) (Annexe 10,11), et un effet variété et interaction non significatif ($p > 0,05$) (Annexe 12).

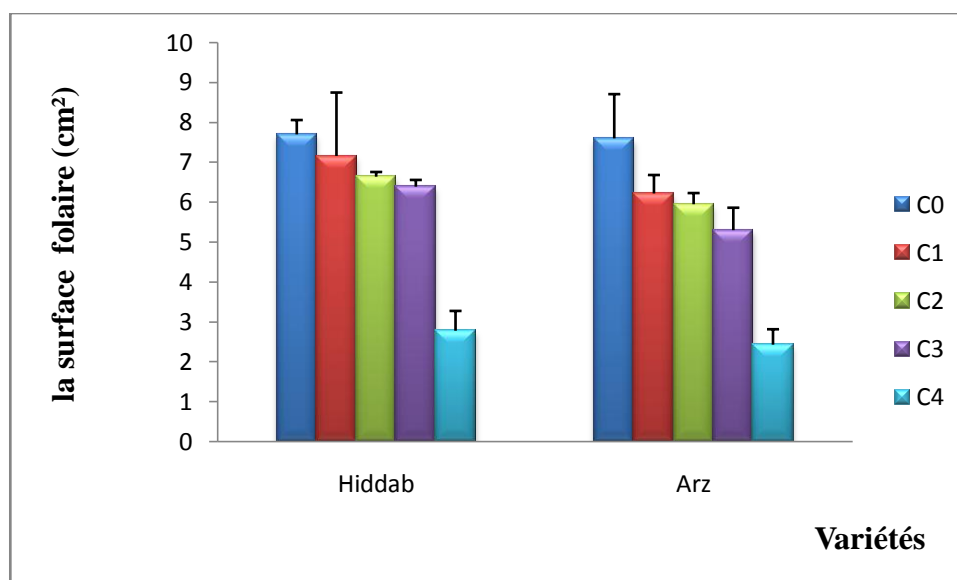


Figure 19: La surface foliaire (cm²) des deux variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2.2. Nombre de Feuilles

La figure (20) montre qu'une réduction du nombre de feuilles a été notée chez les plantes traitées par les différentes concentrations de NaCl comparativement aux témoins non traités. Les valeurs enregistrées à la plus forte concentration (200 mM) sont de l'ordre de deux feuilles pour les deux variétés Hiddab et Arz comparativement aux témoins (six feuilles pour Hiddab et cinq feuilles pour Arz).

Nos résultats correspondent avec ceux trouvés par **Benkhaled et al. (2007)**, sur le blé dur et **Ouhaddach et al. (2015)**, sur le blé tendre qui ont signalé que la réduction du nombre de feuilles par plante est liée au stress salin.

Selon **Khalil et al., (2017)** la croissance foliaire est également très affectée par l'augmentation du stress salin quelle que soit l'espèce. L'expansion des feuilles est considérablement inhibée par le sel, les nouvelles feuilles se développent lentement et le vieillissement des feuilles âgées s'accélère.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p < 0,05$) (Annexe 13,14), et un effet variété et interaction non significatif ($p > 0,05$) (Annexe 15).

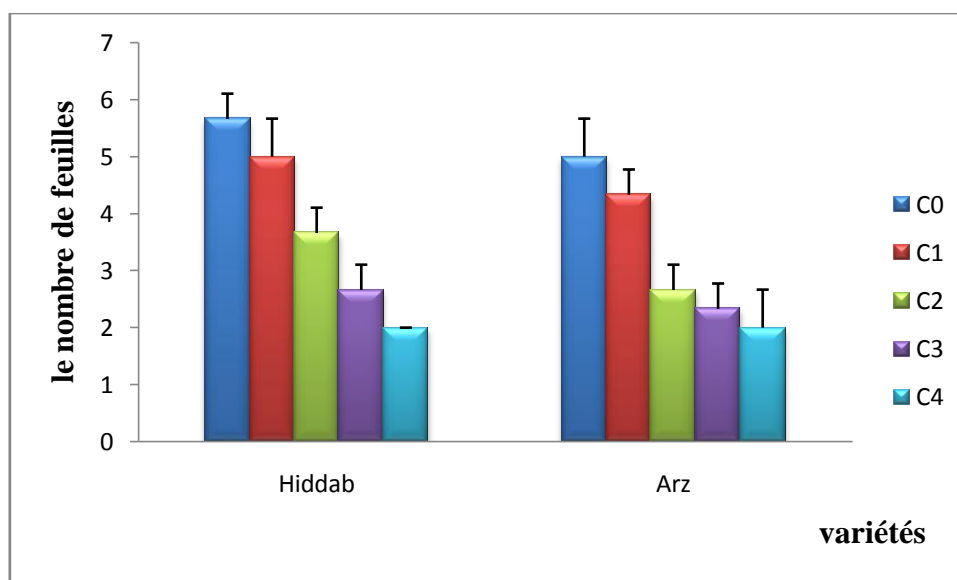


Figure 20: Le nombre de feuilles des deux variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2.3. La longueur de la racine principale

Les résultats représentés par la figure ci-dessous (**Fig. 21**) montrent que la longueur des racines est également affectée par le stress salin. On observe une diminution du système racinaire des plantes stressées par rapport aux témoins. L'effet dépressif de NaCl est plus observé chez les deux variétés Hiddab et Arz à la concentration 200 mM d'où nous avons noté les moyennes de 14,4 cm et 11,8 cm respectivement contre 18,3 cm et 14,3 cm chez les témoins, ce qui est en accord avec les résultats obtenus par **Benidire et al., (2014)**, sur les mécanismes de tolérances chez deux variétés de blé tendre soumises à stress salin, qui ont montré que la longueur des racines a été réduite de façon significative à 200 mM de NaCl. Cette réduction est due selon les mêmes auteurs à la modification de la structure anatomique de la racine qui conduit à une diminution du nombre des cellules par faisceau du xylème et du nombre d'assises du parenchyme cortical. D'autres auteurs ont rapporté que le stress salin induit une augmentation de la pression osmotique, ce qui empêche l'absorption de l'eau par le système racinaire et par conséquent une diminution de la croissance des racines (**Munns et Tester, 2008**).

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration non significatif ($p > 0,05$) (Annexe 16,17), et un effet variété et interaction significatif ($p = 0,000$) (Annexe 18).

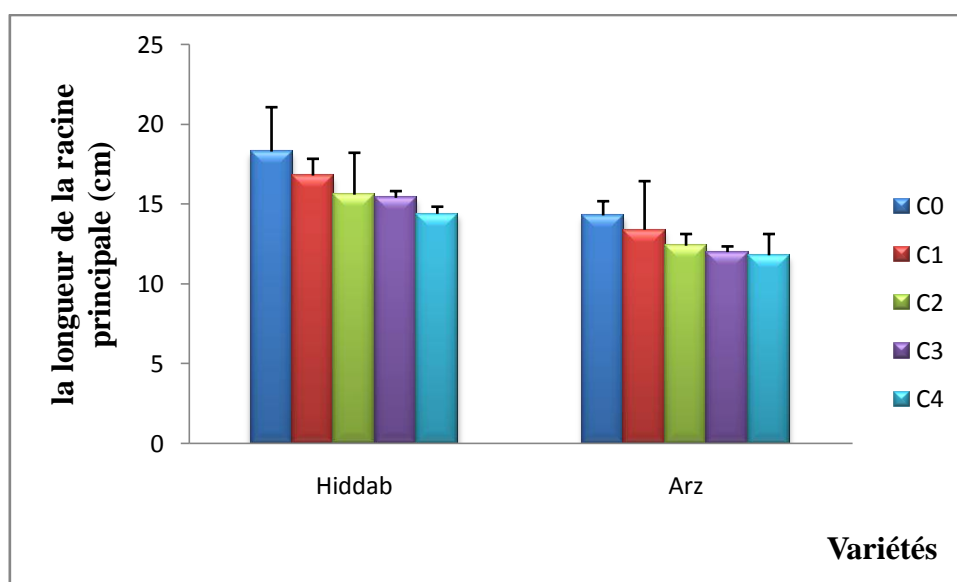


Figure 21: Longueur de la racine principale (cm) des deux variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2.4. Hauteur des plantes

Sur le plan élongation de la partie aérienne, nos résultats (**Fig. 22**) montrent que le stress salin appliqué sur les deux variétés de blé tendre (Arz et Hiddab) a un effet négatif sur la hauteur des plantes des deux variétés testées. On remarque que Les valeurs enregistrées pour ce paramètre sont plus faibles chez ARZ que chez Hiddab. La diminution de la hauteur des plantes est plus importante au fur et à mesure que la dose de NaCl augmente et devient maximale à la concentration 200 mM avec des valeurs moyennes enregistrées sont de l'ordre de 17,8 cm et 17 cm respectivement contre 31,4 cm et 28,4 cm pour les traitements non additionnés de sel. Des résultats similaires ont été obtenus **Ouhaddach et al. (2015)**, sur deux variétés de blé tendre (Achtar et Salama). Ces auteurs ont signalé un effet significatif sur ce paramètre surtout dans le cas de fortes concentrations salines. Selon **Belkhodja (1993)**, la diminution de la croissance de l'appareil végétatif observée chez les plantes de blé arrosées par solutions salines peut être s'expliquée par le fait que le NaCl agit par augmentation de la pression osmotique du milieu, ce qui empêche l'absorption de l'eau par le système racinaire. En outre, l'étude de **Chartzoulakis et Klapaki (2000)**, sur le poivron a montré que l'augmentation de la teneur en NaCl dans les solutions d'arrosage provoque une réduction de la hauteur de la plante, de la surface foliaire et de poids sec des variétés étudiées.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p=0,000$) (Annexe 19,20), et un effet variété et interaction non significatif ($p>0,05$) (Annexe 21).

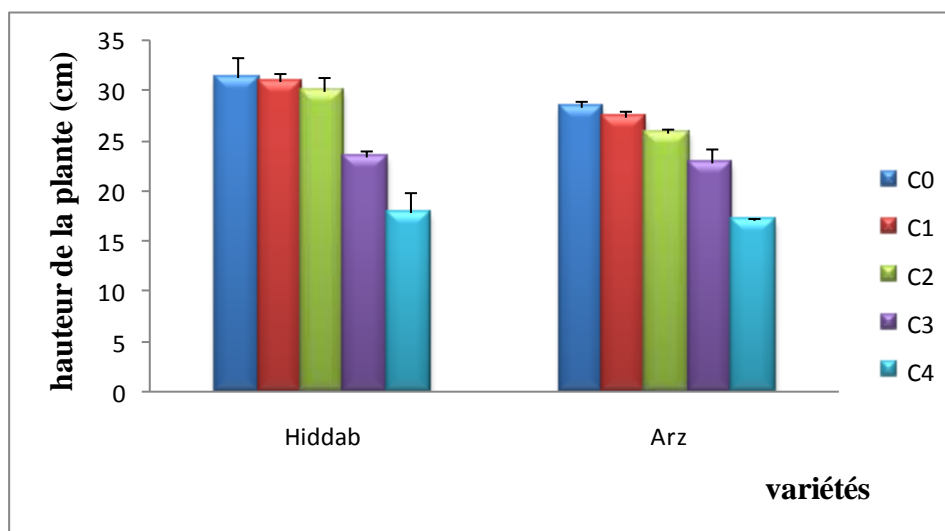


Figure 22: La hauteur de la plante (cm) des deux variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Conclusion générale

Conclusion

Le stress salin affecte le développement et le bon fonctionnement des plantes. Par ailleurs, et pour bien se développer, la plante doit disposer des mécanismes d'adaptation qui lui permettent de supporter la salinité.

Notre travail consiste à étudier le comportement de deux variétés de blé tendre (HD, Arz), vis-à-vis du stress salin à différentes concentrations de NaCl à savoir : 50 mM, 100 mM, 150 mM, 200 mM, à fin de sélectionner la variété la plus tolérante aux concentrations excessives de NaCl. Les variétés choisies (HD, Arz) font partie des céréales les plus cultivées en Algérie grâce à leurs importances économiques et nutritionnelles.

Nos résultats ont montré que le sel a un effet dépressif sur la germination des graines et la croissance des plantules de blé tendre des deux variétés testées. Cependant, cet effet varie en fonction de l'intensité du stress et de la variété en question. D'une façon générale, le sel a exercé un effet négatif sur tous les paramètres germinatifs (faculté germinative, longueur de la radicule et la longueur de la tigelle) et la variété (HD) semble la moins affectée par rapport à l'autre variété (Arz). Concernant l'essai de croissance, les résultats obtenus indiquent que l'application du stress salin à doses croissantes affecte négativement la croissance des plantules à travers les paramètres mesurés (la hauteur des plantes, la surface foliaire, le nombre de feuilles et la longueur de la racine principale), d'où nous avons enregistré une réduction de la croissance en fonction de l'intensité du stress et ce pour les deux variétés étudiées.

L'analyse et l'interprétation des résultats des réponses variétales vis-à-vis le stress salin nous a permis de conclure que les deux variétés de blé tendre faisant l'objet de cette étude ont montré une sensibilité vis-à-vis les concentrations croissantes du NaCl. Cependant, la variété Arz a montré une sensibilité extrême au sel que la variété HD, pour laquelle la longueur de radicule, la longueur de la tigelle, la surface foliaire et la hauteur de plante sont diminuées considérablement avec l'intensité du stress. D'autre part, la variété HD possède des valeurs relativement élevées pour tous les paramètres mesurés, ce qui indique que cette variété semblait être la plus adaptée aux milieux salins par comparaison à la variété Arz.

Les résultats dégagés de cette étude préliminaire demeurent incomplètes nécessitant plus d'approfondissements. Pour ce faire, il semble nécessaire de vérifier les résultats obtenus par d'autres études complémentaires en se basant sur d'autres paramètres biochimiques et

physiologiques et ceux de production pour bien cerner l'effet de la salinité sur le rendement final.

Résumés

Le résumé

Le blé est une céréale importante en terme de consommation humaine dans de nombreux pays du monde. Il est cultivé principalement dans les pays du bassin Méditerranéen à climat arides et semi-arides. Dans ces zones, la salinité des sols et des eaux d'irrigation est l'un des facteurs limitant de la productivité végétale et du rendement agricole. Dans ce contexte et pour mettre en évidence l'effet du sel sur la germination et les paramètres des croissance chez le blé tendre, cette étude a portée sur deux variétés de blé tendre (Hiddab et Arz) soumises à des conditions de stress salin. La contrainte saline a été induite par l'application de différentes concentrations de NaCl (0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM, 200 mM). Plusieurs paramètres de germination des graines et de développement des plantules ont été estimés (taux de germination, longueur de la tigelle et de la radicule, hauteur des plantes, longueur de la racine principale, surface foliaire, nombre des feuilles). Les résultats ont montré que le sel a un effet dépressif sur tous les paramètres mesurés et ce pour les deux variétés étudiées. Cependant, cet effet varie en fonction de la variété et de l'intensité du stress. En effet, la variété Hiddab se montre la plus tolérante par rapport à l'autre variété, ce qui nous indique que cette variété peut être est la plus adaptée aux environnements salin.

Mots clé: *Triticum aestivum L.*, germination, croissance, stress salin, NaCl.

Abstract

Wheat is a cereal grain which is a worldwide staple food. It is mainly grown in the countries of the Mediterranean basin with arid and semi-arid climates. In these areas, soil and irrigation water salinity is one of the factors limiting plant productivity and agricultural yield. The present study was conducted to highlight the effect of salt on germination and growth parameters in soft wheat. Two varieties of this cereal (Hiddab and Arz) were subjected to saline stress conditions. The salt stress was induced by the application of different concentrations of NaCl (0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM, 200 mM). Several parameters of seed germination and seedling development have been estimated (germination rate, length of stem and radicle, plant height, length of main root, leaf surface, number of leaves). The results showed that salt has a depressive effect on all the studied parameters for the two chosen varieties. However, this effect varies depending on the variety and intensity of stress. Indeed, the Hiddab wheat is more tolerant than the second variety, suggesting that the Hiddab variety may be the most suitable for saline environments.

Keywords: *Triticum aestivum L.*, germination, growth, saline stress, NaCl.

المخلص

يعتبر القمح من الحبوبيات الأكثر استهلاكاً في الكثير من دول العالم، ويزرع بشكل خاص في دول حوض المتوسط، والتي تتميز بمناخ جاف إلى نصف جاف، حيث تأثر ملوحة التربة وماء السقي في هذه المناطق بشكل كبير على الإنتاج الفلاحي. تمت هذه الدراسة لأجل التعرف على تأثير الملوحة على الإنبات والنمو لصنفين من القمح اللين (Hiddab, ARZ)، عوملت بتراكيز متزايدة من كلوريد الصوديوم : 0 mM ، 50 mM ، 100 mM ، 150 mM ، 200 mM وقد تم قياس العديد من المعايير: نسبة الإنبات طول، السويقة، طول الجذير، طول النباتات، وطول الجذر الرئيسي، مساحة الورقة، و عدد الأوراق. و قد بينت النتائج المتحصل عليها تأثير سلبي للملوحة على جميع المعايير المدروسة لكلا الصنفين، حيث أن الاستجابة للإجهاد الملحي تختلف من صنف لآخر و يزداد تأثير الملوحة مع زيادة التركيز في الوسط كما بينت النتائج أن الصنف Hiddab يبدو الأكثر تحملاً للملوحة بالمقارنة مع الصنف Arz.

الكلمات المفتاحية : *Triticum aestivum L.* ، الإنبات، النمو، إجهاد الملح، NaCl.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Abbassenne, F. Bouzerzour, H. et Hachemi, L. 1998.** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum Desf.*) en zones semi-aride. *Annales Agronomie INA.*, 18: 24-36.
- **Acevedo, R. Morelock, J. and Olivieri, R.A. 1989.** Modification of coral reef zonation by terrigenous sediment stress. *Palaios*, 4: 92-100.
- **Al Sherif, E.A. 2009.** *Melilotus indicus (L.)* All., a salt-tolerant wild leguminous herb with high potential for use as a forage crop in salt-affected soils. *Flora*, 204: 737-746.
- **Alem, C. M. Labhilili, K. Brahmi, M. Jlibene, N. Nasrallah. et Filali-Maltouf A. 2002.** Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *C. R. Biologies*, 325: 1097-1109.
- **Al-Khatib, K. and Paulsen, G. M. 1984.** Mode of high temperature injury to wheat during grain development. *Physiologia Plantarum*, 61(3): 363–368.
- **Anonyme, 2008.** Agriculture, échanges et environnement. Le secteur des grandes cultures. Ed. OCDE, p 361-366.
- **Anonyme, 2011.** La culture intensive du blé. 3^{ème} édition. ITGC. Algérie, 30 p.
- **Apse, M.P. Aharon, G.S. Snedden, W.A. and Blumwald, E. 1999.** Salt tolerance conferred by over expression of a vacuolar Na⁺/H⁺ antiport in Arabidopsis. *Science*, 285 (5431): 1256-1258.
- **Ashraf, M. Asins, J.M. Villata, L. Aly, M.M. Olias, R. Morales, P.A. and huertas, R. 2012.** Two closely linked tomato HKT coding gene are positional Na⁺ /K⁺ homeostasis. *Plant. cell. Environ.*, 36: 1171- 1191.
- **Ashraf, M. and Foolad, M.R. 2007.** Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Exp. Bot.*, 59(2): 206-216.
- **Askri, H. Rejeb, S. Jebari, H. Nahdi, H. et Rejeb, M.N. 2007.** Effet du chlorure de sodium sur la germination des graines de trois variétés de pastèque (*Citrullus lanatus L.*). *Sécheresse*, 18 (1): 51-5.
- **Aubert, G. 1975.** Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annuaire de l'I.N.A., Alger, 6(1): 185-195.
- **Baize, D. 2000.** Guide des analyses en pédologie. INRA., Paris, p 205–213.

- **Bajji, M. 1999.** *Etude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur (Triticum durum Desf.): caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés in vitro.* Thèse doctorat en sciences biologiques. Université Catholique de Louvain.
- **Belaid, 1996.** Aspects de la céréaliculture Algérienne. offices de publication universitaires, 203P.
- **Belfekih, M. Ibrizi, M. Zouahri, A. et Biosci. 2013.** Effet de la salinité sur la paramètres morphophysologiques de deux variétés de bananier. *Journal of applied biosciences*, 70: 5651-5662.
- **Belin, C.H. 2006.** *Structure et fonction de la protéine Kinase OSII dans la cellule de garde d'Arabidopsis Thaliana.* Thèse de doctorat en Biologie végétale. Université de Paris-sud, 121 p.
- **Belkhodja, M. 1993.** Réponse de la germination des graines d'*Atriplex halimus L.* sous stress salin. *Revue Sécheresse*, 15(4): 331-335.
- **Ben Khaled, L. Ouarraqi, E. et Zid, E. 2007.** Impact du NaCl sur la croissance et la nutrition de la variété de blé dur Massa cultivée en milieu hydroponique. *Acta Botanica Gallica*, 154 (1): 101-116.
- **Ben Mbark, K. et Boubaker, M. 2017.** Manuel des grandes cultures les céréales. 1er édition. France: édition universitaires européennes, 256p.
- **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.
- **Bencharif, A. et Rastoin, J.L. 2007.** Concepts et méthodes de l'analyse de filières agroalimentaires: application par la chaîne globale de valeur au cas des blés en Algérie. Working Paper. Unité mixte de recherche MOISA., 23 p.
- **Benidire, L. Daoui, K. Fatemi, Z.A. Achouak, W. Bouarab, L. et Oufdou, K. 2015.** Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba L.* *J. Mater. Environ. Sci.*, 6 (3): 840-851.
- **Berthomieu, P. Conéjéro, G. Nublat, A. Brackenbury, W. J. Lambert, C. Savio, C. Uozumi, N. Oiki, S. Yamada, K. Cellier, F. Gosti, F. Simonneau, T. Essah, P.A. Tester, M. Very, A.A. Sentenac, H. and Casse, F. 2003.** Functional analysis of ATHKT1 in Arabidopsis shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *Embo Journal*, 22: 2004-2014.

- **Bey, M.B. Meziant, L. Benchikh, Y. and Louaileche, H. 2015.** Deployment of response surface methodology to optimize recovery of dried dark fig (*Ficus carica* L., var. *Azenjar*) total phenolic compounds and antioxidant activity. *International Food Research Journal*, 21(4): 1477-1482.
- **Bonjean, A. 2011.** Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé tendre (*Triticum aestivum*). *dossier de l'environnement de l'INRA.*, 21 :29-37.
- **Bouaouina, S. Zid, E. et Hajji, M. 2000.** Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.). *Ciheam, Options Méditerranéennes*, 239 - 243 p.
- **Bouda, S. et Haddioui, A. 2011.** Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. *Revue « nature & technologie »*, P72-79.
- **Boulal, H. Zaghouane, O. EL Mourid, M. et Rezgui, 2007.** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. ITGC. INRA. ICARDA., Algérie, 176 p.
- **Bourgault, M. 2009.** *Legume production in semi-arid areas: comparative study of the physiology of drought tolerance in common bean (Phaseolus vulgaris L.) and mungbean (vigna radiate (L.) wilczek)*. Thèse Doctorat en plant Science. University Montreal. Quebec. Canada, 261p.
- **Bourgeois-Chaillou, P. and Guerrier, G. 1992.** Salt responses in *Lycopersicon esculentum* Calli and Whole plants. *J. Plant Physiol.*, 140: 494-501.
- **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*, 9(12): 186-201.
- **Boyeldieu, J. 1999.** Encyclopédie des techniques agricoles : production végétale-Blé tendre. Ed., Paris, p 20-20.
- **Boyer, J. S. 1982.** Plant Productivity and Environment. *Science*, 218(4571): 443–448.
- **Calvet, R. Barriuso, E. Bedos, C. Benoit, P. Charnay, M.P. et Coquet, Y. 2005.** Les pesticides dans le sol: Conséquences agronomiques et environnementales. Ed: France Agricole, 641p.
- **Chadefaud, M. et Emberger, L. 1960.** Traité de botanique. Systématique. Les végétaux vasculaires par L. Emberger. Fasciculé Masson et Cie. Tome II, 753p.
- **Chapman, G.P. 2009.** Grass evolution and domestication. Cambridge University Press. London, 390p.

- **Chartzoulakis, K. and Klapaki, G. 2000.** Response of two green house, In **Clement, G. et Prat, J. 1970.** Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed., P 351-360.
- **Cheikh M'hamed, H. Abdeallaoui, R. Kadri, K. Ben naceur. M. et Bel Hadj, S. 2008.** Évaluation de la tolérance au stress salin de quelque accessions d'orge (*Hordum vulgare L.*) cultivées en Tunisie: approche physiologique. *Science et Technologie*, 28 : 30-37.
- **Chérifi, k. Anagri, A. Boufous, E. et Mousadik, A. 2017.** Effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la croissance de six espèces d'acacia. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, 2429-5396.
- **Cummins, I. Bryant, D.N. and Edwards, R. 2009.** Safener responsiveness and multiple herbicide resistance in the weed black-grass (*Alopecurus myosuroides*). *Plant Biotechnology Journal*, 7: 807-820.
- **Dajic, Z. 2006.** Salt stress. In *Physiology and Molecular Biologie of stress Tolérance in plants*. Ed. S., *Netherlands*, 41-99.
- **Délye, C. 2013.** Unravelling the genetic bases of non-target-site-based resistance (NTSR) to herbicides: a major challenge for weed science in the forthcoming decade. *Pest Management Science*, 69: 176-187.
- **Denden, M. Bettaieb, T. Salhi, A. et Mathlouthi, M. 2005.** Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales. *Tropicultura*, 23(4): 220-225.
- **Destrait F. et Defense T. 2011.** Des céréales pour nourrir le monde. *Défis Sud*, 100:10-12.
- **Djermoun, A. 2009.** La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques. *Revue nature et technologie*, 01: 45-53.
- **Dorion, S. Lalonde, S. and Saini, H.S. 1996.** Induction of mal sterility in wheat by meiotic stage Water deficitis preceeded by a decline in invertase activity and change in carbohydrate metabolism an anthers. *Plant physiol.*, 111: 137-145.
- **Epstein, E. Norlyn, J.D. Rush, D.W. Kingsbury, R.W. Kelley, D.B. Cunningham, G.A. and Wrona, A.F. 1980.** Saline Culture of Crops: A Genetic Approach. *Science*, 210 (4468): 399–404.
- **Evers, T. and Millar, S. 2002.** Cereal grain structure and development: some implication for quality. *Journal of Cereal Science*, (36): 261-284

- **FAO. 2019.** Situation alimentaire mondiale. Article publié le 05/12/2019 http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr/?fb_locale=es_ES. (Consulté le 02/01/2020).
- **Feillet, P. 2000.** Le grain de blé: composition et utilisation. *INRA*. Paris, 308p.
- **Ferrando, M. and Spiess, W.E.L. 2001.** Cellular response of plant tissue during the osmotic treatment with sucrose, maltose, and trehalose solutions. *J. Food Eng.*, 49: 115-127.
- **Flowers, T.J. and Flowers, J.S. 2005.** Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders?. *Agricultural Water Management*, 78: 15–24.
- **Garg, S.K. Kalla, A. and Bhatnagar, A. 2002.** Evaluation of raw and hydrothermally processed leguminous seeds as supplementary feed for the growth of two Indian major carp species. *Aquacult. Res.*, 33 (3): 151-163.
- **Gate, P. 1995.** Ecophysiologie du blé. Ed., ITCF., Technique et Documentation.
- **Glenn, E. Brown, J.J. and Blumwald, E. 1999.** Salt-tolerant mechanisms and crop potential of halophytes. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 18(2): 227-255.
- **Godon, B. et Willm, C. 1999.** Les industries de premières transformations des céréales. Ed: Tec et Doc., Lavoisier. Paris, 122-154.
- **Godon, B. 1991.** Composition biochimique des céréales. In: Les industries de premières transformations des céréales. Ed: Tec et Doc., Lavoisier, Paris, 77-103.
- **Gorham, J. 1992.** Salt tolerance of plants. *Sci Prog.*, 76: 273–285.
- **Guy, CL. 2003.** Freezing tolerance of plants: current understanding and selected emerging concepts. *Can.J.Bot.*, 81: 1216-1223.
- **Haichour, R. 2009.** *Stress thermique et limite écologique du Chêne vert en Algérie.* Thèse doctorat. Univ de Mentouri. Constantine, 139p.
- **Hamadache, A. 2001.** Stades et variétés de blé, document de vulgarisation, ITGC, DFRV, Alger, 22p.
- **Hamadache, A. 2013.** Grande cultures: principaux itinéraires techniques des principales espèces de grandes cultures pluviales cultivées en Algérie et en Afrique du nord (agriculture conventionnelle). le blé. Tome 1. 1er édition, 256p.
- **Haouala, F. Ferjani, H. et Ben el hadj, S. 2007.** Effet de la salinité sur la repartition du cation et du chlore dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 11 (3): 235–244.

- **Hasegawa, P.M. Bressan, R.A. Zhu, J.K. and Bohnert, H.J. 1986.** Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev.Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 51(1): 463–499.
- **Helander, M. Saloniemi, I. and Saikkonen, K. 2012.** Glyphosate in northern ecosystems. *Trends in Plant Science*, 17: 569-574.
- **Herreo, J. 1992.** Aridity and irrigation in argon. Spain. *Journal of aride envirennements*, 35: 535-547.
- **Hopkins, W.G. 2003.** Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck. Bruscelles, 514p.
- **Howarth, C.J. 2005.** Genetic improvements of tolerance to high temperature. In “Abiotic Stresses: Plant Resistance Through Breeding and Molecular Approaches. The Haworth Press Inc., p: 277–300.
- **Hsissou, D. 1994.** *Sélection In vitro et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse.* Thèse de doctorat. Univ., Catholique de Louvain.
- **Iba, K. 2002.** Acclimative response to temperature stress in higher plants: approaches of gene engineering for temperature tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 53. 225–245.
- **Ird. 2008.** Les dossiers thématiques de l’Institut de recherche pour le développement: Les sols sont fragiles. *Environ.*, 21p.
- **Ismail, A.M.A. 1990.** Germination ecophysiology in population of *Zygophyllum qatarenses* Hadidi from contrasting habitats. *J. Arid. Environ.*, 18: 185- 194.
- **Jagnow, G. 1987.** Inoculation of cereal crops and forage grasses with nitrogen fixing rhizosphere bacteria: Possible causes of success and failure with regard to yield response a review. *Zeitschrift Für Pflanzenernährung Und Bodenkunde*, 150(6): 361-368.
- **Jackson, R.D. 1986.** Remote sensing of biotic and abiotic plant stress. *Annual Review of Phytopathology*, 24: 265-287.
- **Jaouadi, W. Hamrouni, L. Souayeh, N. and Khouja, M.L. 2010.** Study of *Acacia tortilis* seed germination under different abiotic constraints. *Biotechnology. Agronomy. Society and Environment*, 14: 643-652.
- **Jean-Pierre, A. Philipp, D. Bernard, I. Gilles, L. Bernard, S. 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

- **Jiang, W. and Yu, H. 2009.** Effect of shear flow on the formation of ring-shaped ABA amphiphilic triblock copolymer micelles. *Macromolecules*, 42(9): 3399-3404.
- **Jithesh, M.N. Prashanth, S.R. Sivaprakas, K.R. and parida, A. 2006.** Antioxidative response mechanisms in halophyte. Their role in stress defense. *Journal of genetics*, 85: 237-254.
- **Kara, E.L. Hanson, P. Hamilton, D. Hipsey, M.R. McMahon, K.D. Read, J.S. Winslow, L. Dedrick, J. Rose, K. Carey, C.C. Bertilsson, S. Da Motta Marques, D. Beversdorf, L. Miller, T. Wu, C. Hsieh, Y. F. Gaiser, E. and Kratz, T. 2011.** Time-scale dependence in numerical simulations: assessment of physical. *Ecological Modelling*, 343: 39–53.
- **Kayamba, R.N. 2017.** La base de la production végétale. Editions universitaire européennes, 129p.
- **Kinet, J.M. Benrebiha, F.Z. Bouzid, S. Lailhacar, S. et Dutuit, P. 1998.** Réseau Atriplex. Allier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions arides et semi-arides. *Cahiers agricultures*, 7(6). 505-509.
- **Laberche, J-C. 2004.** La nutrition de la plante in biologie végétale. Dunod. 2^{ème} édition. Paris, 154 -163p.
- **Lachhab, I. Louahlia, S. Laamarti, M. et Hammani, K. 2013.** Effet d'un stress salin sur la germination et l'activité enzymatique chez deux génotypes de *Medicagosativa*. *Int. J. Innov. Appl. Studies*, 3: 511-516.
- **Laribi, B. Gharbi, A. Kouki, K. M'hamdi M. et Bettaieb, T. 2016.** Étude de la tolérance à la salinité chez une plante condimentaire: le carvi (*Caruma carvi L.*). *Published January*, 31(17) :1321-13.
- **Leclerc, J.C. 1999.** Ecophysiologie végétale. publications univ. *Saint Etienne.*, 188-235p.
- **Lersten, N.R. 1987.** Morphology and Anatomy of the Wheat Plant. In: Heyne. E.G. (ed). Wheat and Wheat Improvement. *American Society of Agronomy. Madison*, p 33-75.
- **Le stum, H. Bounjean, A. Ruch, O. Bouquery, J.M. Soppelsa, C. Grecourt, B. Mathieu, J. et Valluis, B. 2017.** Le blé. Editions France agricole. Paris, 260p.
- **Levigneron, A. Lopez, F. Vansuyt, G. Berthomieu, P. Fourcrot, P. et Francine, C. D. 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahiers agricultures*, 4: 263-73.

- **Levitt, J. 1980.** Responses of plants to environmental stresses. Water radiation. salt and others stresses. Academic Press. New York, 2: 365- 406.
- **Loyer, J.Y. 1991.** Classification des sols salés: Les sols salic. *Cah.Orstom. sér. Pédol.*, 1: 51-61.
- **Maillard, J. 2001.** Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone aride: Risques et Recommandations. *Handicap International*, 35p.
- **Mathieu, J. 2012.** Diagnostic des accidents du blé tendre. Institut du végétal. Paris, 144p.
- **Mefti, A. Abdelguerfi, A. et Chebouti, A. 2008.** Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula*(L.). *Field Crops Research*, 66: 165-174.
- **Mekliche, A. Boukecha, D. et Hanifi-Mekliche, L. 2003.** Etude de la tolérance a la sècheresse de quelque variété de blé dur (*Triticum durum* desf) effet de l'irrigation de complément sur les caractères phénologiques, morphologiques et physiologique. *Annals de l'institut national Agronomique, El Harrach*, 24: 97-110.
- **Merizek, S. 1992.** *Evolution de la biomasse et des composantes du rendement d'une culture de blé (Waha) conduire en sec et en irrigué* .Thèse Ingénieura. INA El-Harrach., p 10.
- **Mohammad, M. Shibli, R. Adjouni, M. and Nimri, L. 1998.** Tomato root and shoot responses to salt stress under different levls of phosphorus nutrition. *J. Plant Nutr.*, 21: 1667-1680.
- **Monneveux, D.1997.** La génétique face aux problems de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse: espoirs et difficultés. *Cahiers Sécheresse*, 8: 29-37.
- **Moule, C. 1971.** Céréales. La Maison rustique. Paris, 235p.
- **Munns, R. and Tester, M. 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. *Annual review of plant biology*, 59: 651-681.
- **Munns, R. 2002.** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25: 239–250.
- **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

- **Nakashima, M. 1998.** Users Governance of Natural Resources: Irrigation Management Transfer in Mexico. *Hiroshima Journal of International Studies*, 4: 1-16.
- **Nanjo, T. Fujita, M. Seki, M. Kato, t. Tabata, S. and Shinozaki, K. 2003.** Toxicity of free proline revealed in an *Arabidopsis* T-DNA-tagged mutant deficient in proline dehydrogenase. *Plant Cell physiol.*, 44(5): 541-548.
- **Okçu, G. Kaya, M.D. and Atar, M. 2005.** Effects of salt and drought stresses on germination and seed ling growth of pea (*Pisumsativum L.*). *Turk J Agricfor.*, 29: 237-242.
- **ONS. 2009.** Office National des Statistiques. <http://www.ons.dz/IMG/pdf/Cereales-2.pdf>. (Consulté le 07/06/2020).
- **Othman, Y. Al-Karaki, G. Al-Tawaha, A.R. and Al-Horani, A. 2006.** Variation in Germination and Ion Uptake in Barley Genotypes under Salinity Conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2 (1): 11-15.
- **Ouhaddach, M. Mouhssine, F. Ech- chaddadi, S. Lakalai, F. El Yacoubi, H. Hmouni, D. Douaik, A. Zidane, L. and Rochdi, A. 2015.** Morpho-physiological Reponses to Salt Stress in Wheat (*Triticum aestivum L.*) at the germination stage. *European journal of scientific research*, 133 (3): 240-252.
- **Oukarroum, A. 2007.** *Vitalité des plantes d'orge (Hordeum vulgare L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne.* Thèse doctora en Botanique et biologie végétale. Université de Genève, 184 p.
- **Pomeranz, Y. 1988.** Chemical composition of kernel structures. Wheat: *chemistry and technology*, 1: 97-158.
- **Prado, F.E. Boero, C. Gallardo, M. and Gonzalez, J.A. 2000.** Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds. *Bot. Bull. Acad. Sin.*, 41: 27-34.
- **Ramade, F. 2007.** Introduction à l'écotoxicologie. Ed: Dunod., 550p.
- **Ramel, F. Sulmon, C. Cabello-Hurtado, F. Taconnat, L. Martin-Magniette, M.L. Renou, J.P. El Amrani, A. Couée, I. and Gouesbet, G. 2007.** Genome-wide interacting effects of sucrose and herbicide-mediated stress in *Arabidopsis thaliana*: novel insights into atrazine toxicity and sucrose-induced tolerance. *BMC Genomics*, 8: 450.
- **Ramoliya, P.J. and Pandey, A.N. 2003.** Effect of salinization of soil on emergence, growth and survival of seedlings of *Cordiarothii*. *Forest Ecol. Manag.*, 176: 185-194.

- **Rejili, M. Neffati, N. et Mouhhamed, V. 2006.** Comportement germinatif de deux populations de *Lotus creticus. L* en présence du NaCl. *Revue des région Arides*, 17:65.
- **Rhind, S.M. 2009.** Anthropogenic pollutants: a threat to ecosystem sustainability? *Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences*, 364: 3391-3401.
- **Richards, R.A. Rebtzke, G.J. Van Herwaarden, A.F. Dugganb, B.L. and Condon, A. 1999.** Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture*, 36: 254-66.
- **Robin, N. et Taupin, P. 2017.** Quelles mesures agronomiques pour limiter la nuisibilité des ravageurs?. *Perspectives agricoles*, 441: 34-37.
- **Rufino, A.T. Ribeiro, M. Sousa, C. Judas, F. Salgueiro, L. Cavaleiro, C. and Mendes, A.F. 2010.** Evaluation of the anti-inflammatory, anti-catabolic and pro-anabolic effects of *Ecaryophyllene*, myrcene and limonene in a cell model of osteoarthritis. *European Journal of Pharmacology*, 750: 141-150.
- **Rush, D.W. and Epstein, E. 1981.** Breeding and selection for salt-tolerance by incorporation of wild germplasm into a domestic tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 106: 699-704.
- **Samouelian, F. Gaudin, V. et Boccara, M. 2009.** Génétique moléculaire des plantes. Quae. Paris, 207p.
- **Seyed, Y.S.L. Rouhollah, M. Mosharraf, M.H. and Ismail, M.M.R. 2012.** Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses, Water Stress. Ed. Intech., Rejika, Croitia, 300 p.
- **Shokohifard, G. Sakagam, K.H. and Matsumoto, S. 1989.** Effect of amending materials on growth of radish plant in salinized soil. *J. Plant Nutr.*, 12:1195-1294.
- **Soltner, D. 1998.** Les grandes productions végétales: céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte Gemme-sur-Loire, *Sciences et Techniques Agricoles*, France, 213p.
- **Soltner, D. 1999.** Les grandes productions végétales. 19 éditions. *sciences et techniques agricoles*, 464p.
- **Soltner, D. 2005.** Les grandes productions végétales. 20ème édition. *Collection science et technique agricole*, p 303-308.
- **Stitt, M. and Hurry, V. 2002.** A plant for all seasons: alterations in photosynthetic carbon metabolism during cold acclimation in *Arabidopsis*. *Plant Biology*, 5:199–206.

- **Su, J. Chen, P.L. and Wu, R. 1999.** Transgene expression of mannitol-1-phosphate dehydrogenase enhanced the salt stress tolerance of the transgenic rice seedlings. *Sci. Agric. Sin.*, 32: 101-103.
- **Surget, A. et Barron, C. 2005.** Histologie du grain de blé, Industrie des céréales. 145: 4-7.
- **Sutka, J. 2001.** Genes for frost resistance in wheat. *Euphytica*, 119:167–172.
- **Tradiou, F. and Simoneau, T. 1998.** Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviours. *Journal of Experimental Botany*, 49: 419–432.
- **Turner, N.C. 1986.** Adaptation to water deficit: a changing perspective. *Aust J Plant Physiol.*, 13: 175- 90.
- **Vila-Aiub, M.M. Balbi, M.C. Distéfano, A.J. Fernández, L. Hopp, E. Yu, Q. and Powles, S.B. 2012.** Glyphosate resistance in perennial *Sorghum halepense* (Johnsongrass), endowed by reduced glyphosate translocation and leaf uptake. *Pest Management Science*, 68: 430-436.
- **Wang, Y. and Nil, N. 2000.** Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 75: 623–627.
- **Wright, G.C. and Rachaputi, N.C. 2004.** Drought and drought resistance. In: Encyclopedia of plant and crop science. Ed: R.M., *Goodman, Rutgers university, New Brunswick, New Jersey, USA.*, 386-390.
- **Yancey, P.H. 1994.** Compatible and counteracting solutes. Dans Cellular and molecular physiology of cell volume regulation. Sous la direction de K. Strange. CRC Press, Boca Raton, Fla., p 82-109.
- **Zeiger, E. and Hepler, P.K. 1977.** Light and stomatal function: blue light stimulates swelling of guard cell protoplasts. *Science*, 196: 887-889.
- **Zhu, J.K. 2002.** Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 53: 247-273.
- **Zid, E. 1982.** Relations hydriques dans la feuille de *Citrus aurantium*: effets de l'age et de la salinité. *Rev. FAC. Sc. Tunis.*, 2: 195-205.
- **الصعيدي ح. 2005.** تربية النباتات تحت ظروف الاجهادات المختلفة والموارد الشحيحة والاسس الفيزيولوجية لها. مصر. طبعة 1. 205 صفحة.

Site d'internet :

[1] : <https://www.agrimaroc.ma/salinisation-sols> (consulté le 18/09/2020).

[2] : <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/190624/1/TFE-2015-GuillaumeFrapont.pdf> (consulté le 11/03/2020).

[3] : <http://petitrichard.fr/ancien/pages/BTH.pdf> (consulté le 12/03/2020).

[4] : <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Fruits/ble.htm> (consulté le 23/03/2020).

[5] : <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Fruits/ble.htm> (consulté le 22/03/2020).

[6] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Bl%C3%A9_d%27hiver (consulté le 30/03/2020).

[7] : <http://urban-laitues.blogspot.com/2017/05/> (consulté le 11/04/2020).

[8] : <https://www.syngenta.fr/cultures/cereales/article-fongicide/maladies-du-ble> (consulté le 03/01/2020)

[9] : <https://www.fondation-april.org/images> (consulté le 09/04/2020).

Annexes

Annexes

Tableau 01: Pourcentage de germination (%) pour les deux variétés de blé tendre soumises aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

Concentration	0 mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variétés					
Hiddab	99,33	90	63,33	63,33	0
Arz	83,33	76,67	60	50	0

Tableau 02: La longueur de la radicule (cm) des variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations du NaCl (mM).

Concentration	0mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variétés					
Hiddab	7,19	4,17	1,86	0,98	0
Arz	8,24	4,11	1,98	0,93	0

Tableau 03: La longueur de la tigelle (cm) des variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variétés					
Hiddab	8,58	3,12	1,01	0,36	0
Arz	7,55	2,38	0,76	0,29	0

Tableau 04: La surface foliaire (cm²) des variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Hiddab	7,7	7,16	6,64	6,39	2,78
Arz	7,6	6,22	5,95	5,3	2,43

Tableau 05: Le nombre des feuilles des variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Hiddab	3	2,8	2,7	2,4	2,1
Arz	3	2,8	2,5	2,2	2

Tableau 06: Longueur de la racine principale (cm) des variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Hiddab	18,3	16,8	15,6	15,4	14,4
Arz	14,3	13,4	12,4	12	11,8

Tableau 07: Hauteur de la plante (cm) des variétés du blé tendre soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0mM	50mM	100mM	150mM	200mM
Variété					
Hiddab	31,4	30,93	29,96	23,5	17,8
Arz	28,4	27,4	25,8	22,9	17

Analyse statistiques: Analyse de variance de deux critères (concentration/variétés).

Annexe 01: Analyse de la variance de pourcentage de germination (variété Hiddab).

Source	DL	CM	F	P
Concentrations	4	4210	23,39	0: S
Erreur	10	180		
Totale	14			

Annexe 02: Analyse de la variance de pourcentage de germination (variété Arz).

Source	DL	CM	F	P
Concentrations	4	3256,7	11,1	0,001: S
Erreur	10	293,3		
Totale	14			

Annexe 03: Analyse de la variance de pourcentage de germination (variété Hiddab et Arz).

Source	DL	CM	F	P
Variétés	1	480	0,39	0,538: N.S
Erreur	28	1235,7		
Totale	29			

Annexe 04: Analyse de la variance de la longueur de la racine (variété Hiddab).

Source	DL	CM	F	P
Concentrations	4	24,881	42,6	0: S
Erreur	10	0,5841		
Totale	14			

Annexe 05: Analyse de la variance de la longueur de la racine (variété Arz).

Source	DL	CM	F	P
Concentrations	4	32,2145	59,07	0: S
Erreur	10	0,5453		
Totale	14			

Annexe 06: Analyse de la variance de la longueur de la racicule (variété Hiddab et Arz).

Source	DL	CM	F	P
Variétés	1	0,3456	0,04	0,842: N.S
Erreur	28	8,5599		
Totale	29			

Annexe 07: Analyse de la variance de la longueur de la tigelle (variété Hiddab).

Source	DL	CM	F	P
Concentrations	4	37,7331	42,6	0: S
Erreur	10	0,8858		
Totale	14			

Annexe 08: Analyse de la variance de la longueur de la tigelle (variété Arz).

Source	DL	CM	F	P
Concentrations	4	29,6526	81,13	0: S
Erreur	10	0,3655		
Totale	14			

Annexe 09: Analyse de la variance de la longueur de la tigelle (variété Hiddab et Arz).

Source	DL	CM	F	P
Variétés	1	1,461	0,15	0,706: N.S
Erreur	28	10,073		
Totale	29			

Annexe 10: Analyse de la variance de la surface foliaire (variété Hiddab).

Source	DL	CM	F	P
Concentrations	4	11,385	11,17	0,001: S
Erreur	10	1,019		
Totale	14			

Annexe 11: Analyse de la variance de la surface foliaire (variété Arz).

Source	DL	CM	F	P
Concentrations	4	11,1552	14,68	0: S
Erreur	10	0,7599		
Totale	14			

Annexe 12: Analyse de la variance de la surface foliaire (variété Hiddab et Arz).

Source	DL	CM	F	P
Variétés	1	5,564	1,44	0,24: N.S
Erreur	28	3,855		
Totale	29			

Annexe 13: Analyse de la variance de nombre des feuilles (variété Hiddab).

Source	DL	CM	F	P
Concentration	4	7,1	17,75	0: S
Erreur	10	0,4		
Totale	14			

Annexe 14: Analyse de la variance de nombre des feuilles (variété Arz).

Source	DL	CM	F	P
Concentration	4	5,2333	8,72	0,003: S
Erreur	10	0,6		
Totale	14			

Annexe 15: Analyse de la variance de nombre des feuilles (variété Hiddab et Arz).

Source	DL	CM	F	P
Variété	1	2,133	1,01	0,324:N.S
Erreur	28	2,119		
Totale	29			

Annexe 16: Analyse de la variance de la longueur de la racine (variété Hiddab).

Source	DL	CM	F	P
Concentrations	4	6,611	1,14	0,391: N.S
Erreur	10	5,789		
Totale	14			

Annexe 17: Analyse de la variance de la longueur de la racine (variété Arz).

Source	DL	CM	F	P
Concentrations	4	3,711	0,87	0,513: N.S
Erreur	10	4,25		
Totale	14			

Annexe 18: Analyse de la variance de la longueur de la racine (variété Hiddab et Arz).

Source	DL	CM	F	P
Variétés	1	88,752	17,54	0: S
Erreur	28	5,06		
Totale	29			

Annexe 19: Analyse de la variance de la Hauteur de la plante (variété Hiddab).

Source	DL	CM	F	P
Concentrations	4	104,121	25,76	0: S
Erreur	10	4,041		
Totale	14			

Annexe 20: Analyse de la variance de la Hauteur de la plante (variété Arz).

Source	DL	CM	F	P
Concentrations	4	62,9673	63,82	0: S
Erreur	10	0,9867		
Totale	14			

Annexe 21: Analyse de la variance de la Hauteur de la plante (variété Hiddab et Arz).

Source	DL	CM	F	P
Variétés	1	43,68	1,7	0,203: N.S
Erreur	28	25,67		
Totale	29			

