

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



**Universitaire Abbès Laghrour
- Khenchela-**



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Master En Biologie
Spécialité : Biotechnologie Végétale et Amélioration des Plantes**

Thème

**Amélioration de la tolérance de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à
la salinité par voie (méthionine-priming)**

Présenté Par :

HOGGAS Chahinez et CHOUFFAOUI Noura

Soutenue publiquement le 26/06/2014 devant les membres du jury :

Président : Mr. LAABASSI A.

Univ. Abbès Laghrour - Khenchela

Examineur : Mr. MAZZOUZ L.

Univ. Abbès Laghrour - Khenchela

Promoteur : Mr. FERCHA A.

Univ. Abbès Laghrour - Khenchela

Année universitaire : 2013/2014



REMERCIEMENTS

Nous tenons d'abord et avant tout à remercier ALLAH le tout puissant pour nous avoir donné le courage et la force pour atteindre nos objectifs et finaliser ce travail avec succès.

Nous voudrions également, remercions Mr FERCHA AZZEDINE notre promoteur pour ces informations précieuses, sa gentillesse et sa patience jusqu'à la fin de ce travail, que Dieu le garde et le préserve pour sa famille.

Nous remercions aussi les membres du jury : Mr LAABASSI A. et Mr MAZOUZ L.


Pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de présider et d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous tenons aussi à remercier le personnel des laboratoires de la faculté des SNV pour leur disponibilité.

Enfin nous ne pouvons jamais assez remercier l'ensemble des enseignements de la spécialité biotechnologie.

A toutes les personnes qui portent le pavillon du savoir, et qui nous ont encouragé et aidé surtout moralement au cours des années d'étude

Et tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.



DÉDICACE

*Avec L'aide De DIEU, J'ai Pu Réaliser Ce Modeste Travail
Que Je Dédie A:*

Mes parents, pour leur soutien tout au long de mes études :

Ma mère Hafcia , Mon père Abdellah

Mes frères : Walid, Yassine, Hakim

Mes sœurs : Siham, Naima, sabrina

Et surtout :Noura Balouli

*A mes oncles, mes tantes, mes cousins, mousines et tout la
famille*

Pour leur présence de tous les instants

Pour le soutien qu'ils m'ont apporté

*Comme je dédie mon œuvre à mon binôme chahi et à mes amis
sans exception.*

A tous qui me connaisse de près ou de loi

Noura

DÉDICACE

*Avec L'aide D'ALLAH, J'ai Pu Réaliser Ce Modeste Travail
Que Je Dédie A:*

Mes parents, pour leur soutien tout au long de mes études :

Ma mère Mahbouba, Mon père A.Elaziz

Mes frères : Zin Addine, Aissa

Mes sœurs : Samah, Amina

Et surtout mon binôme : Noura CHOUFFAUI

*A mes oncles, mes tantes, mes cousins, cousines et toute la
famille Pour leur présence de tous les instants*

*Pour le soutien qu'ils m'ont apporté
Comme je dédie mes amis sans exception.*

A tous qui me connaisse de près ou de lo

Chahinez

Table des matières

Remerciement

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Liste des photographies

Introduction générale

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique

| | |
|--|-----------|
| I. Généralités sur le stress salin..... | 01 |
| 1 .Introduction..... | 01 |
| 2. Définition du stress..... | 01 |
| 2.1. Qu'est ce qu'un stress salin | 01 |
| 2.2 Origines de la salinisation des sols..... | 02 |
| 2.3 Mesures de la salinité | 03 |
| 2.3.1. Conductivité électrique | 03 |
| 2.3.2Gravimétrie TDS | 03 |
| 2.3.3Formules approximatives..... | 04 |
| 3. Influence de la salinité sur les plantes | 04 |
| 3 .1Effet de la salinité sur la croissance | 05 |
| 3.2Effets du stress salin sur la germination..... | 05 |
| 4.Mécanismes de tolérance à la salinité | 05 |
| 4.1. Régulation ionique et compartimentation des ions toxiques | 06 |
| 4.1.1. Biosynthèse des solutés compatibles..... | 07 |
| 4.1.2. Les sucres solubles | 07 |
| 4.1.2.2. Les polyols..... | 08 |
| 4.1.2.3. La proline | 09 |
| 4.1.2.4. La Glycine bétaïne | 10 |
| 4.1.3. Induction des hormones végétales..... | 10 |

| | |
|--|-----------|
| 5. Réponse des plantes au stress salin..... | 12 |
| 6. ‘Seed priming’ comme approche biotechnologique pour lutter contre les effets de la salinité des sols sur les plantes | 15 |
| 6.1. Les types de seed priming..... | 16 |
| 6.1.1.Osmopriming | 16 |
| 6.1.2. Priming matriciel..... | 16 |
| 6.1.3.Hydropriming dans un tambour..... | 16 |
| 6.2. Les modifications biochimiques induites par le priming..... | 18 |
| 6.3. Le priming et la lutte contre le stress salin..... | 18 |
| 6.4. La germination et le métabolisme des acides aminés | 19 |
| 6.4.1. La méthionine | 20 |
| 6.4.2. Rôles biologiques | 20 |
| II. Généralités sur le Blé | 22 |
| 1. Introduction..... | 22 |
| 2. Définition du blé | 22 |
| 3. Origines génétiques et géographiques et air de culture de blé dur | 22 |
| 4. La classification..... | 24 |
| 4.1. Morphologie et cycle végétatif de blé dur | 24 |
| 5.1. Morphologie de la plante | 24 |
| 5.2. Appareil végétatif | 25 |
| 5.3. Appareils reproducteurs..... | 26 |
| 6. Cycle évolutif du blé..... | 27 |
| 6.1. Germination-levée | 27 |
| 6.1. Tallage | 27 |
| 6.2. Montaison- gonflement 6.3Epiaison-floraison..... | 28 |
| 6.3. Remplissage du grain | 28 |
| 7. Facteurs influent sur la production du blé dur | 30 |
| 7.1. Climat..... | 30 |
| 7.2. Faibles températures..... | 30 |
| 7.3Sécheresse et hautes températures..... | 30 |

| | |
|---|-----------|
| 8. Les zones de production du blé dur en Algérie | 30 |
| 9. Importance du blé dur | 32 |
| 9.1. Dans le monde..... | 32 |
| 9.2. En Algérie | 33 |

CHAPITRE II : Matériel et Méthodes

| | |
|---|-----------|
| 1. Matériel végétal et traitements | 35 |
| 2. Essai de germination..... | 35 |
| 3. analyse de la germination..... | 36 |
| 4. paramètres de croissance..... | 37 |
| 4.1. La biomasse de l'embryon | 37 |
| 4.2 La croissance en longueur | 37 |
| 5. Les paramètres physiologiques et biochimiques..... | 38 |
| 5.1 teneur relative en eau | 38 |
| 5.2 la mobilisation des réserves..... | 38 |
| 5.3 dosage des protéines solubles dans l'embryon..... | 38 |
| 5.4 dosage des sucres solubles dans l'embryon..... | 39 |
| 5.5 dosage de la proline dans l'embryon | 40 |
| 6. Analyses statistique | 41 |

CHAPITRE III : Résultats et discussions

| | |
|---|-----------|
| 1. Résultats..... | 43 |
| 1.1 Les paramètres de germination | 43 |
| 1.2 La croissance | 46 |
| 1.3 Les paramètres physiologiques et biochimiques | 47 |
| 2. Discussion..... | 51 |
| Conclusion..... | 53 |

Références bibliographiques

Annexes

Liste des abréviations :

Na⁺: ions Sodium

NaCl: le chlorure de sodium

M6PR: mannose-6-phosphate réductase

CE: conductivités électrique

LC: Longueur de coléoptiles

LR: Longueur de la racine

H₂O₂: L'eau oxygénée

RWC: La teneur relative en eau

PFG: pourcentage final de germination

TDS: sels totaux dissous

Na₂SO₄: sulfate de sodium

Cl⁻ : ions chlorures

UP: unprétraitement

Liste des Tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 01-1: Seuils de sodicité (ESP, SAR _e) et de salinité (CE _e) utilisés pour un classement général des sols..... | 04 |
| Tableau 01-2 : caractéristiques des grandes zones de production des céréales Algériennes..... | 29 |
| Tableau 01-3 : Rendement des céréales en Algérie et d'autre pays..... | 32 |
| Tableau 02-1 : Récapitulatif des traitements réalisés..... | 36 |
| Tableau 3-1 : Effet interactif de NaCl et méthionine-priming sur les paramètres de croissance. Chaque valeur représente la moyenne arithmétique +/- l'écart type..... | 46 |

Listes des Figures

| | |
|---|----|
| Figure 01-1: Schéma mettant en évidence le mécanisme du phénomène de salinisation des sols. L'irrigation (A) entraîne une stagnation de l'eau dans les sols (B) due au manque de drainage d'où résulte l'accumulation des sels en surface par suite de l'évaporation. | 02 |
| Figure 01-2: Les transporteurs ioniques de Na ⁺ au niveau cellulaire..... | 06 |
| Figure 01-3: L'homéostasie et le maintien de la turgescence cellulaire. | 08 |
| Figure 01-4. Des structures chimiques de certains composés compatibles importants. | 09 |
| Figure 01-5 : les deux systèmes de défense antioxydant. | 11 |
| Figure 01-6 : Seuils de tolérance à la salinité chez les plantes cultivées | 14 |
| Figure 01-7: Appareil de traitement de semences en forme de Tambour: (1) déchargeur à vis sans fin, (2) tambour de mélange (3), trémie, (4) jet, (5) réducteur de l'air, (6) compresseur (7), réservoir de suspension de produits chimiques, (8) agitateur (9), tuyau avec filtre maille (10), pompe à éjecteur. | 15 |
| Figure 01-8 : Appareils pour le traitement des semences..... | 17 |
| Figure 01-9 : Diagramme simplifié de la biosynthèse des acides aminés de la voie de l'aspartate. AK : aspartate kinase, AKH : aspartate-kinase-homosérine-déshydrogénase, HSDH : homosérine-déshydrogénase, DHDPS : dihydrodipicolinate synthase, LKR-SDH lysine kétoglutarate réductase saccharopine dehydrogenase..... | 17 |
| Figure 01-10. Le cycle de Yang. Figure extraite du site www.wikipedia.com en 2014..... | 19 |
| Figure 01-11: Relations évolutives entre les génomes des différents types de blé cultivés et sauvages. | 21 |
| Figure 01-12 : Origine géographique du blé..... | 23 |

| | |
|---|----|
| Figure 01-13 : Différents tissus d'un grain de blé..... | 24 |
| Figure 01-14 : floraison de blé dur, http://covoiturage.uni-mrs.fr | 26 |
| Figure 01-15 : Cycle de développement de Blé..... | 28 |
| Figure 01.16 : Rendement en grains de blé dur en Algérie depuis l'indépendance jusqu'à 2012. | 29 |
| Figure 02.1 : Séparation de l'embryon du reste de la semence..... | 36 |
| Figure 3-1 : Effet interactif de la salinité et la méthionine priming sur la Cinétique de germination des grains de blé..... | 44 |
| Figure 3-2 : Effet interactif de la salinité et la méthionine priming sur le PFG..... | 45 |
| Figure 3-3 : Effet interactif de la salinité et la méthionine priming sur le TMG..... | 45 |
| Figure 3-4 : Effet interactif de la salinité et la méthionine priming sur la teneur relative en eau (RWC)..... | 48 |
| Figure 3-5 : Effet interactif de la salinité et la méthionine priming sur l'assimilation des réserves (ASR)..... | 48 |
| Figure 3-6 : Effet interactif de la salinité et la méthionine priming sur la teneur des sucres solubles (mg/g MF. | 49 |
| Figure 3-7 : Effet interactif de la salinité et la méthionine priming sur la teneur de proline (mg/g MF). | 49 |
| Figure 3-8 : Effet interactif de la salinité et la méthionine priming sur la teneur des protéines solubles (mg/g MF). | 50 |

Listes des photographies

| | |
|--|----|
| Photographié 1: La germination des semences traitées et non a été réalisée pendant une semaine..... | 36 |
| Photographie 2: Dosage des protéines solubles dans l'embryon..... | 39 |
| Photographie 3: Dosage des sucres solubles (WSC) dans l'embryon..... | 40 |
| Photographie 4 : Dosage de la proline dans l'embryon..... | 41 |

Introduction Générale

References Bibliographique

INTRODUCTION

La salinité est l'un des problèmes environnementaux les plus dommageables, limitant à la fois la croissance et la productivité des plantes cultivées (Munns & Tester, 2008). Selon la FAO, plus de 800 millions d'hectares des terres agricoles de par le monde sont gravement touchés par la salinité (FAO, 2008). En Algérie, à titre d'exemple, les sols affectés par les sels occupent une superficie estimée à 3,2 millions d'hectares (Benmahioul et al. 2009).

La salinité, qu'il s'agisse du sol ou des eaux, affecte la croissance et la production des plantes en raison de ses effets sur l'alimentation hydrique, l'accumulation des ions toxiques (Na^+ et Cl^-) (Munns et greenway, 1980). Tous ces facteurs entraînent des changements dans une large gamme de processus physiologiques et biochimiques comme la photosynthèse, la synthèse des protéines et le métabolisme des acides nucléiques (Munns et Tester, 2008). La sélection et la reproduction de cultivars (espèces) tolérants à la salinité est une approche faisable et économique pour l'utilisation des sols salins (Munns et al. 2006). Cependant, le succès de cette approche dépend de la présence d'une variation génétique au sein d'une espèce donnée. En effet, la variabilité de la tolérance du sel à l'intérieur et entre les espèces existe bel et bien (Epstein, 1972).

Le blé dur est l'une des cultures les plus largement cultivées dans le bassin méditerranéen, où sa production représente jusqu'à 75-90% de la production mondiale (Habache et al, 2009; Yousfi et al, 2010) et est souvent limitée par la mauvaise germination des graines et le faible établissement des peuplements, principalement en raison de la salinité des sols (Sayar et al., 2010). Par conséquent, il semble plus approprié d'utiliser des génotypes dont la tolérance au sel est améliorée. Ceci est particulièrement important pour le blé dur, car il est beaucoup moins tolérant que le blé tendre (Yousfi et al, 2010; Munns et al, 2012).

L'induction des semences (*Seed priming*) est l'une des approches biotechnologiques dite par *Shotgun*, récemment utilisée pour améliorer la tolérance des plantes face aux stress abiotiques (Ashraf et Foolad, 2005).

Ainsi, le but de cette étude est d'évaluer la possibilité d'améliorer la capacité des plantes de blé dur à tolérer les effets induits par le stress salin sur leur germination, et leur croissance par l'induction des semences avec la méthionine.



Synthèse Bibliographique



I. Généralités sur le Stress Salin

1. Introduction :

La salinité du sol est l'une des principales contraintes environnementales auxquelles l'agriculture moderne est confrontée. Souvent associée avec la sécheresse, la salinité constitue une menace sérieuse pour les cultures dans les régions arides et semi-arides du monde. La plupart des cultures sont sensibles à la salinité (Lauchli et Luttge, 2002). L'agriculture irriguée est actuellement très largement touchée par ce phénomène (20% des terres cultivées et 50% de terres irriguées sont affectées par la salinité) (Jabnour, 2008), en particulier dans les pays d'Asie et d'Afrique.

L'impact de la salinité est plus grave dans les pays où la production de la plupart des produits agricoles est basée sur l'irrigation (Égypte, Pakistan, Tunisie, etc.) et où l'agriculture est une importante partie prenante de l'économie nationale. La salinité n'entraîne pas seulement des pertes de rendement, mais elle peut aussi être à l'origine de beaucoup de problèmes d'ordre économique, environnemental, social et politique (Lauchi et Luttge, 2002).

L'Algérie à l'instar de ses voisins méditerranéens est touchée par ce phénomène, étant donné qu'actuellement près de 3,2 millions d'hectares sont menacés de salinisation (Benmahioul et al. 2009).

2. Définition du stress

Le mot stress est apparu vers les années quarante (1940). Il s'agit d'un mot anglais, employé en mécanique et en physique, qui signifie « force, poids, tension, charge ou effort ». D'une façon plus générale, on peut dire qu'au niveau cellulaire, un stress est causé par la variation d'un paramètre environnemental qui entraîne la mise en place des mécanismes de régulation de l'homéostasie. Les organismes sont généralement soumis à deux types de stress: les stress biotiques (dus à une agression par un autre organisme) et les stress abiotiques (qui sont dus principalement à des facteurs environnementaux) (Lemzeri, 2007).

2.1. Qu'est ce qu'un stress salin ?

La salinité a été définie par Lauchli et Luttge (2002): « Comme la concentration des sels minéraux dissous présente dans les sols (solution du sol) et les eaux. Les sels minéraux dissous constituent un électrolyte mixte de cations et anions. Les principaux cations dans les

solutions de sol salin sont Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+ , et les anions majeurs Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^{2-} , et NO_3^{2-} ». Les effets délétères de la salinité sur la croissance des plantes sont associés à un faible potentiel osmotique de la solution du sol (stress hydrique), un déséquilibre nutritionnel, l'effet d'ions spécifiques (stress salin), ou une combinaison de ces facteurs. Tous ces derniers entraînent des effets négatifs sur la croissance des plantes et le développement à différents niveaux physiologiques, biochimiques et même moléculaire (Pessarakli, 2011).

2.2. Origines de la salinisation des sols

La salinisation a plusieurs origines (Figure 01-1):

- ❖ **La salinisation primaire** : contemporaine de la pédogenèse est dite **naturelle** lorsque les sels sont autochtones (présents dans le milieu) d'origine marine, continentale ou volcanique.
- ❖ **La salinisation secondaire** : liée aux activités agricoles sur un sol déjà formé d'où l'appellation **d'Artificielle**. Résulte de l'utilisation des engrais minéraux, des eaux d'irrigation de qualité médiocre, etc.

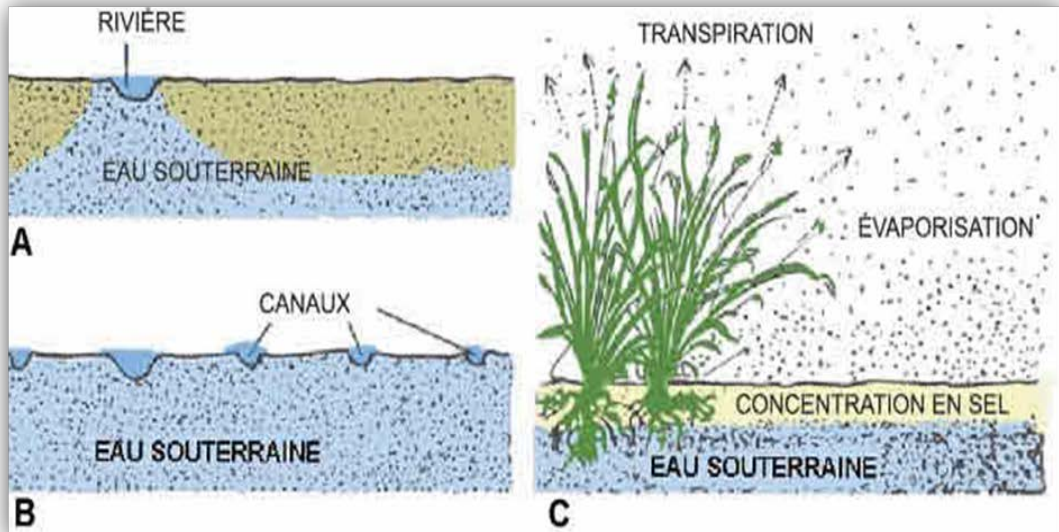


Figure 01-1: Schéma mettant en évidence le mécanisme du phénomène de salinisation des sols. L'irrigation (A) entraîne une stagnation de l'eau dans les sols (B) due au manque de drainage d'où résulte l'accumulation des sels en surface par suite de l'évaporation (C) (D'après Ramade, 2008).

2.3. Mesures de la salinité :

2.3.1. Conductivité électrique (CE) :

La salinité d'un sol se mesure par la conductivité électrique (CE) d'un extrait de la pâte saturée. Le « US Salinity Laboratory Staff » en 1954 a proposé le seuil de 4 dS m^{-1} pour définir un sol salin (Essington, 2004 cité par Bois, 2005).

Dans les années 70, on ne reconnaissait que la distinction entre un sol non salin et un sol salin est intimement rattachée à la tolérance aux sels des plantes considérées. En effet, puisque la CE est un indicateur du stress osmotique subi par les cultures, le classement d'un sol comme salin dépend de la sensibilité aux sels des plantes qui poussent sur ce sol, par exemple certaines sont sensibles à 2 dS m^{-1} et d'autres à 10 dS m^{-1} (Essington 2004 cité par Bois, 2005). Il est nécessaire de classer les sols et ainsi mieux sélectionner les espèces ou variétés végétales à y introduire. On peut distinguer deux grands groupes de sols (Tableau 1) affectés par l'excès de sels :

Les sols salins : ont un excès de sels solubles de toutes sortes, excès suffisants pour affecter la production végétale sans affecter les propriétés physiques du sol.

Les sols sodiques : ont un niveau de saturation du complexe adsorbant par du Na^+ suffisant pour affecter la structure du sol et la production végétale.

Ce classement est difficilement généralisable car les valeurs seuils sont influencées par les propriétés des sols ainsi que par l'objectif pour lequel est utilisé ce classement (Bois, 2005).

2.3.2. Gravimétrie: TDS (sels totaux dissous)

Historiquement, la salinité du sol ou de l'eau a été évaluée en déterminant la quantité de sels dissous dans la solution du sol. On la réalisait en faisant évaporer l'eau jusqu'à faire précipiter les sels dont le poids est ensuite déterminé.

- ❖ **Extrait 1:5** : Détermination de la salinité dans un filtrat d'une suspension de sol dans l'eau dans un ratio sol: eau de 1:5, mais elle donne des valeurs élevées car elle cause la dissolution de CaCO_3 et du gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- ❖ **Extrait de la pâte saturée**: Détermination de la salinité dans un extrait (filtré) de la pâte saturée. C'est la méthode la plus appropriée du fait que cette humidité est la plus proche de celles rencontrées sous les conditions naturelles. Mais elle est fastidieuse comparée aux autres extraits plus dilués.

Tableau 01-1: Seuils de sodicité (ESP, SARe) et de salinité (CEe) utilisés pour un classement général des sols (Bois, 2005).

| Classement | ESP * % | SAR e * | CEe * (dS m ⁻¹) | SAR 1:5 * | CE 1:5**(dS m ⁻¹) |
|---------------|---------|---------|-----------------------------|-----------|-------------------------------|
| Salin | < 15 | < 13 | > 4 | < 10 | > 0.2 |
| Salin-sodique | > 15 | > 13 | > 4 | > 10 | > 0.2 |
| Sodique | > 15 | > 13 | <4 | > 10 | < 0.2 |

*Pourcentage de sodium échangeable ESP (%) = (Na/CEC)*100*

Le ratio d'absorption du sodium (SAR) : est une propriété de la composition de la solution du sol caractérisant les concentrations en Na⁺, Ca²⁺ et Mg²⁺ et dépend notamment de l'ESP.

*La conductivité électrique (CE) : est un indicateur du stress osmotique subi par les cultures à partir des valeurs indiquées dans Essington (2004) ; ** en choisissant un facteur de conversion de 17 de la CE1:5 à la CEe à partir des valeurs présentées dans Slavich & Petterson (1993) pour des sables, des sables limoneux ou des sables argileux.*

2.3.3. Formules approximatives

A partir de la C.E à 25°C, la teneur de la solution peut être déduite grâce aux formules suivantes:

- ❖ *Cations ou Anions (méq/l) = CE*10 : Cette expression est valable pour une conductivité électrique comprise entre 0.1 et 5 dS/m.*
- ❖ *Teneur en sels (ppm) = CE*640 : Cette expression est valable pour une conductivité électrique comprise entre 0.1 et 5 dS/m.*
- ❖ *PO (atm) = 0.36*CE : avec PO : pression osmotique de la solution.*

3. Influence de la salinité sur les plantes :

L'effet dépressif de la salinité sur la croissance des plantes peut avoir deux causes principales, non exclusives : les difficultés d'alimentation en eau et en nutriments, et la toxicité des ions accumulés en excès dans la plante (Munns et Tester, 2008).

Chez toutes les espèces végétales, glycophytes comme halophytes, la salinité du milieu entraîne, à partir d'un certain seuil, une altération dans la croissance et le développement. Néanmoins, le degré d'inhibition de la croissance dépend du genre, de l'espèce, de la variété, ainsi que du stade de développement de la plante et de la nature de l'organe (Ben Ahmed et al. 2008).

3.1. Effet de la salinité sur la croissance:

Le stress salin résulte en la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines (Chartzoulakis et Klapaki, 2000). L'accroissement de la salinité 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 racinaire chez la tomate (Mohammad et al. 1998). Le taux élevé de NaCl se manifeste par une croissance dans la biomasse des racines, tiges et feuilles et une augmentation dans le ratio partie racinaire/partie aérienne (Meloni et al. 2001).

Un stress salin extrême conduit au nanisme et à l'inhibition de la croissance racinaire. Les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir fini leur croissance et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite (Calu, 2006).

3.1.1. Effets du stress salin sur la germination:

La germination est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et, en particulier, par la disponibilité de l'eau dans le sol et la présence de sel. Ainsi, la germination des graines est probablement le stade le plus sensible aux stress salin et hydrique. On peut considérer que la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée (Maillard, 2001). Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (Debez et al. 2001). Plusieurs auteurs ont montré un retard de la germination causé par la salinité chez plusieurs espèces, même chez des espèces halophytes. Des travaux faits sur des halophytes comme des glycophytes ont montré que l'effet inhibiteur du NaCl sur la germination serait essentiellement de nature osmotique, c'est-à-dire, le sel empêche l'imbibition de la graine.

4. Mécanismes de tolérance à la salinité:

Les plantes développent un nombre important de mécanismes biochimiques et cellulaires pour faire face au stress salin. Les stratégies biochimiques comprennent :

- 1) L'accumulation sélective ou l'exclusion des ions
- 2) Le control de l'absorption racinaire des ions et leur transport dans les feuilles,
- 3) La compartimentation des ions au niveau cellulaire et au niveau de la plante toute entière,

- 4) La synthèse des solutés compatibles,
- 5) Changement de la photosynthèse,
- 6) L'altération de la structure membranaire,
- 7) L'induction des enzymes antioxydantes,
- 8) L'induction des hormones végétales.

4.1.1. Régulation ionique et compartimentation des ions toxiques :

L'absorption ionique et la compartimentation sont des processus importants non seulement pour la croissance normale mais aussi pour la croissance sous des conditions de salinité, parce que le stress perturbe l'homéostasie ionique. Les plantes qu'elles soient glycophytes ou halophytes, ne peuvent tolérer une grande quantité de sel.

Les glycophytes limitent l'absorption ou la translocation du sodium dans les tissus âgés qui servent de compartiments de stockage qui sont éventuellement sacrifiés (Parida et Das, 2005) (Figure 01-2). L'exclusion des ions Na^+ du cytoplasme ou sa compartimentation dans les vacuoles est réalisée par des enzymes induites par le sel, exemples : pompes H^+ , le type H^+ -ATPase (V-ATPase) et la pyrophosphatase vacuolaire (V-APPase) (Parida et Das, 2005).

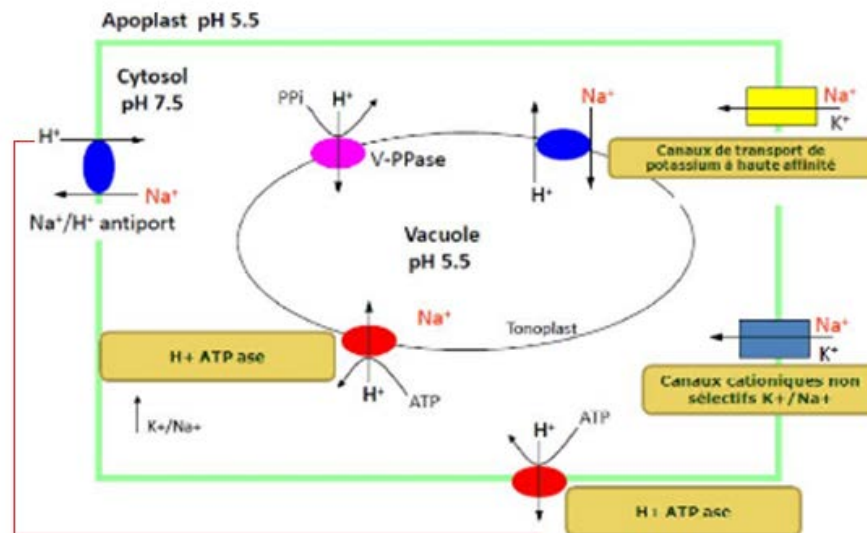


Figure 01-2 : Les transporteurs ioniques de Na^+ au niveau cellulaire (Mansour et al., 2003).

La V-ATPase est indispensable pour le développement des plantes dans des conditions normales du à son rôle en activant le transport secondaire, le maintien de l'homéostasie des solutés et probablement faciliter la fusion des vésicules.

Dans le stress salin, les plantes maintiennent de forte concentrations de K^+ et de faibles concentrations de Na^+ dans le cytosol et cela par la régulation de l'expression et de l'activité des transporteurs de K^+ et Na^+ et les pompes H^+ qui produisent la force motrice qui régit le transport (Parida et Das, 2005).

D'autres mécanismes pour la régulation du sel sont la sécrétion, l'accumulation sélective ou l'exclusion du sel. La sécrétion du sel se produit par le développement de structure cellulaire unique appelée les *glandes excrétrices* du sel. Ces glandes sécrètent le sel (spécialement le NaCl) des feuilles et maintiennent la concentration interne des ions à un niveau bas (Parida et Das, 2005). L'exclusion du sel se produit dans les cellules pour réguler le taux de sel dans les feuilles de certaines halophytes (Parida et Das, 2005). L'accumulation sélective des ions ou des solutés qui donne comme résultat une augmentation dans la rétention de l'eau et/ou l'exclusion du sodium.

4.1.2. Biosynthèse des solutés compatibles :

Pour adapter l'équilibre ionique dans la vacuole et le cytoplasme, les cellules accumulent des composés de petite masse moléculaire nommés '**solutés compatibles**' parce qu'ils n'interfèrent pas avec les réactions biochimiques normales, en revanche, ils remplacent l'eau dans les réactions chimiques (Figure 01-3). Ces solutés compatibles comprennent principalement la proline, la glycine bétaïne, les sucres et les polyols (Parida et Das, 2005).

Les osmolytes protègent la structure cellulaire en interagissant avec les membranes, complexes protéiques, ou enzymes. Ces composés ont des caractéristiques de liaisons d'hydrogène ce qui leurs permettent de protéger les macromolécules des effets néfastes de l'augmentation de la force ionique dans les milieux avoisinant (Parisa et Das, 2005).

4.1.2.1. Les sucres solubles :

Plusieurs études ont montrées que les sucres (saccharoses, hexoses, fructoses) s'accumulent différemment selon les espèces (Yin et al., 2010). Le saccharose et les produits métaboliques de l'amidon peuvent servir d'intermédiaires pour la génération des squelettes carboniques de l'ATP pour les voies anaérobiques telles que la synthèse des acides gras et les

acides nucléiques; comme ils jouent un rôle important dans l'osmo-régulation et l'osmo-protection (Yin et al., 2010).

Sous les conditions de salinité, le taux de l'amidon diminue dans les racines du riz mais ne change pas dans la partie aérienne (Parida et al., 2002). Dans les feuilles de la tomate, le taux des sucres solubles et des saccharides solubles augmente significativement mais le taux de l'amidon n'est pas affecté par le traitement du NaCl (Parida et Das, 2005).

4.1.2.2. Les polyols :

Les polyols sont classifiés comme acycliques (mannitol) et cyclique (pinitol). Ils compensent la perte de l'eau pendant le stress (Parida et Das, 2005). Ces sucres alcooliques s'accumulent en faible quantité lors d'un stress abiotique (Bohnert et al., 1996). Le mannitol, un sucre qui sert comme soluté soluble pour faire face au stress salin, est synthétisé via l'action de la mannose-6-phosphate réductase (M6PR) chez le céleri (Parida et Das, 2005). Les polyols agissent en deux manières qui sont difficile à séparer : ce sont l'ajustement osmotique et osmo-protection.

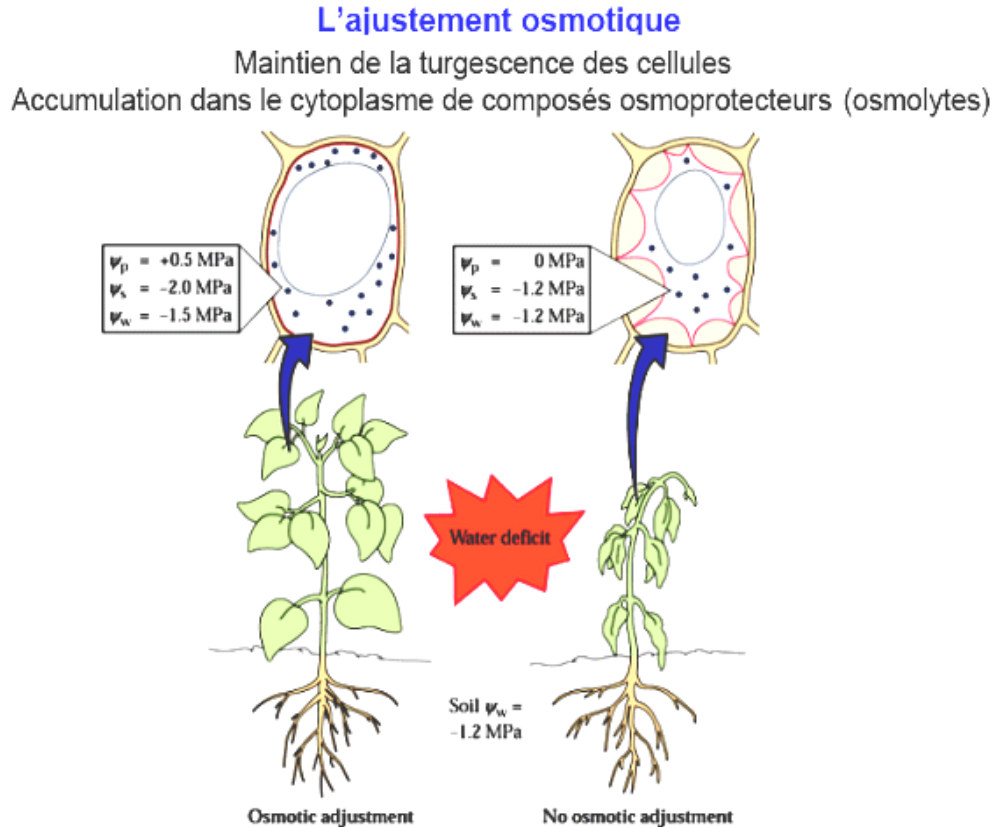


Figure 01-3 : L'homéostasie et le maintien de la turgescence cellulaire.

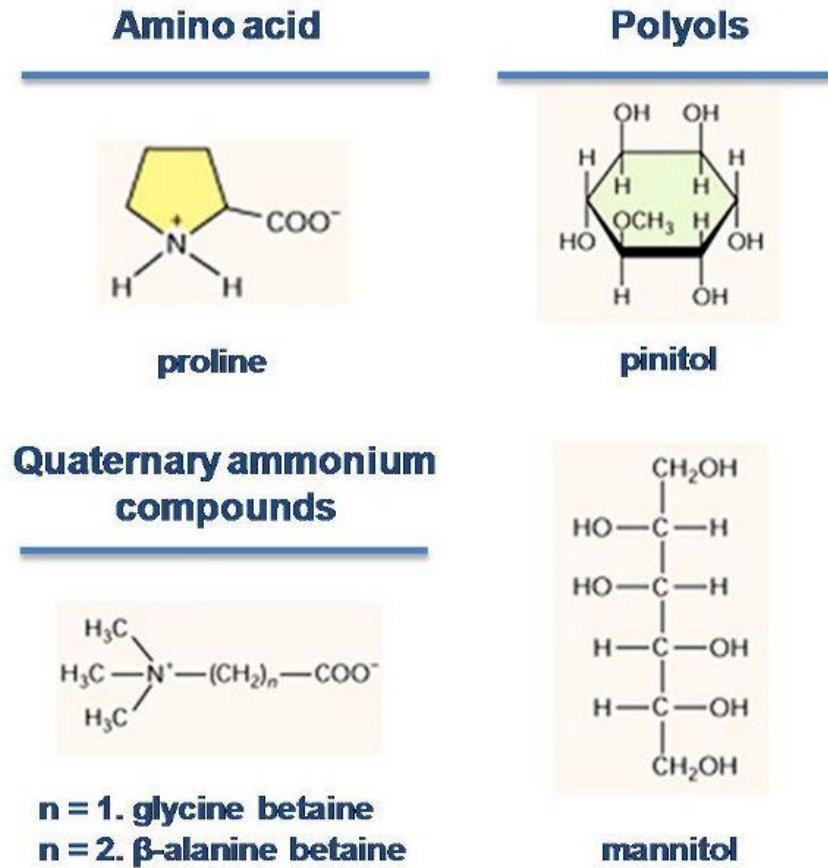


Figure 01-4. Des structures chimiques de certains composés compatibles importants (Carillo et al. 2011).

Dans l'ajustement osmotique, ils agissent comme des osmolytes pour faciliter la rétention de l'eau dans le cytoplasme et permettant la séquestration du Na^+ au sein de la vacuole ou l'apoplaste. Le point commun entre les solutés compatibles est que ces composés peuvent être accumulés à des taux élevés sans pour autant perturber la biochimie intracellulaire (Parida et Das, 2005).

4.1.2.3. La proline :

La proline désigné généralement sous le nom de soluté compatible chez les eubactéries, les algues, et les plantes supérieures. L'accumulation de la proline est due principalement à la synthèse *de novo*, et deuxièmement à un taux réduit du catabolisme, et finalement aux systèmes de transport spécifiques qui diffusent la proline aux endroits de besoin. Deux voies possibles de la synthèse de la proline ont été démontrées chez les plantes. La première utilisant le glutamate et la deuxième emploie l'ornithine comme précurseur. La dégradation de proline chez les plantes a lieu dans les mitochondries et est catalysée par la

proline déshydrogénase (ProDH), également appelée proline oxydase. On a démontré que la dégradation de la proline est fortement inhibée par les conditions de stress hydriques et salins. Une diminution dans le niveau de ProDH ARNm et de l'activité de ProDH a pour conséquence l'accumulation de la proline (Messedi et al. 2006).

4.1.2.4. La Glycine bêtaïne :

Ethylamine trouvée chez de nombreuses plantes supérieures et algues, son accumulation lors du stress hydrique résulte d'une hausse de sa synthèse dans les tissus chlorophylliens à partir de la choline ensuite transportée dans les tissus jeunes. Son rôle est le maintien de la quantité d'eau à l'intérieur de la cellule par la stabilisation de la structure quaternaire des protéines et par l'ajustement osmotique (Chen et Mutara, 2002).

4.1.3. Induction des enzymes antioxydantes :

Le stress salin est complexe et provoque un déficit hydrique à cause de ses effets osmotiques. Ce déficit hydrique conduit à la formation des espèces réactives d'hydrogène (ROS) comme le superoxyde, le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), le radical hydroxyl (OH) et l'oxygène singlet (O_2) (Parida et Das, 2005). Les espèces d'oxygènes ayant des activités cytotoxiques peuvent perturber sérieusement le métabolisme à travers un dommage oxydatif des lipides, des protéines ou des acides nucléiques (Parida et Das, 2005). Les plantes se défendent contre ces espèces réactives de l'oxygène par l'induction de l'activité de certaines enzymes antioxydantes comme la catalase, peroxydase, glutathion réductase et la superoxyde dismutase ce qui élimine les ROS (Figure 01-5). Le système antioxydant est principalement composé du cycle Acrobate-glutathion qui joue un rôle clé dans la détoxification.

4.1.4. Induction des hormones végétales :

La concentration élevée du sel déclenche une augmentation dans les taux des hormones végétales, comme l'ABA et les cytokinines (Parida et Das, 2005). L'acide abscissique est responsable de l'altération des gènes induits par le stress salin. Les gènes inductible de l'ABA sont prévus de jouer un rôle important dans le mécanisme de la tolérance au sel chez le riz (Gupta et al. 1998).

Pendant le stress salin il y a une augmentation au niveau de la production de l'ABA et l'éthylène chez *citrus sinensis* (Parida et Das, 2005). Il s'est avéré que l'ABA vient alléger

l'effet inhibiteur du NaCl sur la photosynthèse, la croissance et la translocation des assimilats (Parida et Das, 2005).

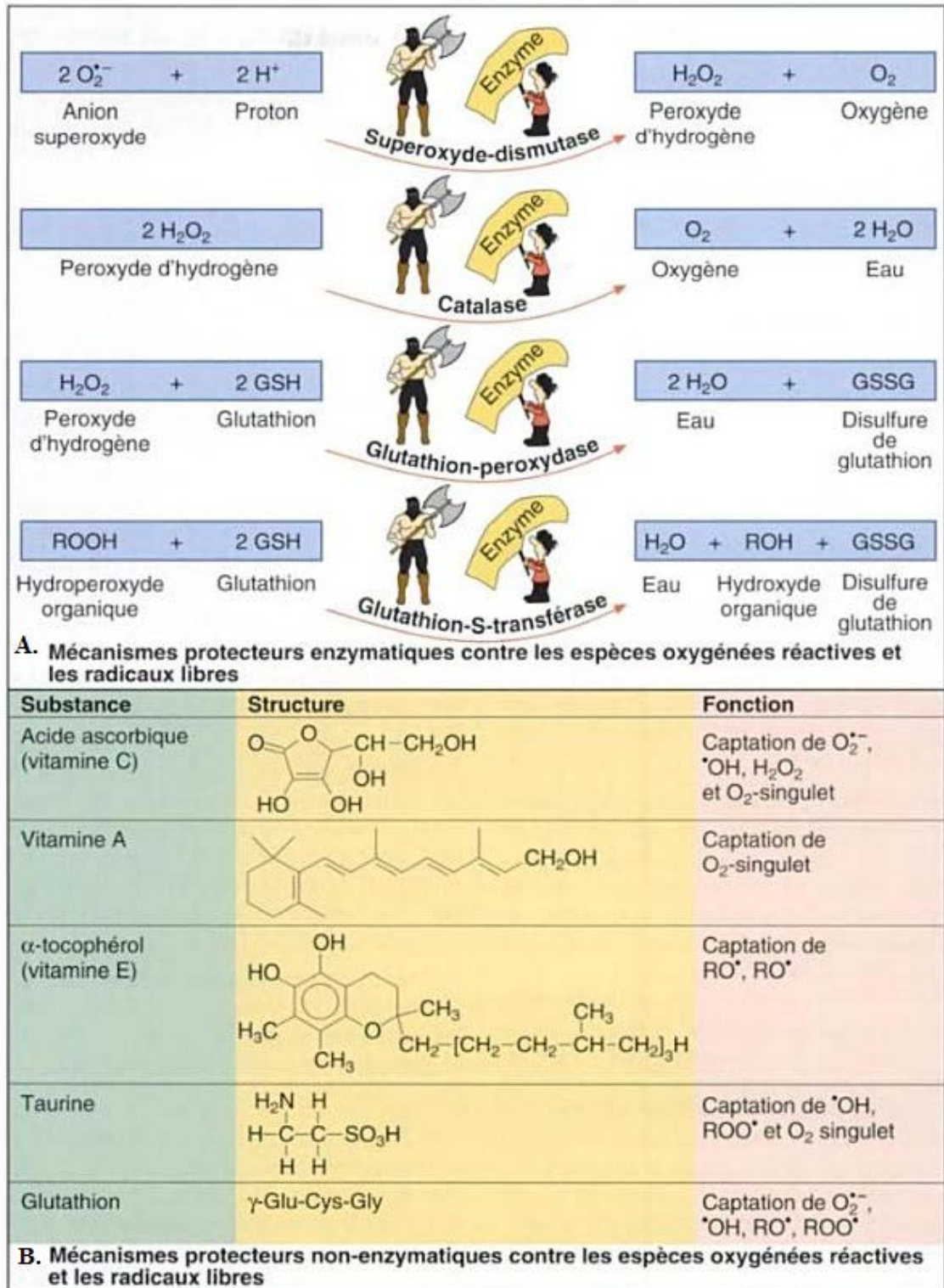


Figure 01-5 : les deux systèmes de défense antioxydant (D'après Fercha, 2014).

L'ABA favorise le passage de la forme C₃ à la forme CAM pendant le stress salin (Parida et Das, 2005). L'ABA favorise la fermeture des stomates en changeant le flux des ions dans les cellules de gardes sous les conditions de stress salin. On a montré que l'augmentation de l'absorption de Ca⁺² est liée à l'augmentation de l'ABA dans le cas du stress salin et donc contribue au maintien de l'intégrité membranaire, ce qui permet aux plantes de réguler l'absorption et le transport dans le cas d'excès de la salinité à long terme (Chen et al. 2001). Il a été rapporté que l'ABA réduit la libération de l'éthylène et l'abscission foliaire en condition de stress chez le *citrus* probablement en diminuant l'accumulation de l'ion toxique Cl⁻ dans les feuilles (Gomez-Cadenas et al., 2002).

5. Réponse des plantes au stress salin

La présence de sels en grande quantité dans un sol est un facteur limitatif majeur de la production agricole. La majorité des plantes cultivées appartient à des espèces sensibles, à divers degrés, à la salinité et ont, dans ces conditions, des rendements très faibles (Levigneron et al, 1995).

Sous irrigation avec des eaux salées, la germination et la levée sont les stades les plus critiques. Une mauvaise germination-levée aboutit à une faible densité du peuplement et à la chute du rendement (Hamdy et al, 1995).

Le stress salin perturbe non seulement la croissance végétative mais également la fixation symbiotique de l'azote en altérant la symbiose initiée entre le rhizobium et la plante (Levigneron et al, 1995).

La quantité de sels que les plantes peuvent supporter sans grand dommage pour leur croissance-développement varie en fonction des espèces et variétés. C'est pourquoi, il n'est pas possible de définir, dans l'absolu, le seuil de salinité à partir duquel une espèce devient sensible au stress salin.

Les conséquences du stress salin résultent de trois types d'effets que le sel provoque chez les plantes, à savoir :

- L'effet "stress osmotique" qui a pour origine la concentration saline dans le sol. Cette dernière induit une diminution de la disponibilité en eau ; la plante s'adapte en réduisant son potentiel osmotique pour que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire (Epstein, 1977).

- L'effet "stress ionique" qui a pour origine l'excès des ions que la plante est obligée d'absorber en parallèle avec l'absorption de l'eau. Cette accumulation ionique induit la toxicité et perturbe l'activité métabolique de la plante.
- Le stress ionique a pour conséquence un « stress nutritionnel ». En effet les concentrations salines trop fortes dans le milieu cellulaire déséquilibrent la nutrition minérale de la plante. Les ions accumulés entrent en compétition pour les transporteurs ioniques cellulaires. Le sodium réduit de l'absorption de potassium et celle du calcium, alors que le chlore entre en compétition avec les nitrates, le phosphore et les sulfates.

Piri et al. (1994) indiquent qu'à l'interface racine/sol, l'excès d'ions de sodium limite l'approvisionnement de la plante en macro-éléments essentiels tels que le potassium. L'efficacité avec laquelle le potassium est absorbé et utilisé pour les besoins métaboliques de la plante est donc une composante de la tolérance à la salinité.

La sélectivité d'absorption du potassium comparativement au sodium, limite du transfert de ce dernier vers les organes et sites sensibles qui sont le siège d'activité physiologique intense et où le risque de toxicité et de perturbation du métabolisme est élevé.

Khan et al. (1997) mentionnent qu'une longue exposition des plantes à la salinité induit la diminution de la surface foliaire suite à la sénescence prématurée des feuilles. Elle perturbe la biosynthèse des pigments photosynthétiques. Le sodium et le chlorure entrent la plantule à travers le flux de la transpiration. En effet le taux élevé de cette dernière entraîne un transport conséquent de sel vers les feuilles où il s'accumule et cause une réduction rapide de la photosynthèse nette et finalement la croissance.

A l'échelle de la plante entière, les ions du chlore et du sodium pénètrent par les racines. Ils sont véhiculés via le xylème jusqu'aux tiges et aux feuilles. Là, ils sont soit stockés et c'est le cas des plantes de type « incluser », soit remis en circulation dans la sève phloémique jusqu'aux racines et c'est le cas des plantes de type « excluser » (Levigneron et al, 1995).

L'azote, un des éléments essentiels de la production des cultures, est sévèrement affecté en conditions salines. L'assimilation de l'azote par le blé, qui est une culture modérément tolérante aux sels, est inhibée en présence des concentrations de NaCl et de NaSO₄ dans la zone racinaire. Les teneurs de l'azote ont diminué considérablement avec l'augmentation de la concentration saline dans la solution nutritive.

Il est admis que c'est la capacité à stocker le sel dans les parties aériennes qui détermine le degré de tolérance au stress salin. Une amélioration de la tolérance est notée chez

les variétés qui arrivent à remettre en circulation le sodium. Cette remise en circulation des sels prévient leur accumulation dans les parties aériennes et notamment dans les feuilles qui sont le siège d'une activité photochimique intense (Levigneron et al, 1995).

Ainsi les plantes sont classées selon leur réponse au stress salin en 4 catégories :

- Les plantes sensibles, dont la production baisse de 20% à partir des seuils de salinité de 2 à 3 g/l. le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.), le melon (*Cucumis melo* L.), la lentille (*Lens culinaris* Medik.), le concombre (*Cucumis sativus* L.) et le noyer (*Juglans* sp.) appartiennent à cette classe.
- Les plantes à résistance modérée, elles tolèrent des salinités de 3 à 5 g/l. la luzerne (*Medicago* spp.), la carotte (*Daucus carota sativa* L.), le pêcher (*Prunus persica* L.) et le prunier (*Prunus domestica* L.) appartiennent à cette classe.
- Les plantes résistantes s'adaptent à des concentrations salines allant jusqu'à 10g/l. la tomate (*Lycopersicum esculentum* L.), le maïs (*Zea mays* L.), le blé (*Triticum* spp.) et le sorgho (*Sorghum bicolor* Moench L.) font partie de cette classe. Les plantes très résistantes, d'un intérêt spécial pour la culture en sol salé tels que l'épinard (*Spinacia oleracea* L.), la betterave (*Beta vulgaris* L.), le cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) et le palmier (*Phoenix dactylifera* L.) qui peuvent tolérer jusqu'à 18 g/l (Heller et al., 1998).

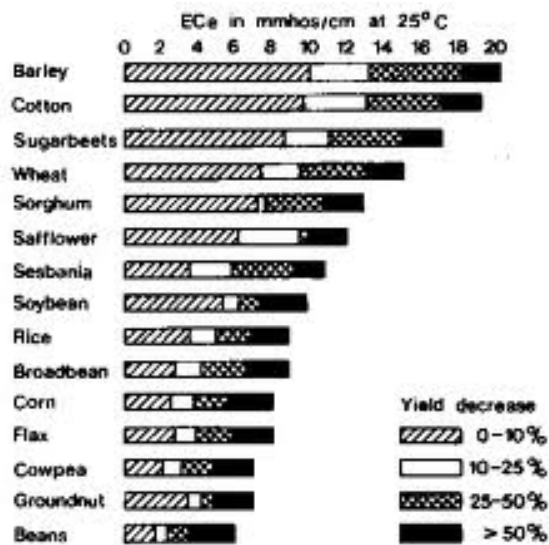


Figure 01-6 : Seuils de tolérance à la salinité chez les plantes cultivées (Levigneron et al, 1995)

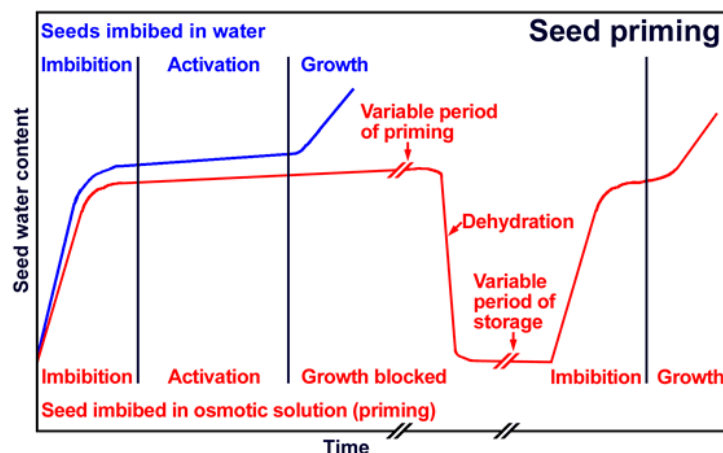
6. “Seed priming” comme approche biotechnologique pour lutter contre les effets de la salinité des sols sur les plantes:

Le ‘**Priming**’ ou le *prétraitement*, le traitement *pré-germination*, *l’induction* ou encore *l’endurcissement* des semences, est une technique biotechnologique appliquée de plus en plus fréquemment en agriculture pour améliorer les rendements et synchroniser les levées (Di Girolamo et Barbanti, 2012).

La technique développée par Heydecker en 1973, consiste à placé les semences en contact de solutions aqueuses de polyéthylène glycol, de sels, d’hormones, de vitamines, etc. Par control de la concentration, la durée de trempage et la température, on réalise une imbibition partielle de la graine, suffisante pour permettre la mise en œuvre des processus pré germinatifs, mais insuffisante pour assurer l’émergence de la radicule.

Le priming des semences est un traitement pré-germinatif qui peut considérablement améliorer l’efficacité de la germination dans un groupe diversifié de plantes, y compris les céréales, les légumes et les plantes ornementales (Afzal et al., 2006). Il déclenche les processus métaboliques associés à la germination tandis que les graines restent encore dans la phase de latence de germination (fig. 1-4).

L’émergence de la radicule est empêchée par le potentiel hydrique du milieu d’imbibition ou la durée d’imbibition. Quand le priming est achevé, la graine sera desséchée jusqu’à ce qu’elle trouve sa teneur en eau initiale. Diverses techniques sont utilisées pour contrôler l’hydratation des semences.



© 2006 Gerhard Leubner - The Seed Biology Place - <http://www.seedbiology.de> - Redrawn/modified from: Bradford KJ, Bewley JD (2002). Seeds: Biology, Technology and Role in Agriculture. Chapter 9, pp. 210-239. In: Plants, Genes and Crop Biotechnology (eds Chrispeels MJ, Sadava DE), Jones and Bartlett, Boston.

Figure 01-7 : Germination et l’induction des semences (Di Girolamo et Barbanti, 2012)

6.1. Les types de seed priming

Les techniques utilisées pour l'induction des semences comprennent:

1. *Osmopriming ou priming Osmotique* : imbibition des graines dans des solutions osmotiques.
2. *Priming matriciel* : en utilisant des supports solides avec un potentiel matriciel approprié.
3. *Hydropriming dans un tambour* : hydratation de graines avec de l'eau dans un tambour culbuteur.

6.1.1. Osmopriming :

L'osmopriming (appelé aussi conditionnement osmotique ou induction osmotique) est le processus qui consiste à utiliser des solutions osmotiques avec un potentiel hydrique faible pour contrôler la consommation en eau des semences. Les substances les plus couramment utilisés pour l'osmopriming sont des sels inorganiques, des polyéthylènes glycols (PEG), le mannitol et le glycérol. Les sels suivants sont couramment utilisés: NaCl, NaNO₃, MnSO₄, MgCl₂, K₃PO₄ et KNO₃ (Tiryaki et Buyukcingil, 2009). L'accumulation des sels dans la graine pourrait déterminer la toxicité (Bradford, 1995 cité par), réduire le potentiel osmotique et induire une forte absorption d'eau pendant le traitement (Parera et Cantliffe, 1994 cité par), ce qui entraîne une émergence plus probable de la radicule.

6.1.2. Priming matriciel :

Ce procédé consiste à placer les semences dans un milieu solide comme de la vermiculite humide, silice de diatomées ou l'argile calcinée. Ces matières sont mélangées avec les graines dans un rapport de 0,2 à 1,5 g de matière 1 g de graines et de 60 à 300 pour cent d'eau (par rapport au poids sec des matières solides), en fonction du matériau de la matrice. Le matériau est généralement retiré avant le semis, comme il peut être laissé sur la semence (Kester et al., 2011 cité par).

6.1.3. Hydropriming dans un tambour :

Hydropriming est simple dans son concept, mais sophistiqué, dans la pratique (Rowse, 1996 cité par). La quantité d'eau nécessaire pour obtenir une hydratation de la graine qui permet l'induction mais empêche l'émergence de la radicule est déterminée pour une

quantité de graines. Cette quantité d'eau est appliquée sur les semences sous forme d'une fine pulvérisation alors que les graines tournent lentement un tambour pour fournir une hydratation uniforme des semences. Le tambour est positionné sur une échelle qui pèse en permanence les graines, cette échelle est reliée à un ordinateur pour ajouter de l'eau si nécessaire afin de maintenir le poids de la graine hydratée comme prédéterminé. Autrement, les paramètres d'hydratation, la température et la durée sont similaires aux autres traitements d'induction.

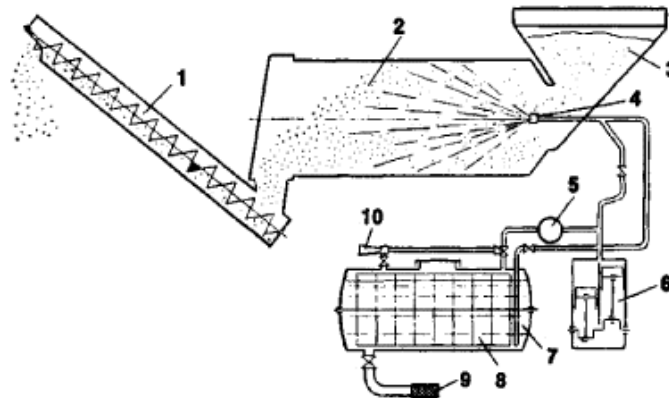


Figure 01-8. Appareil de traitement de semences en forme de Tambour: (1) déchargeur à vis sans fin, (2) tambour de mélange (3), trémie, (4) jet, (5) réducteur de l'air, (6) compresseur (7), réservoir de suspension de produits chimiques, (8) agitateur (9), tuyau avec filtre maille (10), pompe à éjecteur.



Figure 01-9. Appareils pour le traitement des semences

L'induction des semences est devenue un traitement de semences commercial très important (il existe même des appareils de différentes formes et dimensions conçus pour cette fin, figures 01-8 et 01-9), surtout pour les semences de grande valeur où la germination uniforme est requise. Afin de distinguer leur méthode, les entreprises commercialisent leurs

semences induites sous différentes appellations : *Germplus*, *Genesis*, *ActivaSeed*, etc. (Vallée et al., 1999).

La germination des semences induites est plus rapide et plus uniforme. Elle peut se reproduire sous des conditions de température et d'humidité plus flexibles, leur vigueur est donc supérieure à celle des semences non induites (Vallée et al., 1999).

6.2. Les modifications biochimiques induites par le priming :

Les effets positifs du priming sur les performances de germination de nombreuses espèces sont attribués à l'induction des mécanismes biochimiques de réparation cellulaire, la reprise de l'activité métabolique peut restaurer l'intégrité cellulaire, grâce à la synthèse des acides nucléiques (ADN et ARN), des protéines (Bewley et black, 1994) et l'amélioration du système de défense antioxydant.

Dans la synthèse des protéines, un mécanisme de compensation a été élucidé. La synthèse des protéines, une condition essentielle pour la germination, commence quelques minutes après l'hydratation (Cheung et al., 1979). A ce stade, l'osmoprimeur déprime la synthèse des protéines dans les tissus d'embryons et de réserve, comparativement aux semences trempées dans l'eau pendant le même temps. Ensuite, le priming induit un niveau plus élevé de synthèse de protéines dans les phases ultérieures de germination. En fait, Bray (1995) a montré que la quantité de protéine synthétisée observée 2 jours après la germination de la graine de poireau *induite* était la même que celle observée 4 jours après la germination de la graine non-induite.

D'autre part, le priming ne semble pas induire la synthèse de protéines spécifiques, comme cela a été démontré par l'analyse qualitative du profil des protéines dans les graines de pois (Dell'Aquila et Bewley, 1989).

6.3. Le priming et la lutte contre le stress salin :

Le traitement initial des grains avec les différents types d'hormones et les régulateurs de croissance est très efficace pour contrecarrer les effets négatifs de la salinité sur les plantes aux différents stades de croissance notamment au stade de croissance précoce, comme il a été montré qu'il augmente la germination des plantes cultivées sous conditions de stress salin (Ashraf et Foolad, 2005; Ashraf et al., 2008; Fercha et al., 2014).

De même, l'augmentation des taux d'émergence de semences traitées avec l'acide salicylique et exposées à un stress salin est probablement due un prélèvement renforcé de

l'oxygène et à une mobilisation efficace des nutriments depuis les tissus de stockage jusqu'à l'embryon (Karthiressan et al., 1984).

6.4. La germination et le métabolisme des acides aminés

De considérables inter-conversions d'acides aminés ont lieu au cours de l'hydrolyse des protéines durant la phase de germination. Ces inter-conversions contribuent à la production d'un spectre important d'acides aminés utilisés, soit pour la formation des protéines, soit dans la synthèse des métabolites clés (Gallardo et al., 2002). Les acides aminés les plus importants, chez la plupart des végétaux, sont l'aspartate, l'asparagine, la glutamine et le glutamate qui ont une fonction dans le transport et le stockage de l'azote (Bewley et Black, 1994; Lam et al., 1996). Au cours de la germination le transport de l'azote, des organes de réserve aux organes de croissance, est essentiellement sous forme de deux acides aminés, la glutamine et l'asparagine (Bewley et Black, 1994). Ils représentent plus de 70% des acides aminés dans la graine sèche et ont un rôle clé dans la synthèse des autres acides aminés et l'assimilation de l'ammonium toxique pour la cellule (Figure 01-10).

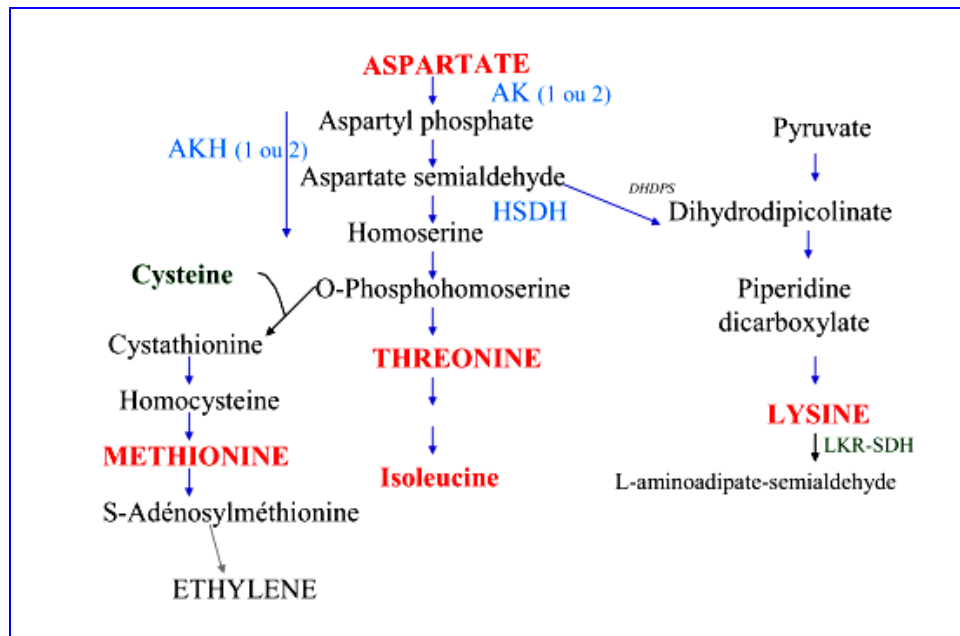


Figure 01-10. Diagramme simplifié de la biosynthèse des acides aminés de la voie de l'aspartate. AK : aspartate kinase, AKH : aspartate-kinase-homoserine-déshydrogénase, HSDH : homoserine-déshydrogénase, DHDPS : dihydrodipicolinate synthase, LKR-SDH : lysine kétoglutarate réductase saccharopine dehydrogenase.

6.4.1. La méthionine

La méthionine est un acide- α -aminé soufré non polaire, son atome de soufre participe à une fonction thioéther ($-S-CH_3$). Dans sa forme naturelle, la L-méthionine est un acide aminé protéinogénique. Dans le code génétique, la méthionine est spécifiée par le codon ATG sur l'ADN et par le codon AUG sur l'ARN. Elle joue un rôle critique dans la reproduction, la survie cellulaire, la méthylation des protéines et de l'ADN (Wikipedia, 2014).

Bien qu'elle n'a pas fait objet d'études approfondies, la méthionine semble jouer un rôle clé dans la germination des semences, comme cela a été démontré chez l'*Arabidopsis thaliana* (Galardo et al., 2002, Rajjou et al., 2011). En utilisant un inhibiteur spécifique de la biosynthèse de la méthionine, Galardo et al. (2002) ont trouvé que la germination des graines d'*Arabidopsis* devient quasiment impossible.

6.4.2. Rôles biologiques

La méthionine joue un rôle particulier dans la biosynthèse des protéines, puisque toutes les chaînes protéiques démarrent par l'incorporation d'une méthionine en position N-terminale. D'autres résidus méthionine peuvent ensuite être incorporés de manière interne à la chaîne polypeptidique. La première méthionine des protéines n'est pas toujours retrouvée dans les protéines terminées. Elle est en effet fréquemment clivée par une enzyme spécifique appelée méthionine aminopeptidase.

La méthionine joue aussi un rôle important dans les réactions cellulaires de méthylation. L'activation du soufre du groupement $-S-CH_3$ dans la S-adenosylméthionine fait du méthyle un bon groupement partant qui peut alors être transféré sur divers substrats par des méthyltransférases. Cet acide aminé est aussi utilisé par les plantes pour synthétiser l'éthylène. Ce processus est connu sous le nom de Cycle de Yang ou cycle de la méthionine (Figure 01-11).

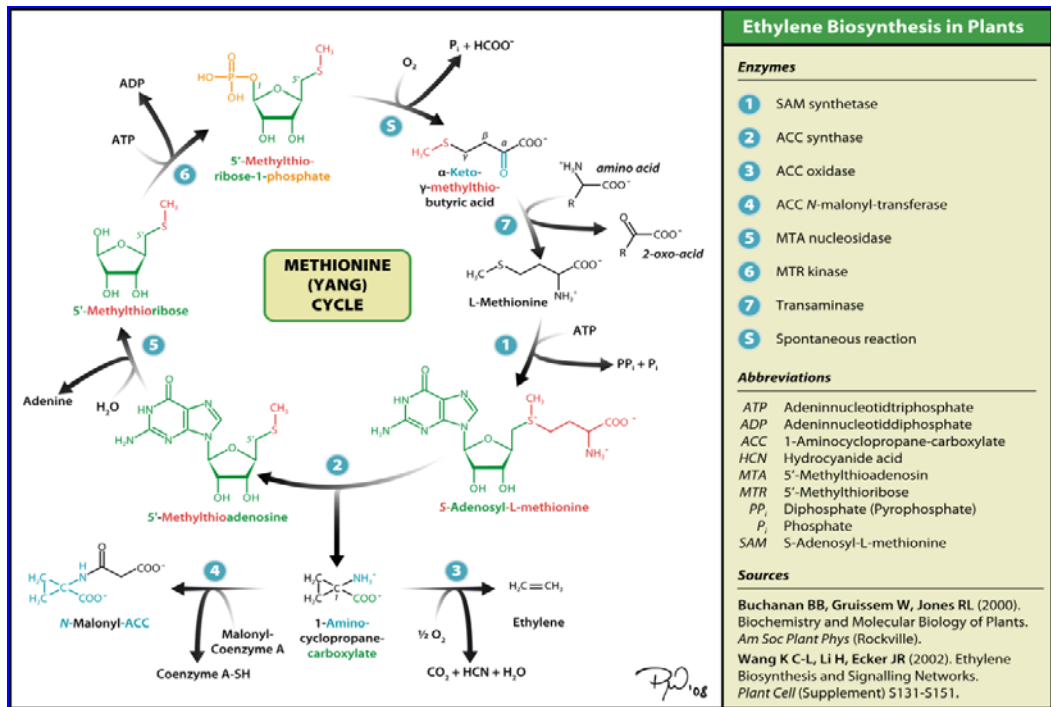


Figure 01-11. Le cycle de Yang. Figure extraite du site www.wikipedia.com en 2014.

II. Généralité sur le blé

1. Introduction

Le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*, Desf.) est l'un des céréales les plus cultivées sur terre. Il représente environ 8% des superficies de blé. Il est cultivé approximativement sur 17 millions d'hectares dans le monde (Ykhlef et al., 2007), et dont 70 % de cette surface est localisée dans la région du bassin méditerranéen. Dans cette région la salinité est l'un des facteurs qui limitent la productivité des plantes. En termes de production commerciale et d'alimentation humaine, cette espèce est la deuxième plus importante du genre *Triticum* et présente une source importante de protéines (Djermoun, 2009).

En Algérie, la filière céréalière (essentiellement le blé dur) constitue une des principales filières de la production agricole, elle occupe environ 80% de la superficie agricole utile du pays. Les produits céréaliers et leurs dérivés occupent une place stratégique dans le système alimentaire algérien, et ils fournissent plus de 60% de l'apport calorifique total requis par l'organisme et de 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire. Du moment que la production céréalière en Algérie est fortement dépendante des conditions climatiques, d'importantes variations de la production et du rendement sont enregistrées d'une année à l'autre (Djermoun, 2009).

2. Définition du blé :

Le blé est une plante herbacée, appartient à la famille des graminées (*Poaceae*) et la classe des monocotylédones. Il correspond à la sous espèce *Triticum Turgidum ssp. Durum* Desf, et se présente sous diverses formes et variétés. La plante adulte possède un brin maître et une ou deux talles. Chaque tige se termine par des épis blancs, parfois roux, portant 12 à 15 épillets chacun. Chaque épillet contient 2 ou 3 fleurs fertiles capables de s'autoféconder, entraînant ainsi la formation d'un grain (Zahid, 2010).

3. Origines génétiques et géographiques et air de culture de blé dur :

Le bassin méditerranéen est l'un des principaux centres mondiaux de diversité des plantes. Au moins 84 espèces cultivées dont le blé dur se sont développées à partir de leurs espèces parentales primitives dans cette région (Croston et Williams, 1981). Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) est une espèce très ancienne (10 000 ans) (Shewry, 2009). Elle est issue de croisement entre des formes sauvages *d'Aegilops spletoïdes* et *Triticum monococcum* L. que l'on trouve encore aujourd'hui sous forme d'herbes sauvages au Proche

Orient (Croston et Williams, 1981). Les blés forment une série polyploïde et l'analyse génomique a montré que les modifications révolutionnaires survenant au cours de la formation de l'allopolyploïdie et conduisant à des diploïdisations cytologique et génétique rapides a joué un rôle essentiel dans l'apparition du blé dur de formule génomique AABB ($2n=4x=28$) (Feldman et Levy, 2009).

L'aire de culture du blé dur actuelle couvre les parties chaudes et sèches du moyen orient, de l'Afrique du Nord, l'Europe méditerranéenne et le nord des grandes plaines de l'Amérique du nord.

En Algérie, sa culture se développe essentiellement dans le nord du pays à partir de l'isohyète 350 mm. Cette zone est relativement favorable au développement de cette espèce quoiqu'elle se caractérise par des contraintes comme la sécheresse et les températures extrêmes spécifiques au climat méditerranéen.

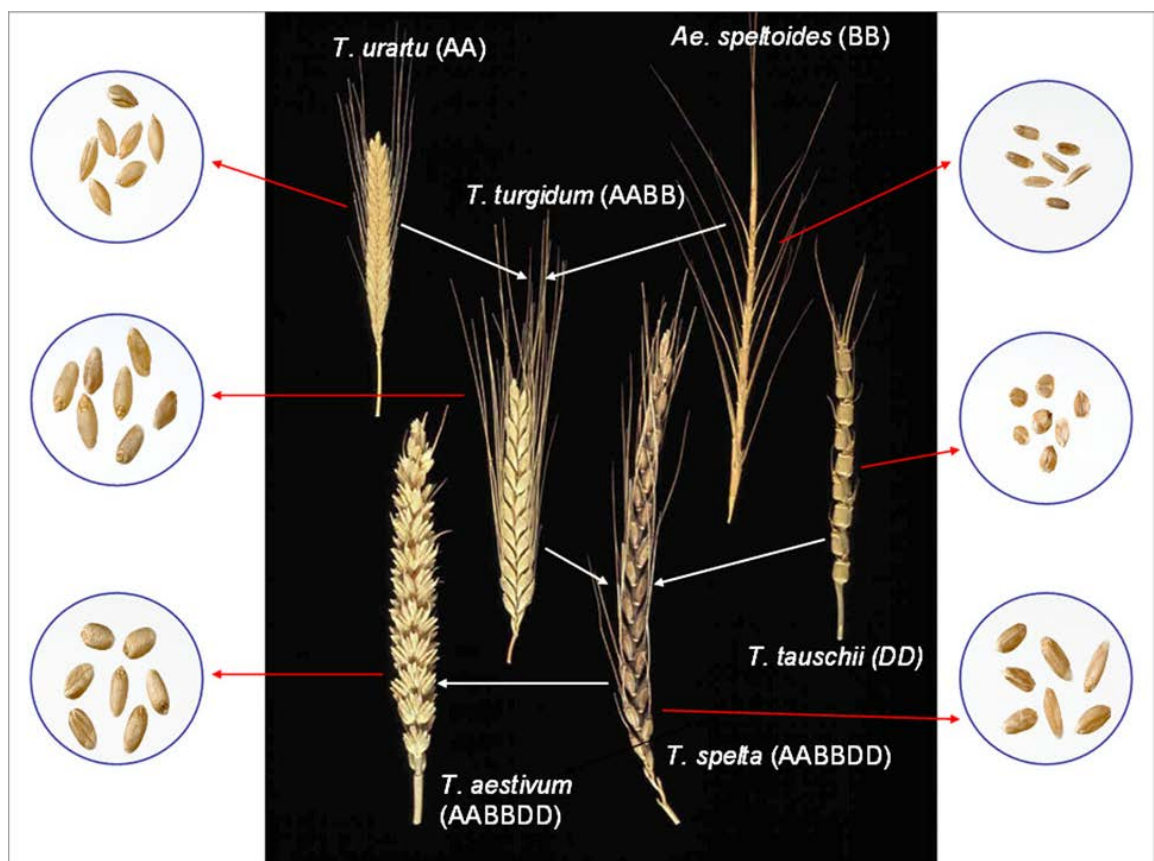


Figure 01-12: Relations évolutives entre les génomes des différents types de blé cultivés et sauvages (Shewry, 2009).

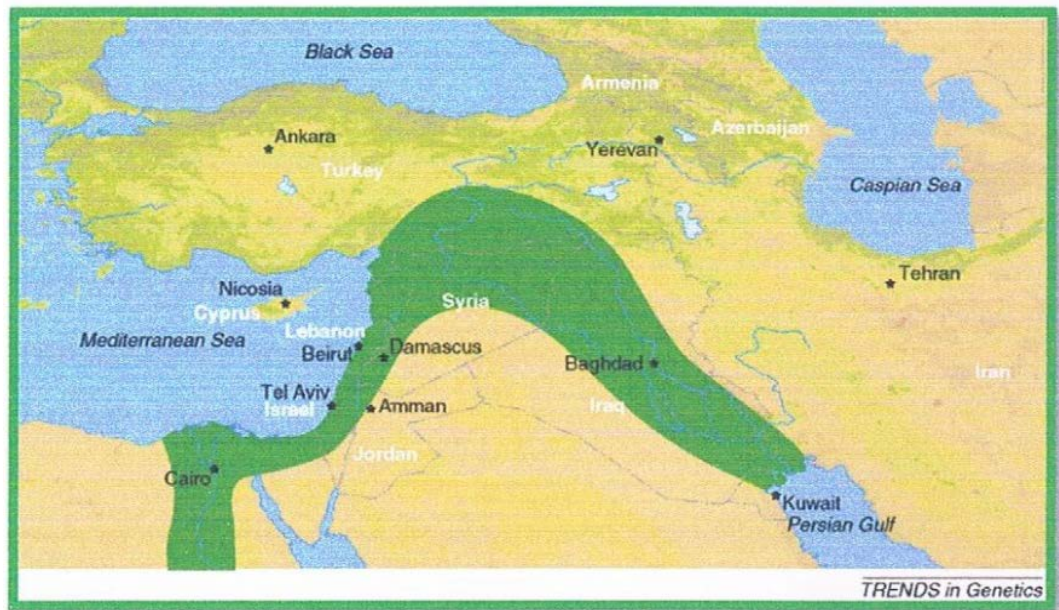


Figure 01-13 : Origine géographique du blé (Feuillet et al, 2008)

4. La classification :

| Règne | Planta |
|--------------|----------------|
| Sou-règne | Tracheobionta |
| Division | Magnoliophyta |
| Classe | Liliopsida |
| Sous-classe | commelinidae |
| Ordre | Cyperales |
| Famille | Poaceae |
| Sous-famille | Pooideae |
| Tribu | Triticeae |
| Genre | Triticum |
| Espèce | Triticum durum |

5. Morphologie et cycle végétatif de blé dur :

5.1. Morphologie de la plante

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) est une plante herbacée annuelle, monocotylédone, à feuilles alternes, des fleurs nombreuses, petites et peu visibles, les tiges ou chaumes sont cylindriques, souvent creuses, la graine est un fruit particulier (caryopse), il contient 65 à 70% d'amidon ainsi qu'une substance protéique (le gluten) (Belhacen et al. 1996). L'embryon ou le germe est la partie essentielle de la graine permettant la reproduction de la plante.

5.2. Appareil végétatif :

❖ Les racine: On deux sortes de racines

Les racines primaires ou séminales issues de la semence qui se développent au moment de la germination: la radicule qui débouche la 1^e; puis la 1^e paire de racines qui va sortir en même temps ; et la 2^e paire racinaires. Ces racines qui sont constitués que de tissus primaire vont nourrir la plantule jusqu'au stade tallage.

Un système racinaire fasciculé assez développe, (racines adventifs ou coronaires) ; qui sont produites par le développement de nouvelles talles (Soltner, 1990). Elles peuvent atteindre jusqu'à 1m 50.

❖ La tige:

Sont des chaumes, cylindriques, souvent creux par résorption de la moelle centrale mais chez le blé dur est pleine. Ils se présentent comme des tubes cannelés, avec de longs et nombreux faisceaux conducteurs de sève. Ces faisceaux sont régulièrement entrecroisés et renferment des fibres à parois épaisses, assurant la solidité de la structure. Les chaumes sont interrompus par des nœuds qui sont une succession de zones d'où émerge une longue feuille.

❖ les feuilles :

Engaine la tige puis s'allonge en un limbe étroit à nervures parallèles lancéolé, issues chaque une d'un nœud ; compte à la gaine est un cylindre qui permet d'attacher le limbe au nœud le plus bas son rôle est chlorophyllien et conservation d'eau et d'air et avant l'allongement des talles les gaines protégeant l'apex qui se trouve en cercle concentrique au plateau de tallage ;

L'oreillette ou stipules sont des organes membranaire dépourvus de chlorophylle dot le rôle n'est pas encore bien déterminer (elles forment des joins empêchant particulièrement l'eau de pluie ou de rosé de s'infiltrer à l'intérieur de la gaine) ; la ligule est un organe membranaire qui se forme à l'adjonction entre le limbe et la gaine (Prats et al. 1971). Chez toutes les graminées la présence et la forme des oreillettes ou stipules et de La ligule, permet de déterminer l'espèce avant l'apparition de l'épée (Soltner, 1990).

5.3. Appareils reproducteurs :

❖ L'épi de blé :

L'inflorescence du blé dur est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entrenœuds (Bozzini, 1988). Chaque épillet compte deux glumes (bractées) renfermant de deux à cinq fleurs distiques sur une rachéol. Un épillet regroupe de deux à cinq fleurs, et souvent trois fleurs à l'intérieur de deux glumes. Chaque fleur est dépourvue de pétales, et est entourée de deux glumelles (pièces écailleuses non colorées). Elle contient trois étamines qui ont la forme en x (pièces mâles), un ovaire surmonté de deux styles plumeux dichotomique (les pièces femelles). La fleur du blé est dite Cléistogame (Prats, 1966). C'est-à-dire que, le plus souvent, le pollen est relâché avant que les étamines ne sortent de la fleur. Il s'attache alors au stigma, où peut se produire la fécondation. À cause du caractère cléistogame de la fleur, l'autofécondation est le mode de reproduction le plus fréquent chez les blés : les anthérozoïdes (ou spermatozoïdes) issus du pollen d'une fleur qui fécondent l'oosphère et la cellule centrale du sac embryonnaire de l'ovaire de cette même fleur (les cellules sexuelles femelles sont ce sont protégées dans un sac embryonnaire fermé au sein d'un ovule).

❖ Le grain de blé :

Le grain de blé est un caryopse nu (Soltner, 2005) constitué d'un albumen représentant 80 à 85% du grain, d'enveloppes de la graine et du fruit (13 à 17% du grain) tandis que le germe n'est composé que de 3%. Après fécondation, l'ovaire donnera le grain de blé. Dans le cas du blé, le grain est à la fois le fruit et la graine. En effet, Les enveloppes du fruit sont soudées à celles de la graine.

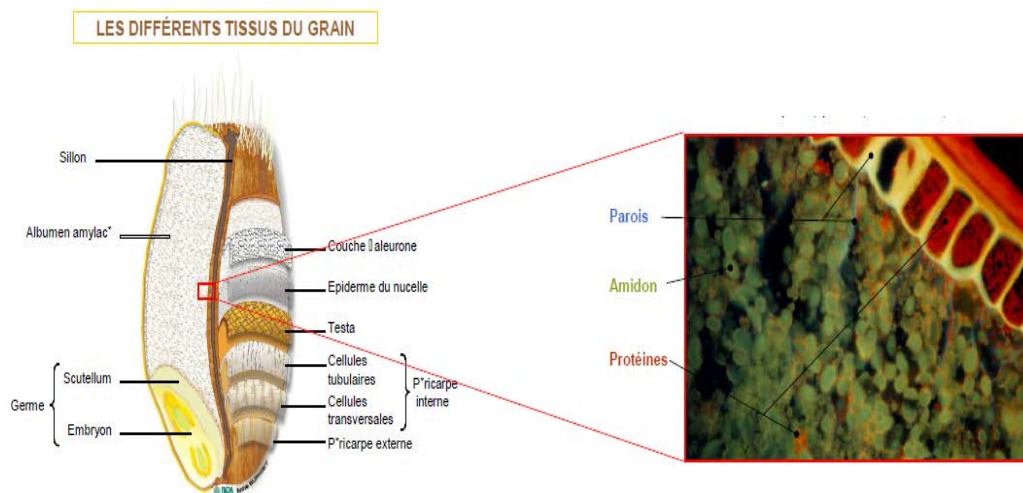


Figure 01-14 : Différents tissus d'un grain de blé (selon BIA et Service communication)

Le grain de blé est un fruit particulier, le caryopse. L'enveloppe externe est adhérente à la matière végétale de la graine et la protège des influences extérieures. Au cours de la mouture, les enveloppes (téguments) sont parfois séparées du grain (embryon + albumen) et commercialisées en tant que son. Le grain contient 65 à 70 pour cent d'amidon ainsi qu'une substance protéique (le gluten) dispersée parmi les grains d'amidon. Le gluten est responsable de l'élasticité de la pâte malaxée ainsi que de la masticabilité des produits à base de céréales cuits au four. Cette viscoélasticité permet de faire du pain de qualité : les bulles de CO₂ dégagées lors de la dégradation anaérobie de l'amidon par les levures sont piégées dans le réseau de gluten à la fois tenace et élastique (la pâte "lève").

L'embryon ou germe est la partie essentielle de la graine permettant la reproduction de la plante : en se développant il devient à son tour une jeune plante. Du fait qu'il contient beaucoup de matières grasses (environ 15%) ou d'huiles et qu'il pourrait donc rancir, le germe est souvent éliminé lors du nettoyage des grains. Les embryons de céréales sont vendus dans les boutiques de diététique car ils sont considérés comme très sains en raison de leur haute teneur en sels minéraux, vitamines, protéines et huiles.

6. Cycle évolutif du blé : (stades et phase repères)

6.1. Germination-levée :

Cette phase correspond à la mise en place du nombre de pieds/m². Le sol est percé par le coléoptile qui est un étui protecteur de la première feuille. La levée est notée quand 50% des plantes sont sorties de la terre. (Figure 2) Pendant Cette Phase, les jeunes plantes sont sensibles au manque d'eau qui provoque une perte des plantes et au froid qui provoque le déchaussage (Karou et al., 1998).

6.2. Tallage :

Cette Phase s'amorce à partir de la quatrième feuille. Le début du tallage est marqué par l'apparition de l'extrémité de la première feuille de la talle latérale Primaire puis d'autres talles naissent successivement à l'aisselle des 2^{ème} et 3^{ème} feuille de la tige centrale, l'ensemble restant court nouer, formant un plateau de tallage situé au niveau du sol. Ces talles primaires peuvent ensuite émettre des talles secondaires, lesquels à leur tour émettent des talles tertiaires (Belaid, 1986). Le fin tallage est celle de la période végétative, elle marque le début de la Phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Gâte, 1995).

6.3. Montaison- gonflement

Elle se manifeste, à partir du stade épi à 1cm, par l'élongation du premier entrenœud. Ce stade est repérable une fois l'ébauche de l'épi du brin-maitre atteint 1cm de hauteur à partir de la couronne ou plateau de tallage (Gate, 1995). Ce stade est sensible aux basses températures selon (Baldy, 1974) la montaison constitue la phase la plus critique du développement du blé. Cette phase s'achève une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieure du gain de feuille étendard qui gonfle (stade gonflement).

6.4. Epiaison-floraison

L'épiaison se détermine par l'apparition de l'épi hors de la gaine de dernière feuille .les épis dégainés fleurissent généralement entre 4 a 8jours après l'épiaison (Bahlouli et al, 2005).



Figure 01-15 : floraison de blé dur, <http://covoiturage.uni-mrs.fr>

6.5. Remplissage du grain

Après la fécondation, l'évolution du poids du grain se fait en trois étapes. La première est une phase de multiplication des cellules du jeune grain encore vert, dont la teneur en eau est élevée. Suit la phase de remplissage actif du grain avec les assimilâtes provenant de la photosynthèse de la feuille étendard et le transfert des hydrates de carbone non structuraux stockés dans le col de l'épi (Wardlaw, 2002).

Tableau 01- 2 : Durée des différents stades de la croissance du blé (INRA, 2011).

| Différents stades | Durée approximative en jours |
|--------------------------------|------------------------------|
| levée - stade à trois feuilles | 70 |
| Tallage | 60 |
| Montaison | 30 |
| Epiaison | 30 |
| Floraison | 15 |
| formation du grain | 45 |

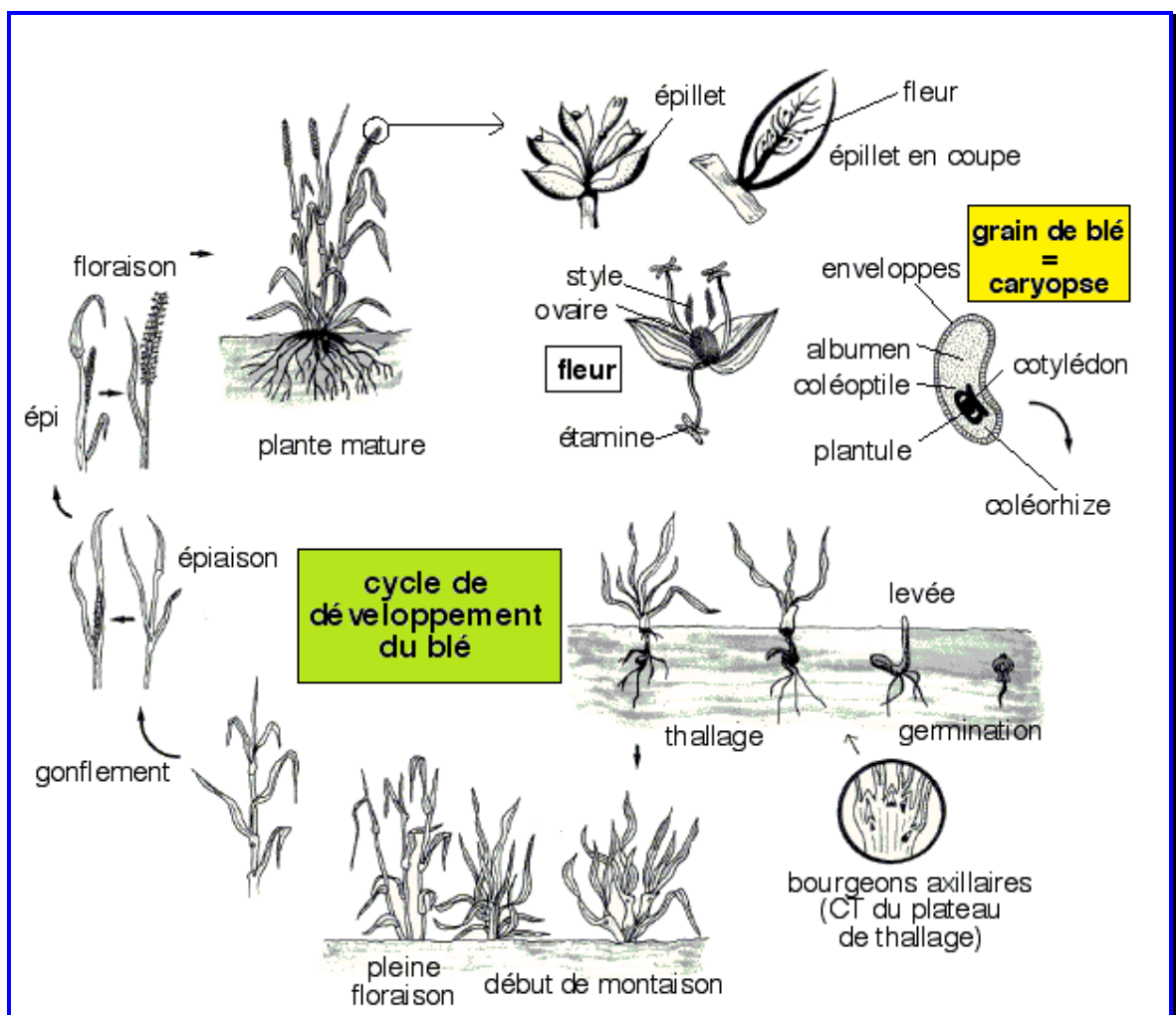


Figure 01-16 : Cycle de développement de Blé (d'après Henry et De Buyser, 2000).

7. Facteurs influent sur la production du blé dur :

7.1. Climat

Les variations interannuelles de la production de blé sont dues principalement aux conditions climatiques qui varient chaque année et qui jouent un rôle dominant sur les fonctions de croissance et de développement (Gate, 1995).

7.1.1. Faibles températures

La température est la caractéristique environnementale fondamentale qui contrôle le développement des plantes. Ainsi, le gel printanier a un effet exceptionnel sur la culture du blé dans les hauts plateaux. Il peut survenir de fin Novembre à début Mai, dès 1000m d'altitude. Les gelées sont à craindre pendant la formation de l'épi, et par les cultivars précoces, un an sur deux pendant la phase floraison début du stade grain laiteux (Baldy, 1974).

Le stade coléoptile correspond à une phase critique, et la résistance au froid élevé peut s'exprime dès l'apparition de la première feuille (Roberts et al., 1979). Cette résistance potentielle chute brusquement à partir du début de l'élongation de la tige, et le jeune épi en formation devient très sensible. Les jeunes organes sont plus résistants au froid grâce à une forte concentration en sucres solubles dans leurs cellules. Au stade coléoptile, les plantules sont particulièrement sensibles par suite d'une déficience en chlorophylle, mais au stade début tallage, les dégâts sont moins importants.

A partir du stade épi 1cm, la culture redevient sensible aux basses températures, parce que d'une part les jeunes épis entrent en phase de croissance active et d'autre part l'endurcissement de la plante arrive à son terme. Outre le stade végétatif, on admet l'existence de différences de résistance au froid entre génotypes, mais ils ne s'expriment pleinement qu'après endurcissement (Couvreur et al., 1979). Plusieurs facteurs entrent en jeu : le type de sol, sa teneur en humidité, la nébulosité, la vitesse du vent, l'humidité de l'air, la topographie et la densité et la hauteur de la culture ont un effet sur cet accident et l'importance de ses dégâts.

7.1.2. Sécheresse et hautes températures

En conditions méditerranéennes, la recherche d'une plus grande précocité a été souvent le moyen le plus utilisé pour éviter les effets du déficit hydrique de fin de cycle. Néanmoins, en zone continentale d'altitude, la précocité a été associée à la réduction de la

productivité du fait du raccourcissement du cycle ; à l'augmentation des risques de gel et à la réduction de la taille du système racinaire qui entraîne une faiblesse dans l'utilisation de l'eau par la plante (Austin et al., 1977).

La sécheresse est très variable en intensité; elle peut se déclarer à n'importe quel stade du cycle de la plante, du semis à la maturité (Benlaribi, 1984). Le blé aura un bon développement pendant les périodes de bonne alimentation en eau lors du tallage, mais souffrira pendant la formation des épis et sera très sensible au sirocco et au manque d'eau en fin de cycle.

Le sirocco constitue un phénomène extrêmement sérieux, avec souvent une durée de plus de 30 jours/ans, son effet sur les céréales est particulièrement néfaste (Baldy, 1974 ; Belaid, 1986). Il réduit fortement le poids du grain qui prend des contours angleux, et un aspect plus ou moins flétri. Il est d'autant plus craindre que le semis soit plus tardif, les réserves en eau du sol plus faible, et la plante prédisposée (maladies, mauvaise installation). Les siroccos précoces accélèrent la croissance, mais une gelée blanche peut souvent les suivre et provoquer des dégâts.

8. Les zones de production du blé dur en Algérie :

La culture des céréales est pratiquée sur une aire géographique, très variable du point de vue climat, allant du subhumide à l'aride, avec une forte concentration de près de 05% dans la franche 300- 400 mm, qui marque d'une profonde empreinte la production, qualitativement et quantitativement (Mekhlouf, 1998).

Cette répartition est souvent faite au détriment d'autres cultures qui seraient mieux appropriées à certaines régions, c'est le cas des cultures pérennes et usagères (Mara, 1992).

La majeure partie des emblavures céréalières se trouve donc concentrée sur les hautes plaines. Cette région se caractérise par de l'altitude (900 à 1200 m), des hivers froids un régime hydrique irrégulier et faible (Baldy, 1974). La superficie cultivable empiète sur cinq grands ensembles qui se différencient surtout par le cumul annuel des pluies qui déterminent dans une large mesure le potentiel de production.

Les hautes plaines sont soumises à la triple influence de l'Atlas tellien, qui limite les précipitations hivernales de l'Atlas saharien, qui est à l'origine de vents secs et desséchants intervenants dès le printemps, et de l'altitude qui entraîne des gelées tardives (Baldy, 1974).

Ces contraintes climatiques limitent du potentiel de production de ces zones, accentué par le fait que la céréaliculture est conduite en pluviale. Le déficit hydrique coïncide avec les stades végétatifs déterminants ou les besoins de la plante en eau deviennent intenses (Tableau 01-3, Oudina et al., 1998).

Tableau 01-3 : caractéristiques des grandes zones de production des céréales Algériennes

| Zones | pluie (mm) | céréales (10 ³ ha) | Jachères (10 ³ ha) | stress |
|---------------------|------------|----------------------------------|----------------------------------|--------|
| Littoral | >600 | 64 | 0 | néant |
| Plaines intérieures | 450-600 | 850 | 400 | gel |
| Hauts plateaux | 350-450 | 1500 | 900 | 900 |
| Steppe | 200-350 | 400 | 0 | sec |
| Montagne | 350-600 | 300 | 0 | -- |

9. Importance du blé dur :

9.1. Dans le monde

Les blés constituent la première ressource en alimentation humaine, et la principale source de protéines. Ils fournissent également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et de multiples applications industrielles (Bonjean et Picar, 1990). La presque totalité de la nutrition de la population mondiale est fournie par les aliments en grain dans 95 % sont produits par les principales cultures céréalières. Le blé dur représente environ 8 % des superficies cultivées en blés dans le monde dont 70 % sont localisées en conditions méditerranéennes (Monneveux, 2002). La Turquie, la Syrie, la Grèce, L'Italie, Espagne et les pays d'Afrique du Nord sont, en effet, parmi les principaux producteurs (Merah et al., 1999).

Le conseil international des céréales (CIC) évalue la production mondiale de blé dur pour 1999-2000 à 32,5 Mt, comparativement aux 36,7 Mt produits en 1998-1999. Les stocks des trois principaux exportateurs de blé dur, le Canada, l'Union Européenne et les États-Unis, ont chuté de 1,1 Mt pour atteindre 3,1 Mt comparativement à la moyenne décennale de 4,2 Mt. Pour 1999-2000, les échanges mondiaux de blé dur sont évalués à 6,5 Mt, en hausse par rapport aux 6,3 Mt enregistrés en 1998-1999 (Tableau 01-4).

En Europe, des rendements très élevés sont obtenus en culture intensive. Le rendement moyen est passé de 30 à 60 quintaux par hectare durant les 30 dernières années, soit une progression moyenne de 1 quintal/ha/an. En France, les gains sont remarquables: la production actuelle s'élève à 100 quintaux/hectare chez les agriculteurs les plus performants. L'augmentation des rendements et des surfaces cultivées ont conduit à un fort accroissement de la production qui se situe entre 300 et 400 Mt durant la dernière décennie.

9.2. En Algérie :

Le blé dur occupe une place centrale dans l'économie algérienne. Il couvre 1, 5 million hectares sur les 3 million hectares consacrés à la céréaliculture. Les rendements sont faibles et irréguliers, ils sont de l'ordre de 8q/ha (Figure ci-dessous). La production couvre près de 41 % des besoins national. En effet les capacités productives du blé dur sont relativement moins bonnes que celles du blé tendre ou de l'orge puisque sur plus de 120 ans (1876 à 1996), la moyenne nationale de rendement en grains de blé dur est de 5,5 q/ha.

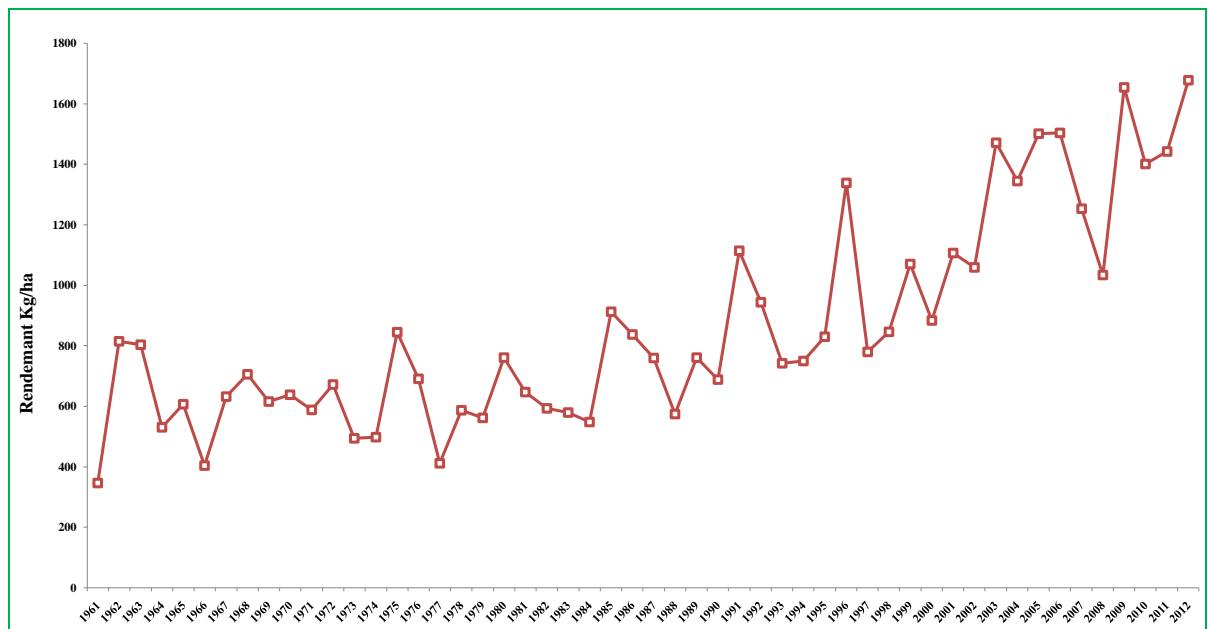


Figure 01-17 : Rendement en grains de blé dur en Algérie depuis l'indépendance jusqu'à 2012 (selon la banque mondiale).

Tableau 01-4 : Rendement des céréales en Algérie et d'autres pays .

| Noms de pays | Indicateurs | Les années | | | | |
|----------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
| Algérie | Rendement des céréales (Kg/H) | 1034,07 | 1653,94 | 1401,12 | 1442,42 | 1677,56 |
| Egypte | Rendement des céréales (Kg/H) | 7474,56 | 7158,34 | 6505,92 | 7247,02 | 7693,42 |
| Espagne | Rendement des céréales (Kg/H) | 3580,84 | 2938,60 | 3230,87 | 3707,83 | 2885,69 |
| France | Rendement des céréales (Kg/H) | 7289,07 | 7455,40 | 6970,03 | 6830,52 | 7523,92 |
| Maroc | Rendement des céréales (Kg/H) | 1002,84 | 1919,26 | 1547,51 | 1614,43 | 1016,75 |
| Tunisie | Rendement des céréales (Kg/H) | 1476,39 | 1880,02 | 1880,02 | 1699,11 | 1674,33 |

Source : la banque mondiale.



Matériel et Méthodes



1. Matériel végétal et traitements :

La variété de blé dur (*Triticum durum* Desf., var. Waha) utilisé dans le présent travail a été fournie gracieusement par l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif. Waha (W) est une sélection récente de l'ITGC. C'est une variété alternative, de type printemps, deminaine et précoce à l'épiaison (Mekhlouf et al. 2006). Elle est moyennement tolérante à la salinité (Fercha et Gherroucha, 2014). Elle présente les meilleurs rendements dans la presque totalité des environnements (Le bassin méditerranéen) (Hafsi et al. 2001).

Le prétraitement des semences a été effectué selon la méthode de Jafar et al. (2012). Le rapport entre le poids des semences et le volume de la solution de trempage est de 1:5 (g mL⁻¹). Pour chaque traitement, une quantité (5 g, par exemple) de semences est trempée dans 25 mL de méthionine (0,5; 1 ou 10 mmol L⁻¹) pendant 12 h. Durant toute la période de trempage, l'aération a été assurée par le changement de la solution (deux ou trois fois). Après trempage, les semences sont lavées trois fois de suite avec de l'eau distillée, puis re-séchées avec un sèche-cheveux, jusqu'à obtention du poids initial. Les semences sèches non traitées sont considérées comme témoin.

2. Essai de germination :

Les semences de blé traitées ou non, sont d'abord stérilisées avec de l'hypochlorite de sodium (5% p/v) pendant 3 min, lavées plusieurs fois avec de l'eau stérile et desséchées à l'air. Trente graines sont placées dans chaque boîte de Pétri contenant deux couches de papier filtre (papier Whatman n °1) préalablement humidifié avec 10 ml de solution saline (NaCl 150 mmol L⁻¹) ou de l'eau distillée (témoin). Les semences sont mises à germer dans l'obscurité dans une chambre à température contrôlée qui s'est tenue à 24 ± 0,5 °C pendant 7 jours (Fercha et al., 2014).

Tableau 02-1 : Récapitulatif des traitements réalisés

| | | <u>Traitement</u> | | | | | |
|------------------|-----|-------------------|--------|--------|---------------|--------|--------|
| | | H ₂ O | | | NaCl (150 mM) | | |
| Méthionine Mm | 0 | T0S0R1 | T0S0R2 | T0S0R3 | T0S1R1 | T0S1R2 | T0S1R3 |
| | 0.5 | T1S0R1 | T1S0R2 | T1S0R3 | T1S1R1 | T1S1R2 | T1S1R3 |
| | 1 | T2S0R1 | T2S0R2 | T2S0R3 | T2S1R1 | T2S1R2 | T2S1R3 |
| | 10 | T3S0R1 | T3S0R2 | T3S0R3 | T3S1R1 | T3S1R2 | T3S1R3 |

T= traitement, S= stress, R= répétition.

3. Analyse de la germination

Le comptage des semences germées a été effectué chaque jour jusqu'à la fin de l'expérience (germination de toutes les semences dans l'une des boîtes)

* **le pourcentage final de germination** : le PFG a été calculé selon l'équation suivante :

$$\text{PFG} = \frac{n}{N} \times 100$$

où n st le nombre de graine germés et N le nombre total des graines semis

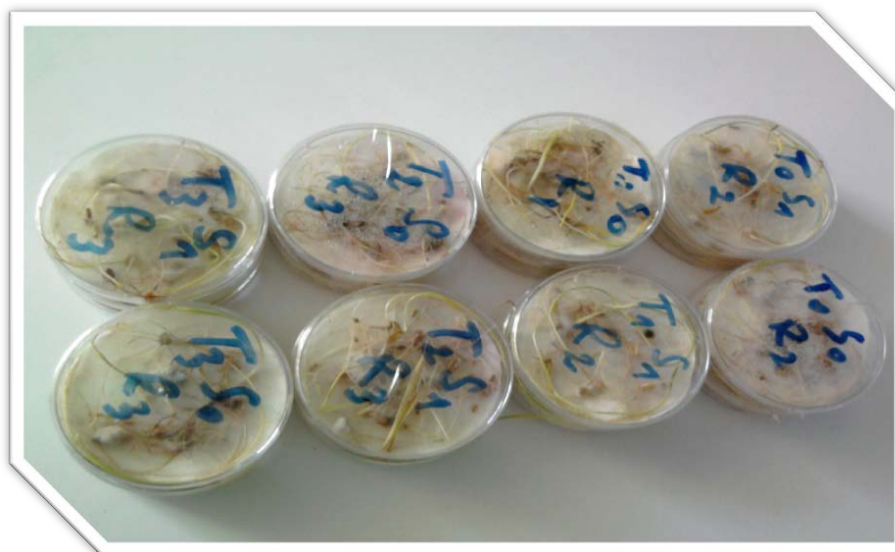


Photo 02-1 : La germination des semences traitées et non traitées (après 7 jours).

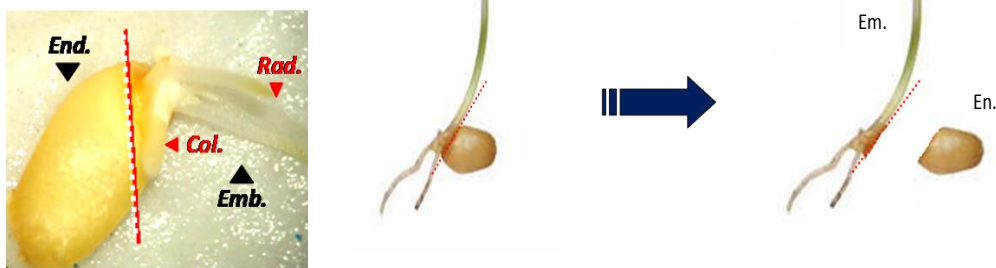


Figure 02-1 : Séparation de l'embryon du reste de la semence.

* *le temps moyen de germination* (TMG) : Le temps moyen de germination est calculé de la manière suivante :

$$\text{TMG} = \frac{\sum_{i=1}^{i=7} n_i t_i}{N}$$

où n_i est le nombre de graines germées au temps t_i (i allant de 1 à 7) et N le nombre de graines germées à la fin de l'essai.

4. Paramètres de croissance :

4.1. La biomasse de l'embryon :

La détermination des poids frais et secs des embryons/plantules (Figure 2-1), a été faite en utilisant une balance analytique et une étuve.

4.2. La croissance en longueur:

La détermination de la longueur des racicules et des coléoptiles, a été faite à l'aide d'un pied de coulisse digitale (Digital caliper < 0-150 mm>).

5. Paramètres physiologiques et biochimiques :

5.1. Teneur relative en eau TE:

Les embryons coupés à la base (figure 2-1), ont été immédiatement pesés pour déterminer le poids frais (PF). Les embryons sont ensuite placés dans un tube à essai contenant de l'eau distillée, puis maintenu à l'obscurité à 4°C pendant 24 heures. Ces embryons sont récupérés et essuyés délicatement avec un papier buvard et pesés à nouveau pour déterminer le poids en pleine turgescence (Ppt). Le poids sec (PS) est déterminé après passage des embryons dans une étuve pendant 48 heures à 80°C. La TRE est calculé suivant la formule suivante :

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

5.2. La mobilisation des réserves :

La mobilisation des réserves au cours de germination est une étape essentielle dans la mesure où elle permet de soutenir la croissance de la plantule pendant les premiers stades de son développement. La sensibilité de cette phase au stress salin est estimée par la quantité de matière sèche résiduelle du grain après 7 jours de germination (Figure 2-1).

5.3. Dosage des protéines solubles dans l'embryon

50 mg de grains de blé sont broyés dans un bain de glace avec 5 ml d'eau distillée. Après centrifugation (10 min à 2000 g), le surnageant contenant des protéines solubles a été récupéré. La concentration en protéines solubles est déterminée par la méthode de Bradford (1976). Les mesures d'absorbance sont effectuées à une longueur d'onde de 612 nm (Hayat et Ahmad, 2003). Les concentrations de protéines solubles ont été déterminées en utilisant une courbe d'étalonnage (Figure 2-2) obtenue sur des solutions utilisant différentes concentrations de BAS (0-250 µg/mL).

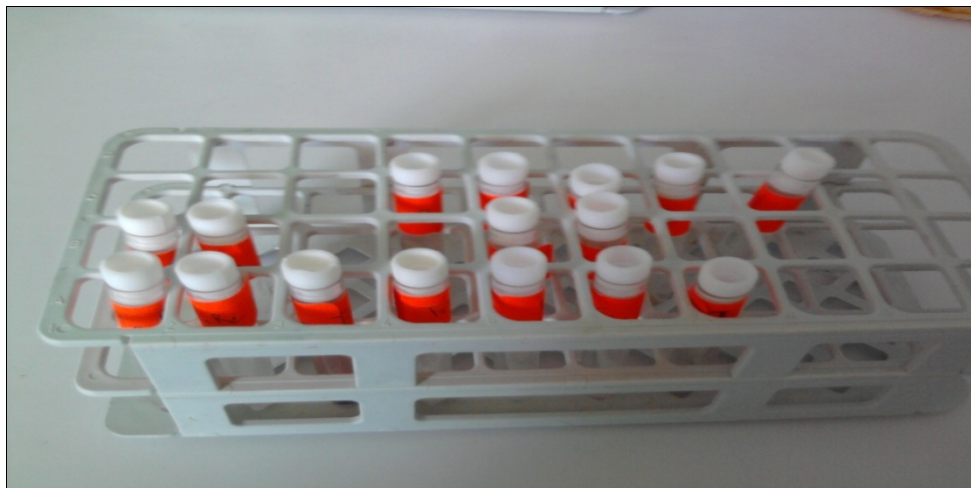


Photo 02-2 : Dosage des protéines solubles dans l'embryon

5.4. Dosage des sucres solubles (WSC) dans l'embryon :

Les sucres solubles (water soluble carbohydrates, WSC) ont été déterminés suivant la méthode de [Dubois et al. \(1956\)](#) ou la méthode dite de *phénol/acide sulfurique*. A 50 mg de matière fraîche, placés dans des tubes à essai propres, sont ajoutés 3 ml d'éthanol à 80 % pour l'extraction des sucres. Les tubes sont laissés à température ambiante et à l'abri de la lumière pendant 48 heures.

Au moment du dosage, les tubes sont placés dans une étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool. 20ml d'eau distillée sont ajoutés par la suite, à chaque tube, pour obtenir la solution à analyser.

Dans des tubes à essai propres, 1ml de la solution à doser est introduit et auquel est ajouté 1ml de solution de phénol à 5 %. Les tubes sont soigneusement agités. Par la suite, 5ml d'acide sulfurique concentré sont ajoutés à l'aide d'une burette dont le jet tombe brutalement sur la surface du liquide.

Après passage au bain marie 30 °C (30 minutes), les mesures d'absorbance sont effectuées à une longueur d'onde de 485nm. La concentration des la sucres solubles dans l'eau est déterminée à l'aide d'une courbe d'étalonnage obtenu on utilisant le glucose pur (0-0.1 mg/ml).

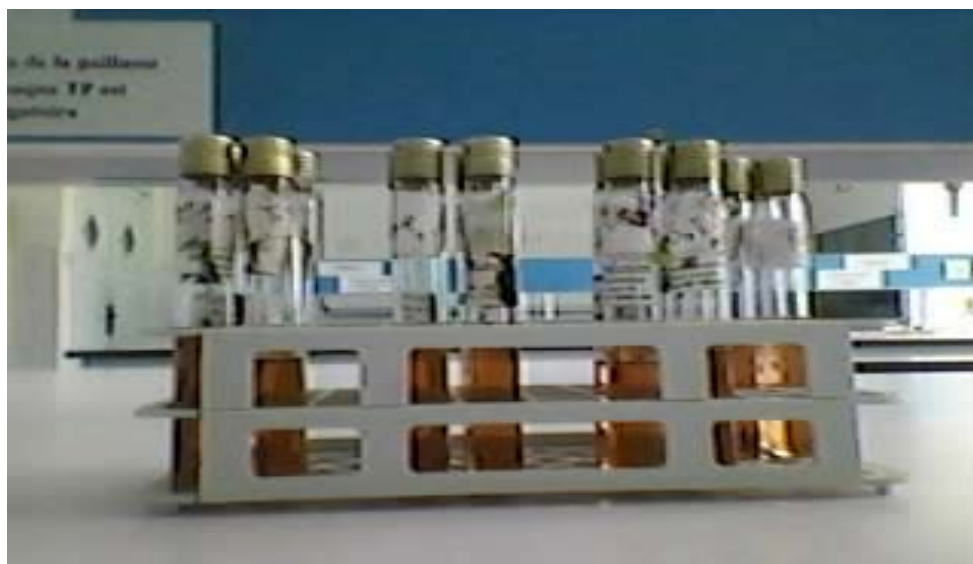


Photo 02-3 : Dosage des sucres solubles (WSC) dans l'embryon

5.5. Dosage de la proline dans l'embryon

La technique utilisée est celle de [Troll et Lindsay \(1955\)](#), simplifiée et mise au point par [Drier et Goring \(1974\)](#). Elle consiste à prendre 50 mg du matériel végétal (1/3 médian de la feuille), puis ajouter 2 ml de méthanol à 40 %, le tout est chauffé à 85°C dans un bain-marie pendant une heure. Après refroidissement, on prélève 1 ml d'extrait auquel on ajoute :

- 1ml d'acide acétique
- 25mg de ninhydrine.
- 1 ml d'un mélange contenant : eau distillée, l'acide acétique et l'acide ortho-phosphorique (v : v : v et 15 :37.5 :1)

Le mélange est porté à ébullition durant 30 minutes, la solution vire au rouge. Après refroidissement, on ajoute 5ml de toluène à la solution qui, après une agitation vigoureuse, est laissé reposer jusqu'à la séparation de deux phases : une phase supérieure et une phase inférieure. Après avoir éliminé la phase inférieure, la phase supérieure est récupérée et déshydratée par l'addition d'une spatule de sulfate de sodium Na_2SO_4 . La densité optique de la solution est lue à 528 nm, et la concentration de la proline est déterminée à l'aide d'une courbe d'étalonnage en utilisant la L-proline pure (0-5 $\mu\text{g/ml}$).



Photo 02- 4 : Dosage de la proline dans l'embryon

6. Analyses statistiques :

Les résultats ont été soumis à une analyse de variance à un facteur à l'aide du logiciel Statgraphics Centurion 16. Le dispositif expérimental utilisé était un dispositif complet randomisé avec n égale 3 répétitions. Pour analyser le PFG, les données ont été converties en $\text{Arsin } \sqrt{(X/100)}$.

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Résultats :

1.1. Les paramètres de germination :

Dans cette expérience nous avons analysé l'effet d'un stress salin (150 mM NaCl) sur la cinétique de germination, la capacité ou pourcentage total de germination et le temps moyen de germination des semences de blé dur traitées ou non. Les résultats obtenus sont récapitulés sur les figures 3-1,..., 3-3.

- **La cinétique de germination :**

Comme cela est montré sur la figure 3-1, la germination du blé dur débute 24 heures après la mise en contact des semences avec l'eau. Dans le lot témoin (0 mM), le pourcentage de germination (PG) a atteint 70 % le deuxième jour, tandis que celui du lot non traité et stressé (150 mM) a enregistré un PG inférieur à 50%. Les autres lots ont enregistré, cependant, des PG supérieurs à l'exception du lot de semences traitées avec la méthionine à 10 mM de concentration. Cette différence reste néanmoins approximativement constante jusqu'à la fin de l'expérience (7 jours après semis) ou le lot témoin avec les lots de semences traitées avec la méthionine à 0.5 et 1 mM ont atteint presque 90 % de germination tandis que le lot stressé n'a guère dépassé les 60 %. Le meilleur traitement en absence de stress était celui de 1 mM, alors qu'en absence de stress celui de 0.5 mM. D'autre part, le prétraitement des semences de blé, semble avoir un effet positif statistiquement significatif ($P < 0.05$) sur le PG notamment sous conditions de stress se s'explique par l'interaction significatif entre ces deux facteur 'Stress*Traitement' (annexe 2 tableau 1). Cependant, par voie de comparaison, il semblerait que (1 mM) a été le traitement le plus efficace.

- **Pourcentage final de germination**

Comme illustré par la figure 3-2, la salinité (150 mM) a réduit significativement ($P < 0.05$) de 50 % le pourcentage final de germination (PFG) par rapport au témoin (lot non stressé). Cependant, tous les prétraitements des semences ont plus apaisé cet effet inhibiteur du NaCl sur la germination du blé mais à différents degrés. A cet égard la meilleure valeur de récupération du PFG, a été enregistrée dans le lot des semences traitées par la méthionine à 1 mM de concentration.

- **Temps moyen de germination**

Un stress salin modérée ne semble retarder que légèrement la germination des semences de blé dur (Figure 3-3). En revanche le prétraitement des semences notamment avec la méthionine à 1 mM à induit un affect inverse sur le TMG des semences.

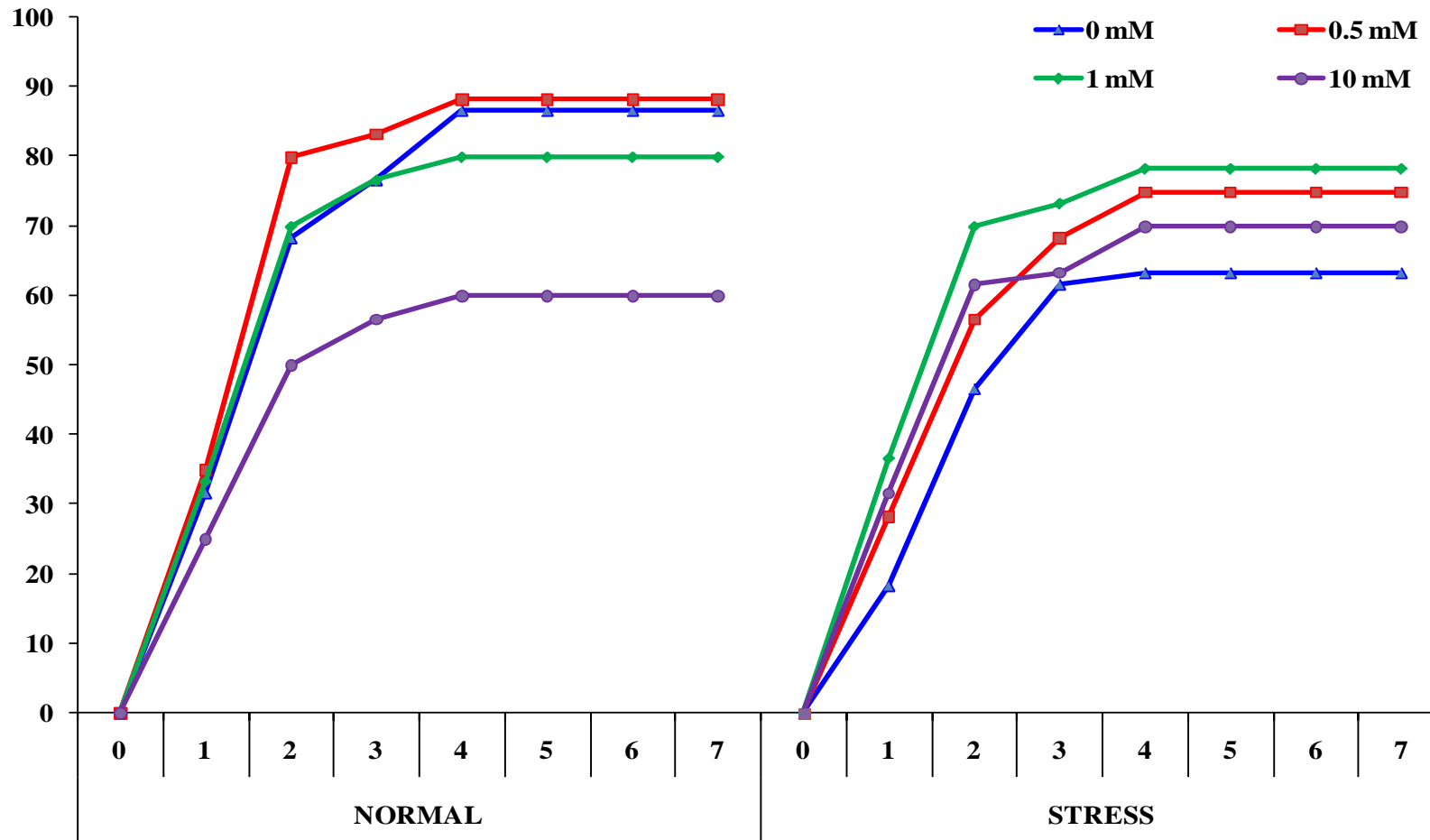


Figure 3-1 : Effet interactif de la salinité et la méthionine priming sur la Cinétique de germination des grains de blé.

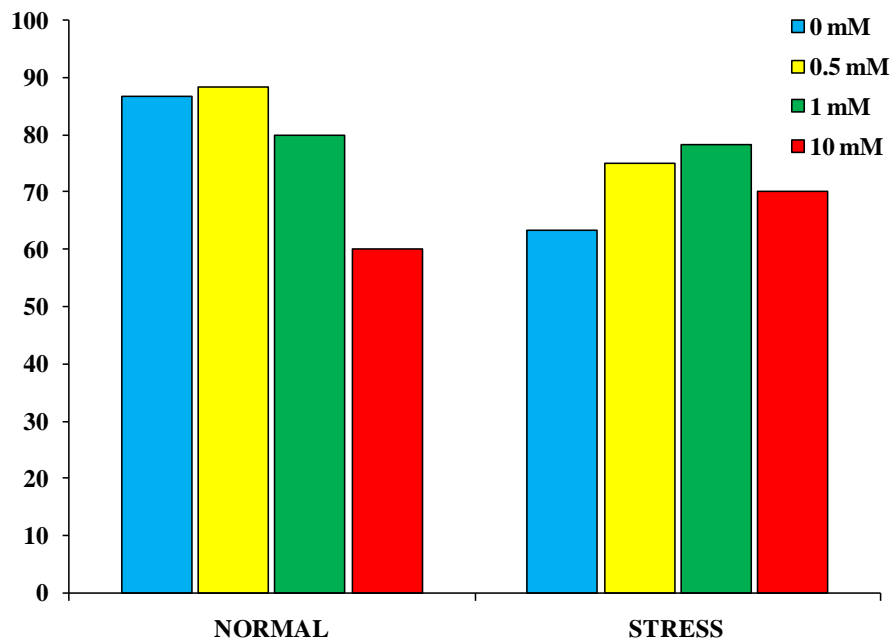


Figure 3-2 : Effet interactif de la salinité et la méthionine priming sur le PFG

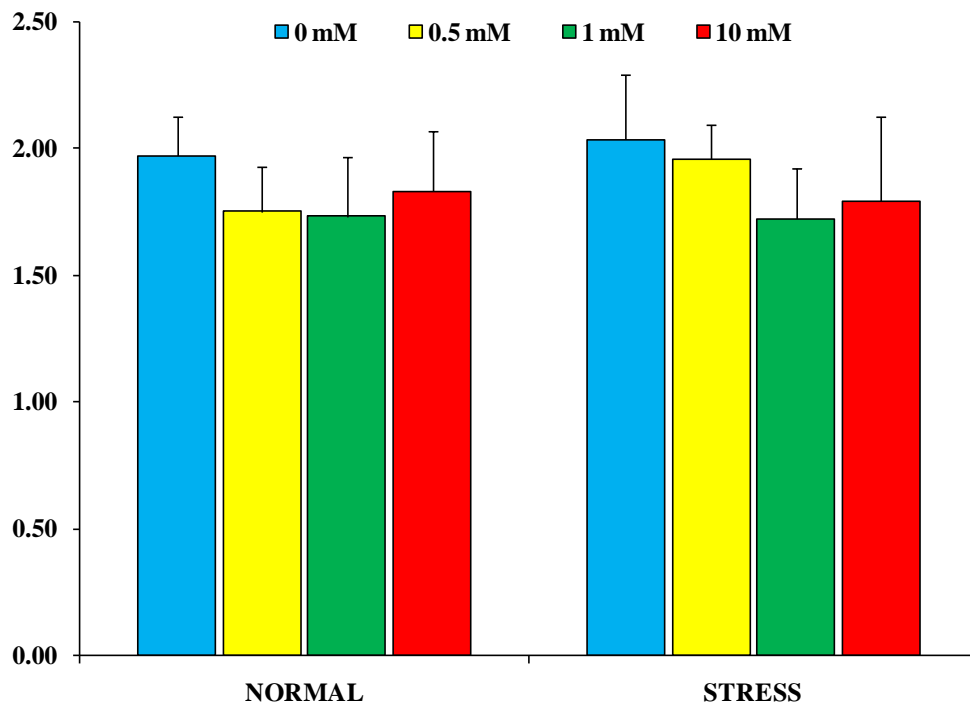


Figure 3-3 : Effet interactif de la salinité et la méthionine priming sur le TMG.

1.2. La croissance

Dans cette expérience nous avons analysé l'effet d'un stress salin modéré (150 mM) sur la levée et la croissance des semis de blé issues de semences de blé traitées ou non. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant :

■ La biomasse (poids sec) :

Le stress salin a réduit de manière hautement significative ($P < 0.01$) le poids sec des coléoptiles (Tableau 1). En revanche le traitement des semences a montré des effets divers en fonction du type de traitement. Ainsi, les prétraitements des semences avec la méthionine ont induit un effet positif ($P < 0.01$) sur le poids sec des coléoptiles. Le prétraitement des semences avec la méthionine surtout à 1 mM de concentration a induit le meilleur gain de poids (Tableau 1).

■ Longueur du coléoptile (LC) :

Le tableau 1, montre que le stress salin (150 mM) opère une réduction de 60% de la longueur de la coléoptile par rapport au témoin ($P < 0.001$). Par contre, l'effet négatif du NaCl sur la croissance des coléoptiles a été partiellement renversé par le traitement des grains, notamment, avec la méthionine à 0.5 mM de concentration (Tableau 1).

■ Longueur de la racicule (LR) et nombre de racicule par plantule :

La salinité a réduit significativement ($P < 0.001$) la croissance des racicules ainsi que leur nombre par plantule (Tableau 1). Le taux de réduction dans ce cas était de 66 % et 80 % par rapport au témoin dans la croissance de racicules et leur nombre respectivement. A l'exception de l'effet inhibiteur induit par la concentration de 10 mM, le prétraitement des semences avec traitement la méthionine surtout à 0.5 mM a contrecarré l'effet du NaCl sur ces deux paramètres (Tableau 1).

Tableau 3-1 : Effet interactif de NaCl et méthionine-priming sur les paramètres de croissance. Chaque valeur représente la moyenne arithmétique +/- l'écart type.

| | Normal | | | | Stress | | | | F(S) | F(T) | F(S*T) |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|--------|--------|
| | 0 | 0.5 | 1 | 10 | 0 | 0.5 | 1 | 10 | | | |
| PS (g) | 0.0094 | 0.0131 | 0.0174 | 0.0144 | 0.0072 | 0.0082 | 0.0094 | 0.0082 | 0.0027 | 0.0069 | n.s |
| | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± | | | |
| | 0.0005 | 0.0015 | 0.0174 | 0.0143 | 0.0004 | 0.0034 | 0.0021 | 0.0005 | | | |
| LC (mm) | 10.03 | 9.77 | 9.20 | 11.53 | 6.03 | 7.83 | 7.17 | 7.37 | 0.000 | n.s | n.s |
| | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± | | | |
| | 0.81 | 1.27 | 0.53 | 0.93 | 0.55 | 1.77 | 0.61 | 1.03 | | | |
| LR (mm) | 14.73 | 17.03 | 17.00 | 13.60 | 10.10 | 12.50 | 11.17 | 11.73 | 0.000 | 0.0193 | n.s |
| | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± | | | |
| | 1.24 | 1.20 | 1.50 | 0.85 | 0.82 | 2.00 | 1.15 | 1.37 | | | |
| NR | 6.67 | 7.33 | 6.67 | 6.67 | 5.67 | 7.33 | 5.67 | 4.33 | 0.0031 | 0.0062 | n.s |
| | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± | | | |
| | 0.58 | 1.53 | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.58 | | | |

1.3. Les paramètres physiologiques et biochimiques

■ La teneur relative en eau (RWC) :

En comparaison avec le lot témoin, le stress salin a induit un effet négatif ($P < 0.001$) sur la teneur des plantules de blé en eau (Figure 3-4). Les plantules exposées au stress ont perdus presque 32% de leur teneur relative en eau. En revanche, le prétraitement des semences notamment avec 1 mM de méthionine a induit un effet anti-NaCl sur la RWC ($P < 0.01$).

■ L'assimilation des réserves :

En comparaison avec le témoin, le stress salin a réduit l'assimilation des réserves dans les grains de blé (Figure 3-5). Les semis exposés au stress salin ont perdu presque 50 % de leur capacité de mobilisation des réserves. En revanche, à l'exception du traitement avec la méthionine à 10 mM, l'induction des semences semble avoir un effet positivement ce paramètre.

■ Les sucres solubles :

La présence du NaCl dans le milieu induit l'accumulation des sucres solubles dans les coléoptiles de blé (Figure 3-6). En absence de stress la teneur en sucres était de 0.5 mg/g MF, après 1 semaine de stress à 150 mM du NaCl elle atteint 0.8 mg/g MF, c'est-à-dire une augmentation de plus de 37.5 %. Au contraire, le traitement des semences avec la méthionine a diminué leur teneur en sucres de 0.8 à 0.6 mg/g MF.

L'effet du NaCl et de la méthionine sur la teneur des grains du blé dur en sucres solubles a été vérifié à l'aide de l'analyse de la variance, laquelle a montré la signifiante de ce changement seulement dans le cas du traitement avec la méthionine ($P < 0.01$).

■ Proline

En situation de stress salin les plantules de blé semblent accumuler significativement ($P < 0.001$) la proline dans leurs coléoptiles, comme le montre la Figure 3-7. La teneur de proline chez les plantules non stressées est de 1.3 mg/g MF, tandis que chez les plantules stressées celle-ci est devenue 2.1 mg/g MF. Le prétraitement des semences notamment avec 0.5 mM de méthionine semble augmenter également la teneur des coléoptiles en proline ($P < 0.05$).

■ Les protéines solubles :

En situation de stress salin, la teneur des grains de blé en protéines solubles semble subir une augmentation (presque 3 fois par rapport au témoin). En revanche, l'addition de la méthionine réduit de 8.76 % cette teneur en protéines par rapport au lot stressé (Figure 3-8).

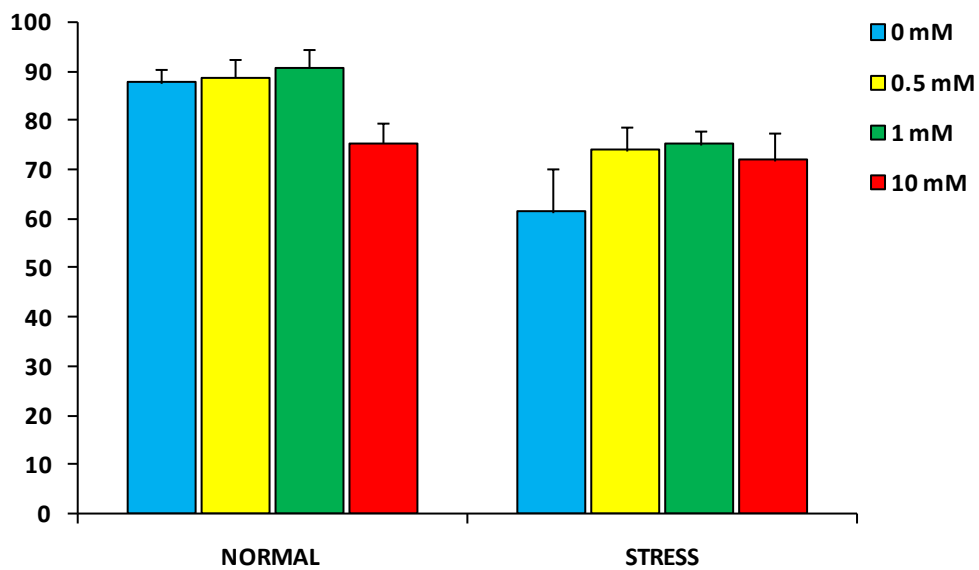


Figure 3-4 : Effet interactif de la salinité et la méthionine priming sur la teneur relative en eau (RWC)

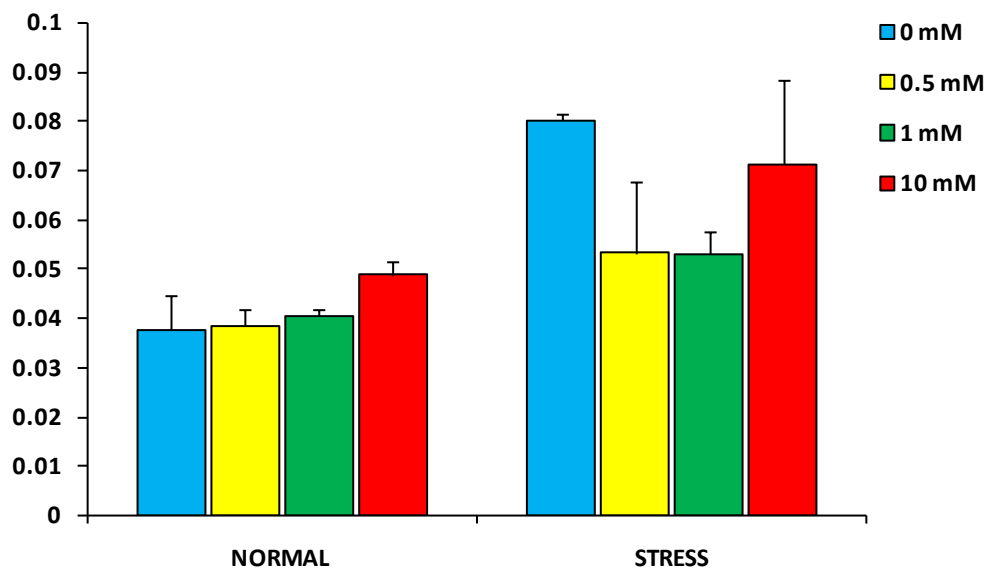


Figure 3-5 : Effet interactif de la salinité et la méthionine priming sur l'assimilation des réserves (ASR)

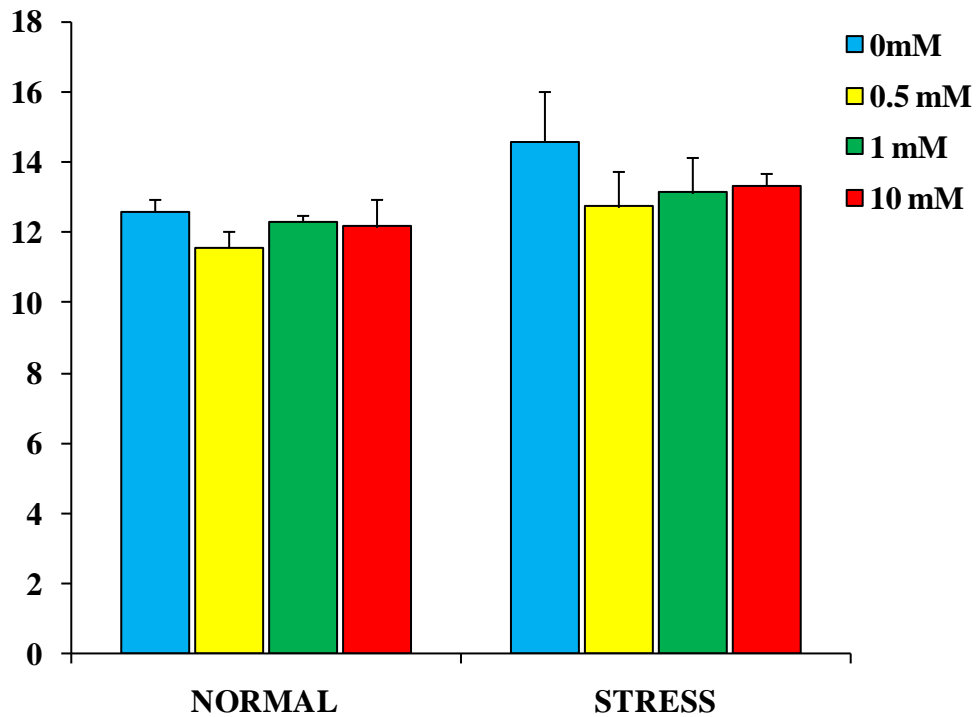


Figure 3-6 : Effet interactif de la salinité et la méthionine priming sur la teneur des sucres solubles (mg/g MF)

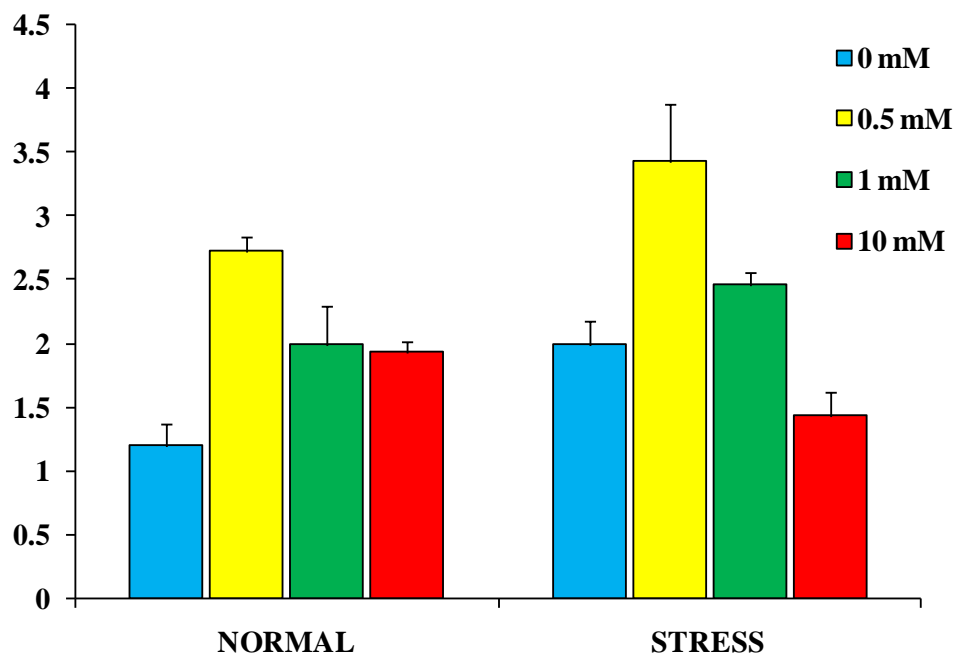


Figure 3-7 : Effet interactif de la salinité et la méthionine priming sur la teneur de proline (mg/g MF)

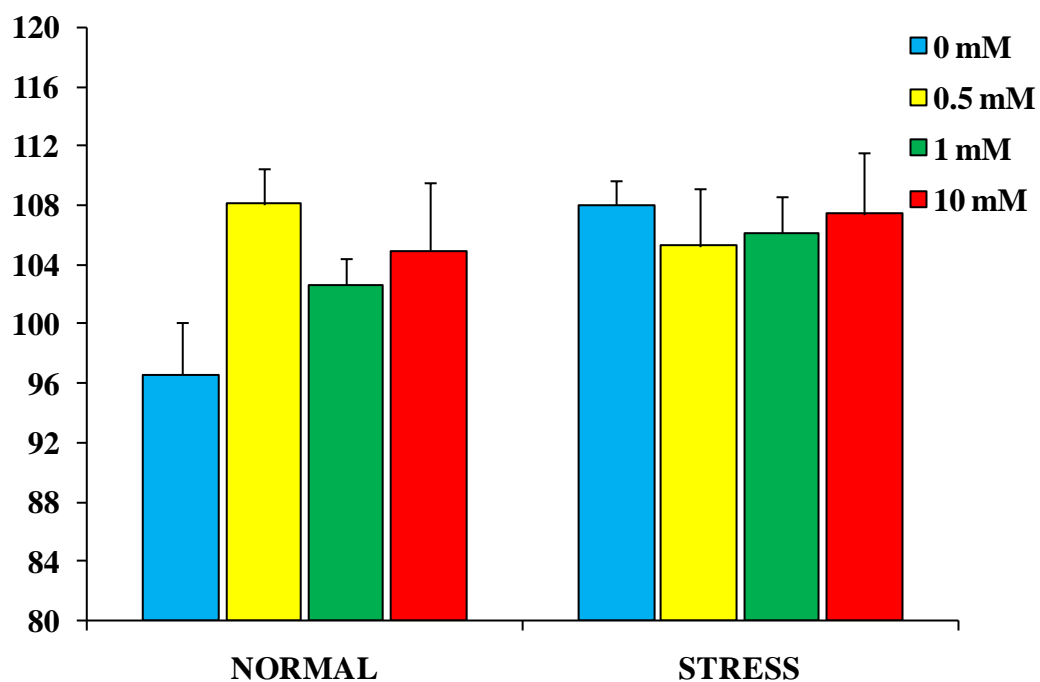


Figure 3-8 : Effet interactif de la salinité et la méthionine priming sur la teneur des protéines solubles (mg/g MF).

2. Discussion :

La germination des graines et la croissance précoce des semis sont des étapes qui affectent vraisemblablement l'établissement des plantes et le rendement des cultures. Malheureusement, pour de nombreuses cultures céréalières telles que le blé, la germination des graines et la croissance précoce des semis sont les stades de développement les plus sensibles au stress salin (Ashraf et Foolad, 2005).

L'induction des semences ou « *seed priming* » semble être une technique prometteuse, non seulement pour favoriser la germination, la levée des semis, mais aussi pour améliorer l'uniformité de l'établissement des plantules dans des conditions de stress en particulier dans les zones arides et semi-arides (Clark et al., 2001).

Pour le vérifier, les effets d'un prétraitement des semences de blé dur (*Triticum durum* Desf) avec la méthionine à différentes concentrations sur la germination et la croissance des plantules de blé dur exposées à un stress salin (150 mM) ont été évalués.

L'application exogènes des osmoprotecteurs, des antioxydants ainsi que des régulateurs de croissance est considérée comme une alternative de court terme, sans risque et non couteuse, aux techniques génétiques et éco-physiologiques pour induire la tolérance au sel chez les plantes cultivées (Gadallah, 2009; Khan et al., 2010).

Compte tenu des résultats obtenus dans la présente étude, il est clair que le stress salin induit la réduction de la germination et la levée du blé dur. Toutefois, l'application exogène de la méthionine a pu promouvoir la germination et la croissance des coléoptiles de blé dur, notamment par les faibles traitements 0.5 et 1 mM (Figures 3-1,..., 3-3 et Tableau 3-1).

Bien que, l'induction des semences améliore la vitesse et l'uniformité de la levée des semis et la croissance en particulier dans des conditions de stress (Parera et Cantliffe, 1991), comme le montre nos résultats (Figure 3-1,..., 3-3 et Tableau 3-1) l'efficacité des agents d'endurcissement varie en fonction des espèces, la nature et le degré de stress, etc. (Iqbal et Ashraf, 2007). La réponse des plantes à un stress abiotique donnée comme la salinité implique des modifications morphologiques, physiologiques et biochimiques ou moléculaires, y compris les modifications apportées à la germination, la croissance des plantules, des antioxydants, et les hormones endogènes.

Dans la présente étude, les semences induites par la méthionine montrent de meilleures performances dans les conditions de stress salin (150 mM). Contrairement à l'effet du stress salin, l'induction des semences a augmenté le pourcentage final de germination, accéléré la germination et amélioré la croissance des plantules de blé (Figure 3-1,...,3-3 et Tableau 3-1). Des résultats similaires ont été obtenus lors de l'utilisation de diverses molécules biologiques telles que la proline, l'acide salicylique, l'acide ascorbique, des phytohormones, etc. (Farooq et al., 2005 ; Fercha et al., 2013, 2014). Cela pourrait s'expliquer, entre autres, par une absorption d'eau plus rapide par les semences induites, ajustement osmotique, induction des systèmes de défense (Fercha et al., 2013).

Bien qu'elle n'a pas fait objet d'études approfondies, la méthionine semble jouer un rôle clé dans la germination des semences, comme cela a été démontré chez l'*Arabidopsis thaliana* (Galardo et al., 2002, Rajjou et al., 2011). En utilisant un inhibiteur spécifique de la biosynthèse de la méthionine, Galardo et al. (2002) ont démontré que la germination des graines d'*Arabidopsis* devient quasiment impossible en absence apparente de méthionine.

Le maintien d'une RWC assez élevée par les plantules de blé en situation de stress salin, explique partiellement l'amélioration de la croissance des plantules de blé par l'application exogène de la méthionine (Figure 3-4). Pour maintenir élevée leur teneur relative en eau, ce qui est capital pour soutenir la croissance, les cellules végétales accumulent des substances organiques au niveau de leur cytosol, phénomène connu sous le nom de « Ajustement osmotique ». Effectivement, le prétraitement des semences a révélé une augmentation dans les taux de la proline et les sucres solubles sous-stress salin.

L'effet de la méthionine sur le contenu des semences germées en proline et en sucres solubles (Figure 3-6, 3-7) ce qui induit l'amélioration la croissance des semis en situation de stress, en renforçant leur potentiel d'ajustement osmotique et les activités de croissance, d'expansion et de division cellulaire (Farooq et al., 2005).

La méthionine joue un rôle particulier dans la biosynthèse des protéines, puisque toutes les chaînes protéiques démarrent par l'incorporation d'une méthionine en position N-terminale. Cet effet est en parfait accord avec nos résultats quant à l'effet du prétraitement des semences avec la méthionine sur la teneur des embryons de blé en protéines solubles ce qui signifie, d'autre part, un accroissement dans la biosynthèse des protéines (Figure 3-8).

CONCLUSION :

Les principaux résultats ont permis de conclure les points suivants :

- Le stress salin affect négativement tous les paramètres de germination et de croissance des plantules de blé dur.
- De manière générale, l'induction des semences semble être une approche efficace pour réduire l'impact de la salinité sur les caractéristiques de croissance du blé, tel le traitement avec la méthionine (methionine-priming).
- L'effet antistress salin exercé par ce traitement semble trouver son explication d'une part, dans le rétablissement de l'homéostasie osmotique via le maintien d'une alimentation hydrique élevée, ce qui s'explique partiellement par l'accumulation de la proline et les sucres solubles.
- Le prétraitement des semences de blé avec la méthionine a amélioré efficacement les caractéristiques de germination et de croissance des semis de blé dur, il reste cependant à déterminer les conditions idéales (concentration, durée, température, etc.) pour obtenir l'effet maximum.

References Bibliographique

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Afzal I, Basara SMA, Faoq M, Nawaz A (2006)**. Alleviation of salinity stress in spring wheat by hormonal priming with ABA, salicylic acid and ascorbic acid. *Int J Agric Biol* 8: 23-28
2. **Ashraf M, Foolad MR (2005)**. Pre-sowing seed treatment: A shotgun approach to improve germination, plant growth and crop yield under saline and non-saline conditions. *Adv. Agron.* 88: 223-271.
3. **Ashraf M, Foolad MR (2005)**. Pre-sowing seed treatment: A shotgun approach to improve germination, plant growth and crop yield under saline and non-saline conditions. *Adv. Agron.* 88: 223-271.
4. **Ashraf, M. (2008)**. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnol. Adv.* 27(1):84–93.
5. **Austin R.B., Edrich J.A., Ford M.A. and Blackwell R.D. (1977)**. The feta dry matter, carbohydrate and ¹⁴C lost from the leaves and stems of wheat during grain filling. *Ann.Bot.* 41, 1309-1321.
6. **Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmhamed A. (2005)**. Selection of stable and high yielding cultivar of durum Wheat under Semi –arid Conditions. *Pakistan Journal of Agronomy* 4:36-356
7. **Baldy C.M (1974)**. Quelques réflexions concernant les caractères du blé (*Triticum*.Sp).
8. **Belaid D. (1986)**. Aspect de la céréaliculture Algérienne. OPU ; Alger, 207p.
9. **Belhassen E., This D. & Monneveux P. (1995)**. L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. *Cah. Agric.*, 4, 251-261.
10. **Benlaribi N. (1984)**. Facteurs de productivité chez 6 variétés de blé dur (*T.durum*) cultivées en Algérie. Thèse Mag. Univer. Constantine.
11. **Benmahioul, et al. (2009)**. Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vera* L.). *C. R. Biol.* 332, 752-758.
12. **Bewley J. D. M. Black. (1994)**. *Seeds physiology and germination*, 2nd ed. Plenum, New York, New York, USA. *Biochem.* 72, 248–253.
13. **Bois G. (2005)**. Écophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique. Thèse de doctorat. Université Laval. Pp 187.

14. **Bohnert H., D.E. Nelson, R.G. Jensen. (1995).** Adaptations to environment stresses. *Plant Sci.* 7: 1099-1111
15. **Bohnert H., D.E. Nelson, R.G. Jensen. (1995).** Adaptations to environment stresses. *Plant Sci.* 7: 1099-1111.
16. **Boujean A., E. picard (1990).** Les céréales à paille origine, historique économie et sélection. Eds Nathan, 235p.
17. **Bray CM (1995).** Biochemical processes during the osmo-priming of seeds. In: Kigel J, Galili G (eds) *Seed development and germination.* New York: Marcel Dekker pp. 767-789.
18. **Carillo P et al. (2011).** Salinity Stress and Salt Tolerance. In. *Abiotic Stress in Plants - Mechanisms and Adaptations.* Edited by Arun Shanker and B. Venkateswarlu, ISBN 978-953-307-394-1, 440 pages, Publisher: InTech.
19. **Chen et al. (2001).** Salt,nutreintuptake and transport, and ABA of populous euphratica; a hybrid in response to increasing soil NaCl.*Trees-struct.Funct.*15,186-194.
20. **Chen, T.H., et N Mutara (2002).** Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. *Curr. Opin. Plant Biol.* 5(3): 250–257.
21. **Cheung CP, Wu J, Suhadolnik RJ (1979).** Dependence of protein synthesis on RNA synthesis during the early hours of germination of wheat embryos. *Nature* 277:66-67.
22. **Couvreur F., Dagneand J.P. & Massé J (1979).** Les céréales et le froid. *Persp .A Fric*, 8-12.
23. **Croston RP., JT. Williams (1981).** A world survey of wheat genetic resources IBRGR. *Bulletin /80/59*,37 pages.
24. **Dell'Aquila A, Bewley JD (1989).** Protein synthesis in the axes of polyethylene glycol treated pea seeds and during subsequent germination. *J. Exp. Bot.*
25. **DI Girolamo G. and Barbanti L. (2012).** Treatment conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness. *Italian Journal of Agronomy.* 7:e25. 178-188.
26. **Djermoun A. (2009).** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie* 01:45-53.
27. **Epstein E. (1977).** Genetic potentials for solving problems of soil mineral stress: adaptation of crops to salinity. In: Wright MJ, ed. *Plant adaptation to mineral stress in problem soils.* Ithaca, New York: Cornell University Agricultural Experiment Station, 73–123.

28. **Feldman M., Avraham A and Levy A. (2009).** Genome evolution in allopolyploid wheat a revolutionary reprogramming followed by gradual changes. *Journal of Genetics and Genomics* 36(9): 511-518.
29. **Fercha A, et al., (2013).** Gel-free proteomics reveal potential biomarkers of priming-induced salt tolerance in Durum Wheat. *Journal of Proteomics*, 91, 486–499.
30. **Fercha, A., & Gherroucha, H. (2014).** The role of osmoprotectants and antioxidant enzymes in the differential response of durum wheat genotypes to salinity. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 87, 74-79.
31. **Fercha et al., (2014).** Comparative analysis of metabolic proteome variation in Ascorbate-primed and unprimed wheat seeds during germination under salt stress. *Journal of Proteomics*, 108, 238-257.
32. **Feuillet, C Longridge P. et Waugh R. (2008).** Cereal bridging takes a walk on the wild side. *Trends Genet.*24-32.
33. **Gallardo et al. (2002).** Proteomics of Arabidopsis seed germination. A comparative study of wild-type and gibberellin-deficient seeds. *Plant Physiology*, 129(2), 823-837.
34. **Gate PH. (1998)** Ecophysiologie du blé. Technique et Documentation .Lavoisier, paris, 351P.
35. **Gomez-Cadenas A., Arbona V., Jacas J., Primomillo E., Talon M. (2002).** Abscisic acid reduces leaf abscission salt tolerance in citrus plants. *J. Plant Growth Regu.* 21,234-240
36. **Guan, Y. J., (2009).** Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *Journal of Zhejiang University Science B*,10(6), 427-433.
37. **Gupta, S., Chattopadhyay, M.K., Chatterjee, P., Ghosh, B., SenGupta, D.N., (1998).** Expression of abscisic acid-responsive element-binding protein in salt tolerant indica rice (*Oryza sativa* L. cv. Pokkali). *Plant Mol. Biol.* 137, 629–637.
38. **Habash, D. Z.; Kehel, Z.; Nachit, M. (2009).** Genomic approaches for designing durum wheat ready for climate change with a focus on drought. *J. Exp. Bot.* 60, 2805-15.
39. **Hafsi, M. et al. (2001).** Discrimination isotopique du carbone et rendement du blé dur dans les hautes plaines sétifiennes, Algérie. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 12(1), 37-43.

40. **Hamdy A., Lieth H., Mezher Z. (1995).** Halophyte performance under high salinity levels: an overview of saline irrigation, halophyte production and utilization. project. N° IG. 18. CT.96.55: 20-58.
41. **Heller R., Esnault R. et Lance C. (1998).** Physiologie Végétale, I Nutrition., 6e Edition de l'Abrégé., Imprimerie Dunod, Paris., 323 P.
42. **Hopking. William G. (2003).** Physiologie végétale Serge Rambour et révision scientifique. Charles Marie Evard. 451-452.
43. **Jafar MZ, et al. (2012)** Improving the performance of wheat by seed priming under saline conditions. J Agron Crop Sci.;198: 38–45.
44. **Karou M., Haffid R., Smith DN., Samir K. (1998).** Roots and Shoot growth Water use and Water use efficiency of spring durum Wheat under early-Season drought. Agronomies 18, 181-186.
45. **Kathiresan K, Kalyani V, Gnanarethim JL. (1984).** Effect of seed treatments on field emergence, early growth and some physiological processes of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Field Crops Res. 9: 255-259.
46. **Kester D E., Davies FT. & GENEVE R. (2011).** Hartmann & Kester's Plant Propagation: Principles and Practices, 8/Ed. Prentice Hall. 928 pp
47. **Khan, M. S. A., Hamid, A. and Karim, M. A. (1997).** Effect of Sodium Chloride on germination and seedling characters of different types of rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Agronomy and Crop Science. 179: 163-169.
48. **Maamri K, (2011).** Stabilité du critère de la discrimination du carbone isotopique en relation avec le poids spécifique de la feuille drapeau chez quelques variétés de blé dur cultivées en milieu semi aride. Thèse de Magister. Université Ferhat Abbas de Sétif.
49. **Lauchli A., Luttge U. (2002).** Salinity: Environment-plants-molecules. Kluwer academic publishers, Now York .551 p.
50. **Laumont P. et Enourx J. (1961).** Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en algéries. Mémoires de la société d'histoire naturelle de l'Afrique du nord : 94pp.
51. **Lemzeri H. (2007).** Réponse Eco-physiologique de trois espèces forestières à un stress salin. Magister en écologie et environnement: Ecologie végétal. Université Mentouri, Constantine, Algérie. 180p.
52. **Levigneron, A (1995).** Les plantes face au stress salin. Cahiers Agricultures, 4 : 263–273.

53. **Mara (1992)**. Le secteur agricole et les perspectives de sa promotion et de son développement. Rapport général de la commission nationale consultative sur l'agriculture, 292 pages.
54. **McKee, J. (1968)**. Species relation in Triticum. Proc 2nd International Wheat Genetic Symposium. Hereditas 2,237-276.
55. **Mekhlouf, A. (1998)**. Etude de la transmission héréditaire des caractères associés au rendement en grains et de leur efficacité en sélection chez le blé dur (*Triticum Durum* Desf.). Thèse de magister INA, El-Harrach, 67pages.
56. **Mekhlouf et al. (2006)**. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. Science et changements planétaires/Sécheresse, 17(4), 507-513.
57. **Merah, Monnevux. P, Nachit. M et Delencs. E. (1999)**. La composition isotopique du carbone, critère intégrateur du fonctionnement photosynthétique : application à l'amélioration génétique du blé dur en conditions méditerranéennes cahier agricultures, 8-37-47p.
58. **Messidi D., Slama I., Laabidi N., Ghnaya T., Savoure A., Soltani., Abdelly C. (2006)**. Effect of nitrogen deficiency, salinity and drought on proline metabolism in sesuvium portulacastrum. Biosaline Agriculture and Salinity Tolerance in Plants. Pp. 65-72.
59. **Monneveux P. (2002)**. Bilan d'activités du laboratoire sur le thème : amélioration de la tolérance à la sécheresse du blé dur .UER de génétique et amélioration des plantes, ENSAINRA Montpellier.
60. **Munns R, Tester M. (2008)**. Mechanisms of salinity tolerance. Annu. Rev. Plant. Biol., 59: 651-681.
61. **Munns et al. (2012)**. Wheat grain yield on saline soils is improved by an ancestral Na⁺ transporter gene. Nature Biotechnol. 30, 360-364.
62. **Oudina., M. et Bouzerzour , H. (1989)**. Variabilité du rendement de l'orge (*Hordeum , vulgare* L .) variété Tichedritte sous l'influence du climat des hauts plateaux Sétifiens.in : proc. symp Inter on the Agrometeorology of rainfed barley .based farming systems. Eds WMO/Icarda,100-119.
63. **Parera C., A. and Cantliffe D. J. (1994)**. Pre-sowing seed priming. Hortic. Rev. 16: 109-141.

64. **Parida A.K, et Das A.B. (2005).** Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 60, pp 324-349.
65. **Pessarakli M. (2011).** Handbook of Plant and crop Stress. CRC Press Taylor & Francis Group, New York.1188p.
66. **Piri K., Anceau C., EL Jafari S., Lepoivre P., Semal J. (1994).** Sélection in vitro de plantes androgénétiques de blé tendre résistantes à la salinité. L'amélioration des Plantes. Ed. AUPELF-UREF, Paris: 311- 320.
67. **Rajjou, et al. (2011).** Proteomics and posttranslational proteomics of seed dormancy and germination. *Seed Dormancy*. Humana Press, 215-236.
68. **Ramade F. (2008).** Dictionnaire encyclopédique : des sciences de la nature et de la biodiversité. Dunod, Paris .p.562
69. **Roberts S.K., et Tester M. (1979).** A patch clamp study of Na⁺ transport in maize roots. *J. Exp. Bot.* 48(Special): 431–440.
70. **Rowse, H. R. (1996).** Drum priming. *Seed Sci. Tech.* 24:281–94
71. **Sayar, R., Bchini, H., Mosbahi, M., Khemira, H., (2010).** Response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) growth to salt and drought stresses. *Czech J. Genet. Plant Breed.* 46, 54-63.
72. **Shewry P. R. (2009).**Wheat. *Journal of Experimental Botany* 604(6): 1537–1553.
73. **Tiryaki I, Buyukcingil Y (2009).** Seed priming combined with plant hormones: influence on germination and seedling emergence of sorghum at low temperature. *Seed Sci Technol* 37: 303-315.
74. **Vallée, C. et Bilodeau, G. (1999).** Les techniques de culture en multicellules. Les Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy (Québec).
75. **Warren, J. E., AND M. A. Bennett. (1997).** Seed hydration using the drum priming system. *HortScience* 32:1220–1.
76. **Ykhlef N, K. Kellou, A. Djekoun. (2007).** Régénération D'embryons Issus De Croisement Interspécifique Blé Dur (*Triticum durum* Desf.) × *Aegilops géniculata* Roth.: effet des régulateurs de croissance. *Sciences & Technologie* 25 :44-52.
77. **Yves et De Buyser .J. (2000).** L'origine des blés. Pour la science, hors série n° 26.60 -62pp.
78. **Zahid A. (2010).** Mécanismes cellulaires et moléculaires régissant le métabolisme des Semences de céréales: Rôle du réseau rédoxines-Système antioxydant dans la Prédiction de

la qualité germinative. Doctorat de l'université de Toulouse : pathologie, Toxicologie, Génétique, Nutrition. Université de Toulouse.160p.

Références web :

79. **FAO. (2008).** FAO Land and Plant Nutrition Management Service.
<http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush>.
80. **Jabnoue M. (2008).** Adaptation des plantes à l'environnement : Stress salin. document PowerPoint disponible sur le site de l'université de la méditerranée. <http://biologie.univ-mrs.fr/>

ANNEXE 1

Analyse de la variance des différents paramètres étudiés

| Pourcentage final de germination | | | | | |
|---|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A: Stress | 0.00881667 | 1 | 0.00881667 | 2.83 | 0.1118 |
| B: Traitement | 0.0337 | 3 | 0.0112333 | 3.61 | 0.0366 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 0.0320833 | 3 | 0.0106944 | 3.44 | 0.0423 |
| RESIDUAL | 0.0498 | 16 | 0.0031125 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 0.1244 | 23 | | | |

| Temps moyen de germination | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:Col_1 | 0.0192667 | 1 | 0.0192667 | 0.26 | 0.6194 |
| B:Col_2 | 0.24045 | 3 | 0.08015 | 1.07 | 0.3906 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 0.0522667 | 3 | 0.0174222 | 0.23 | 0.8727 |
| RESIDUAL | 1.2014 | 16 | 0.0750875 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 1.51338 | 23 | | | |

| Assimilation des réserves | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:Col_1 | 0.0030375 | 1 | 0.0030375 | 34.71 | 0.0000 |
| B:Col_2 | 0.000945833 | 3 | 0.000315278 | 3.60 | 0.0367 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 0.0009125 | 3 | 0.000304167 | 3.48 | 0.0409 |
| RESIDUAL | 0.0014 | 16 | 0.0000875 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 0.00629583 | 23 | | | |

| Longueur du coléoptile | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:Col_1 | 55.2067 | 1 | 55.2067 | 53.51 | 0.0000 |
| B:Col_2 | 7.53667 | 3 | 2.51222 | 2.44 | 0.1025 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 6.64333 | 3 | 2.21444 | 2.15 | 0.1344 |
| RESIDUAL | 16.5067 | 16 | 1.03167 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 85.8933 | 23 | | | |

| Longueur de la radicule | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:Col_1 | 106.682 | 1 | 106.682 | 61.70 | 0.0000 |
| B:Col_2 | 22.87 | 3 | 7.62333 | 4.41 | 0.0193 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 12.615 | 3 | 4.205 | 2.43 | 0.1028 |
| RESIDUAL | 27.6667 | 16 | 1.72917 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 169.833 | 23 | | | |

| Nombre de radicules | | | | | |
|----------------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:Col_1 | 7.04167 | 1 | 7.04167 | 12.07 | 0.0031 |
| B:Col_2 | 10.4583 | 3 | 3.48611 | 5.98 | 0.0062 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 4.125 | 3 | 1.375 | 2.36 | 0.1102 |
| RESIDUAL | 9.33333 | 16 | 0.583333 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 30.9583 | 23 | | | |

Poids sec

| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
|-------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:CoL_1 | 0.000104167 | 1 | 0.000104167 | 12.50 | 0.0027 |
| B:CoL_2 | 0.000145833 | 3 | 0.0000486111 | 5.83 | 0.0069 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 0.0000791667 | 3 | 0.0000263889 | 3.17 | 0.0532 |
| RESIDUAL | 0.000133333 | 16 | 0.00000833333 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 0.0004625 | 23 | | | |

Teneur relative en eau (RWC)

| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
|-------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:CoL_1 | 1360.97 | 1 | 1360.97 | 57.78 | 0.0000 |
| B:CoL_2 | 392.75 | 3 | 130.917 | 5.56 | 0.0083 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 389.409 | 3 | 129.803 | 5.51 | 0.0086 |
| RESIDUAL | 376.893 | 16 | 23.5558 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 2520.02 | 23 | | | |

Proline

| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
|-------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:CoL_1 | 0.814017 | 1 | 0.814017 | 10.25 | 0.0056 |
| B:CoL_2 | 8.29197 | 3 | 2.76399 | 34.81 | 0.0000 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 1.56682 | 3 | 0.522272 | 6.58 | 0.0042 |
| RESIDUAL | 1.27053 | 16 | 0.0794083 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 11.9433 | 23 | | | |

Sucres solubles

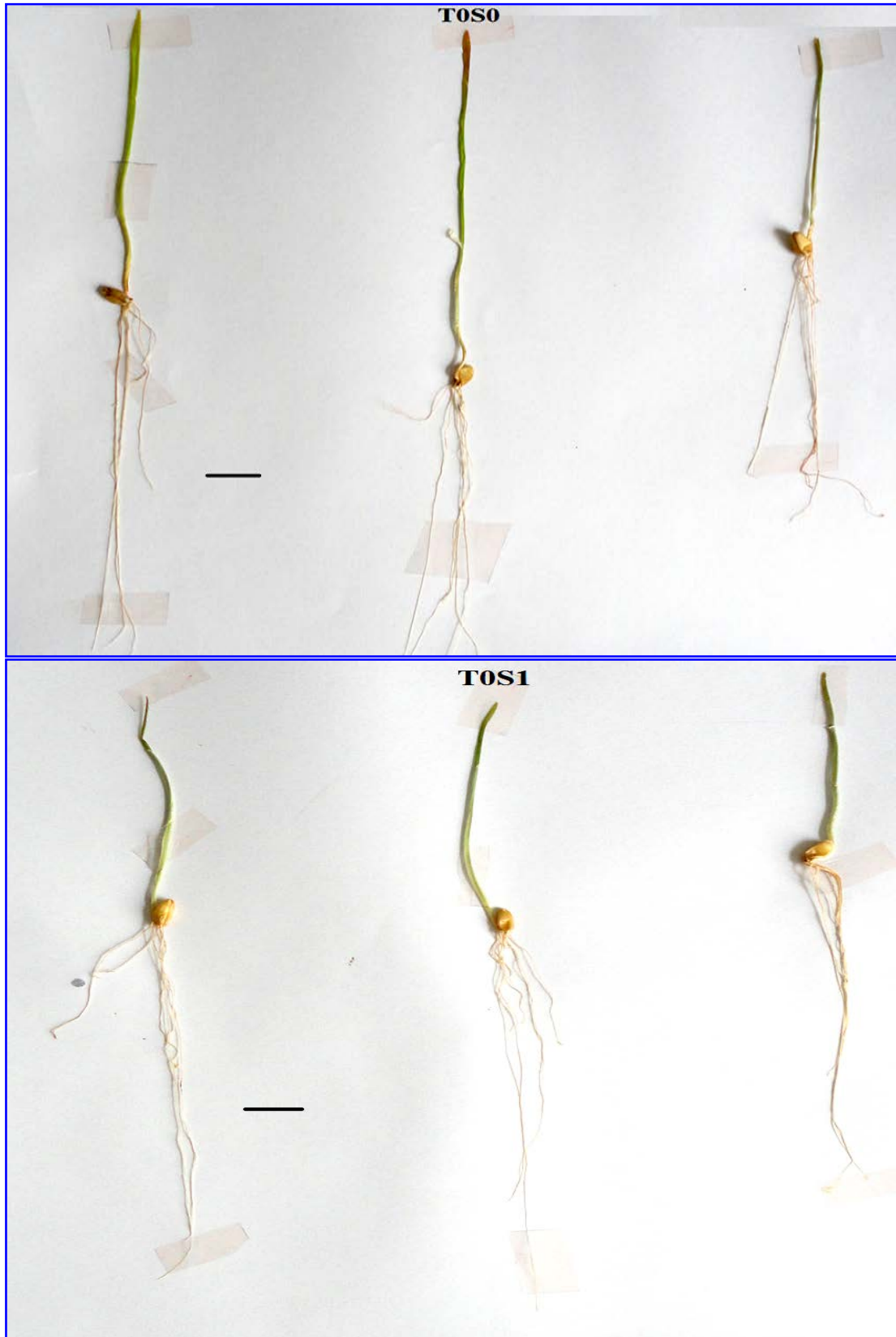
| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
|-------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:CoL_1 | 9.90735 | 1 | 9.90735 | 15.31 | 0.0012 |
| B:CoL_2 | 6.21283 | 3 | 2.07094 | 3.20 | 0.0517 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 1.13475 | 3 | 0.37825 | 0.58 | 0.6338 |
| RESIDUAL | 10.3558 | 16 | 0.647237 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 27.6107 | 23 | | | |

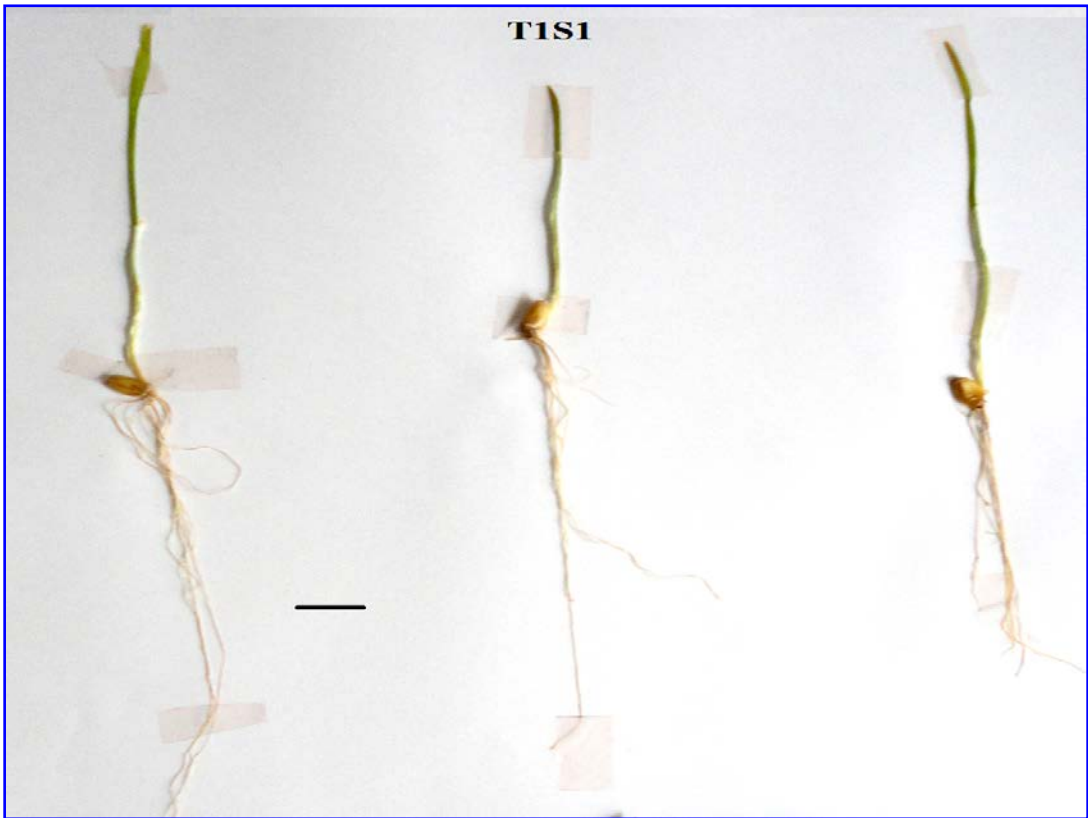
Protéines

| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
|-------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:CoL_1 | 81.4017 | 1 | 81.4017 | 5.21 | 0.0365 |
| B:CoL_2 | 71.125 | 3 | 23.7083 | 1.52 | 0.2483 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 155.938 | 3 | 51.9794 | 3.33 | 0.0464 |
| RESIDUAL | 250.053 | 16 | 15.6283 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 558.518 | 23 | | | |

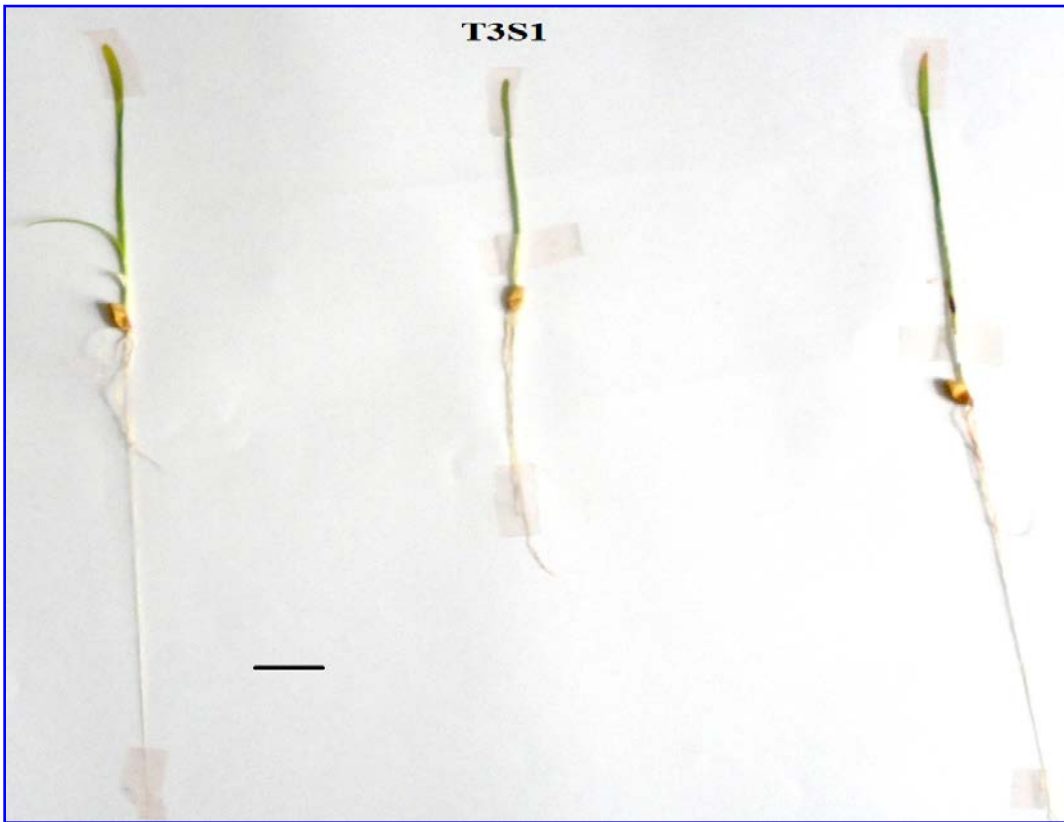
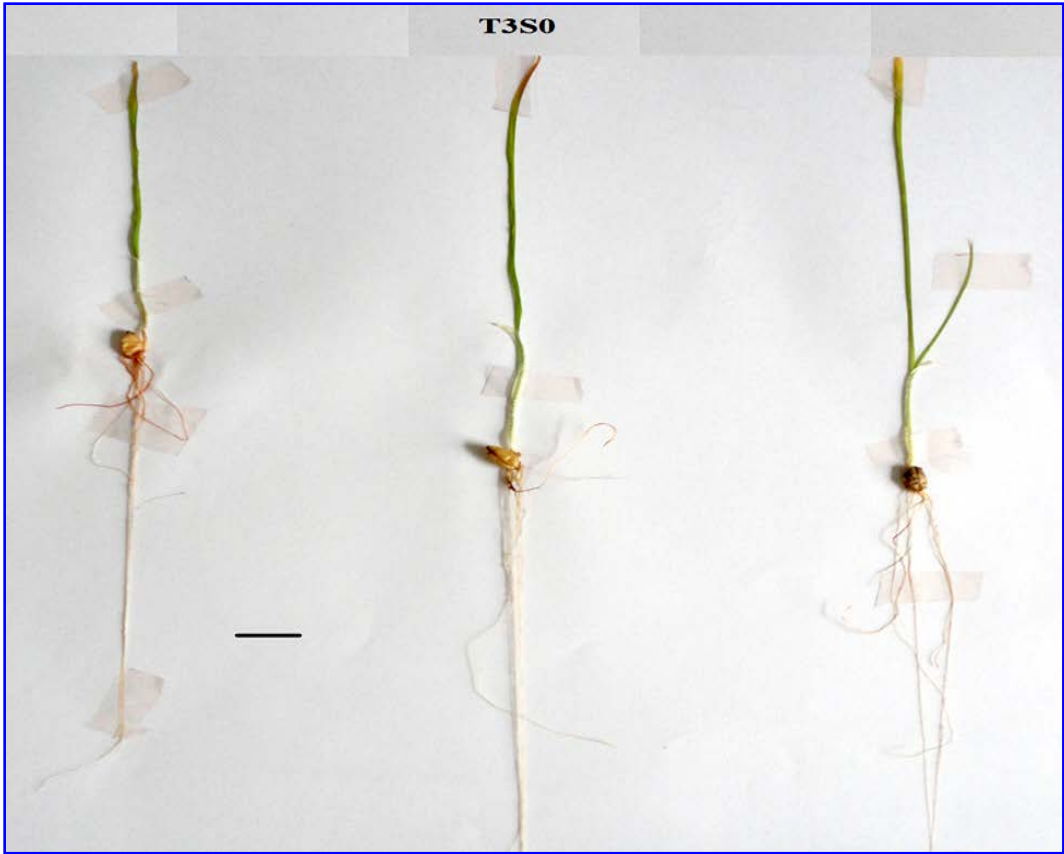
ANEEXE : 2

Des photographies montrant les plantules de blé issues des différents traitements









Résumé :

Dans la présente étude nous avons examiné l'effet d'un prétraitement des semences de blé dur (*Triticum durum* Desf. Var. Waha), par 'seed priming' en utilisant l'acide aminé *méthionine* sur les caractéristiques de germination et levée des semis, ainsi que sur un certains nombre de paramètres physiologiques et biochimiques y afférents en présence d'un stress salin modéré (150 mmol/L). Nos résultats indiquent que le stress salin a affecté négativement la germination et la levée des semis de blé dur. En revanche, le prétraitement des semences avec la méthionine a amélioré efficacement les caractéristiques de germination et de croissance des semis de blé dur.

Mots clés : *Triticum durum*, stress salin, méthionine, 'seed priming'.

Abstract :

In this study we examined the effect of pretreatment of wheat seeds (*Triticum durum* Desf. Var. Waha) by 'seed priming' using the amino acid methionine on the characteristics of germination and emergence of seedlings and on a number of related physiological and biochemical parameters in the presence of a moderate salt stress (150 mmol / L). Our results indicate that salt stress has adversely affected the germination and seedling emergence of durum wheat. In contrast, pretreatment of seeds with methionine has effectively improved the characteristics of germination and seedling growth of durum wheat.

Keywords: *Triticum durum*, salt stress, methionine, seed priming.

Nom : HOGGAS Prénom : Chahinez

Nom : CHOUFAOUI Prénom : Noura

Date de soutenance : 26 / 06 /2014

Master Académique en Biologie Option: Biotechnologie et Amélioration des plantes

Amélioration de la tolérance de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à la salinité par voie (méthionine-priming)

Résumé Dans la présente étude nous avons examiné l'effet d'un prétraitement des semences de blé dur (*Triticum durum* Desf. Var. Waha), par 'seed priming' en utilisant l'acide aminé *méthionine* sur les caractéristiques de germination et levée des semis, ainsi que sur un certains nombre de paramètres physiologiques et biochimiques y afférents en présence d'un stress salin modéré (150 mmol/L). Nos résultats indiquent que le stress salin a affecté négativement la germination et la levée des semis de blé dur. En revanche, le prétraitement des semences avec la méthionine a amélioré efficacement les caractéristiques de germination et de croissance des semis de blé dur.

Abstract :

In this study we examined the effect of pretreatment of wheat seeds (*Triticum durum* Desf. Var. Waha) by 'seed priming' using the amino acid methionine on the characteristics of germination and emergence of seedlings and on a number of related physiological and biochemical parameters in the presence of a moderate salt stress (150 mmol / L). Our results indicate that salt stress has adversely affected the germination and seedling emergence of durum wheat. In contrast, pretreatment of seeds with methionine has effectively improved the characteristics of germination and seedling growth of durum wheat.

Mots clés : *Triticum durum*, stress salin, méthionine, 'seed priming'.

Devant le jury

Président : Mr. LAABASSI A.

Univ. Abbès Laghrour - Khenchela

Encadreur : Mr. FERCHA A.

Univ. Abbès Laghrour - Khenchela

Examineur : Mr. MAZZOUZ L.

Univ. Abbès Laghrour - Khenchela