

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieure et de la recherche scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 08 mai 1945 – Guelma
Faculté Des Sciences de La Nature Et de La Vie , Sciences de La Terre Et L'univers



Mémoire En Vue de L'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Science De La Nature Et De La Vie
Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Biologie Moléculaire Et Cellulaire
Département : Biologie

Thème

L'effet de stress oxydatif induit par la salinité chez les céréales (Blé Tendre)

Présenté par :

- Ferdjallah Amel
- Fisli Ikram
- SikniFayza

Jury :

Président : Mme. MERABET R. (M.A.A) Université de Guelma
Examineur : Mme. BOUMAAZA A. (M.C.B) Université de Guelma
Encadreur : Mme.BENBELKACEM S. (M.A.A) Université de Guelma

2019 /2020

Remerciements

«La connaissance est la seule chose qui s'accroît lorsqu'on la partage»

Nous présentons tous nos remerciements à notre encadreur « Benbklacem Sofia » d'avoir accepté de nous encadrer, pour toute son aide, sa disponibilité, son suivi, et sa confiance.

Nous exprimons également notre gratitude aux membres de jury,

Mme « Merabet Rym » maître de conférence à l'université de Guelma, d'avoir accepté de présider notre jury

Nos remerciements vont également à Mme « Boumaza Awatif » qui a accepté d'examiner et juger ce modeste travail.

Nous n'oublions pas de présenter nos remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation et l'accomplissement de ce travail.

Merci à tous

Dédicace

Avant toute chose je remercie Allah

Le tout puissant de m'avoir donné la santé, la patience et le courage pour réaliser ce travail.

Je dédie ce travail

À Ma mère

Pour son amour inestimable, sa confiance, son soutien, ses sacrifices et toutes les valeurs qu'elle m'a inculqué.

À mon père

Qui m'a encouragé et conseillé, tous les mots ne puissent exprimer mon amour et mon respect Que Dieu le Tout Puissant te procure, santé et longue vie.

À mes frères et mes sœurs,

Pour toutes nos chamailleries passées mais surtout pour l'amour de ce même sang qui coule dans nos veines.

À ma Famille, Sikni

À mes partenaires Amel et Ikram

À tous mes amies

Et particulièrement : Hanane, Salma, Marwa, Ebtissam

Et à tous mes amis de la promotion

Master en Biologie Moléculaire et Cellulaire,

Merci pour l'ambiance, je vous aime tous.

À Tous mes professeurs durant tout mon parcours

Merci d'être toujours là pour moi

FAYZA

Dédicace

« A l'aide de dieu le tout puissant »

Je dédie ce travail à

Ma mère : Souhila

« Tu m'as donné la vie, la tendresse et l'amour, ton soutien et tout les sacrifices consentis pour ma réussite dans la vie, que dieu te garde pour nous »

A mon père : DJamel :

« Qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et d'encouragement pour avancer dans ma vie »

Une dédicace spéciale pour mon grand père « Mouhamed » :

« Merci pour ton soutien et ton encouragement dans ma vie scolaire, j'espère que dieu te préserve et te procure santé et longue vie »

A mes frères, ma chère sœur

A mes cousines et ma grande famille : Ferdjallah

Sans oublier Mes chers amis

À mes partenaires Fayza et Ikram

« A Toute Personne Qui Ma Aimé et ma soutenu même avec des mots doux »

Amel

Dédicace

*A l'aide de dieu le tout puissant, Nous avons pu réaliser ce travail que
je dédie*

A Maman

*Celle qui m'a toujours aimé, soutenue dans toutes les situations, forte et
tendre et douce tu n'espères que nous voir réussir et nous ne
souhaitons que te faire plaisir, je souhaite être a la hauteur de tes
espérances. Je T'aime Maman, que dieu te protège et te garde pour
moi.*

A papa

*Celui qui ma accorder tant d'Attention, d'Amour, d'Aide et
d'Encouragement, tout ce que je peux te dire ne peut jamais te décrire,
ni te remercier assez pour tout ce que tu m'apportes en continue, car à
mes yeux tu es le Meilleur Papa au monde, et le plu beau cadeau de
ma vie, que dieu te protège et te garde pour moi.*

*A toute ma familles, Fislî de partager tous ces bons moments ensemble
et à la joie d'être si proches.*

À mes partenaires Fayza et Amel

A Ma chère Amis Chiraz

*A tous ceux qui nous ont aidés de prés ou de loïn pour
réaliser ce travail*

IKRAM

Résumé

Le blé est une céréale importante en termes de consommation humaine dans de nombreux pays du monde. Il est cultivé principalement dans les pays du bassin Méditerranéen à climat arides et semi-arides. Dans ces zones, la salinité des sols et des eaux d'irrigation est l'un des facteurs limitant de la productivité végétale et du rendement agricole. Ce travail est une étude bibliographique sur le comportement biochimique et enzymatique du blésous contrainte saline (dosage croissant en NaCl).

Cette étude confirme que le stress salin induit la production de formes actives d'oxygène suite à l'altération du métabolisme au niveau des mitochondries et chloroplastes. Ces formes actives d'oxygène provoquent un stress oxydatif dont les effets néfastes se répercutent sur différents composants cellulaires tels que les lipides membranaires, les protéines et les acides nucléiques. De ce fait, la réduction de ces dommages oxydatifs via le déploiement d'une panoplie d'anti-oxydants pourrait contribuer à améliorer la tolérance des plantes au stress.

Mots clés : salinité, blé, ERO, stress oxydatif, enzymes antioxydants, NaCl.

ملخص

القمح من الحبوب المهمة من حيث الاستهلاك البشري في العديد من البلدان في مختلف أنحاء العالم، وهي تزرع أساسا في بلدان حوض البحر الأبيض المتوسط ذات المناخ الجاف وشبه الجاف، وفي هذه المناطق، تشكل ملوحة التربة ومياه الري أحد العوامل المحددة لإنتاجية النباتات والعائد الزراعي.

هذا العمل هو دراسة ببليوغرافية عن السلوك الكيميائي والإنزيمي الحيوي للقمح تحت ضغط الملوحة (زيادة نسبة NaCl)، تؤكد هذه الدراسة أن الإجهاد الملحي يحفز إنتاج أشكال نشطة من الأكسجين نتيجة لتغير الأيض في الميتوكوندريا والكلوروبلاست، وتتسبب هذه الأشكال النشطة من الأكسجين في الإجهاد التأكسدي، الذي تأتي آثاره السلبية على المكونات الخلوية المختلفة مثل الدهون الغشائية والبروتينات والأحماض النووية، ونتيجة لهذا فإن الحد من أضرار التأكسد هذيم من خلال نشر مجموعة من مضادات الأوكسدة التي تساعد في تحسين قدرة النباتات على الإجهاد الملحي.

الكلمات المفتاحية: القمح، ERO، الإجهاد التأكسدي، إنزيمات مضادات للأوكسدة، NaCl.

Abstract

Wheat is an important grain in terms of human consumption in many countries around the world. It is cultivated mainly in the countries of the Mediterranean basin with arid and semi-arid climate. In these areas, the salinity of soils and irrigation water is one of the limiting factors of plant productivity and agricultural yield. This work is a bibliographic study on the biochemical and enzymatic behaviour of wheat under saline stress (increasing NaCl determination).

This study confirms that saline stress induces the production of active forms of oxygen as a result of altered metabolism in mitochondria and chloroplasts. These active forms of oxygen cause oxidative stress, the adverse effects of which affect different cellular components such as membrane lipids, proteins and nucleic acids. As a result, the reduction of these oxidative damages through the deployment of a range of antioxidants could help to improve the tolerance of plants to stress.

Keywords: salinity, wheat, ERO, oxidative stress, antioxidant enzymes, NaCl.

Liste d'abréviations

ABA : Acide Abscissique	GSSG : Glutathionoxydé
ADN : Acide désoxyribonucléique	GST : Glutathion S-transférase
AOX : Oxydase Alternative	H⁺ : Hydrogène
APX : Ascorbate Peroxydase	HO[•] : Radical hydroxyle
ASC : Ascorbate ou Acide L Ascorbique	His : Histidine
ATPases : H ⁺ Adénosine Tri Phosphatase	H₂O₂ : Le peroxyde d'hydrogène
Arg : Arginine	HKT1 : Transporteur de potassium à haute affinité
CCI : Centre international de céréales	HNE : 4-Hydroxy-2-nonenal
CAT : Catalase	ITGC : Institut Technique de Céréales
CAM : Crassulacean acidemétabolisme	K⁺ : Potassium
CTE : Chaîne de Transport d'Electrons	LPO : la peroxydation lipidique
CO₂ : Dioxyde carbone	Lys : Lysine
Cm : Centimètre	Mn : manganèse
Ca⁺⁺ : Cation de calcium	MV : Méthyle viologen
Cu Zn-SOD : Cuivre/ Zinc-Superoxyde	MDA : Malondialdéhyde
Cys : Cystéine	Met : Méthionine
DPPH : 2,2-diphényl-1picrylhydrazyle	mm : Millimètre
EOA : Espèces oxygénées actives	Mg So₄ : Sulfate de magnésium
ERO : Espèces réactives de l'oxygène	Mh : Million hectar
ERA : Espèces réactives de l'azote	NaCl : Chlorure de sodium
ETC : Complexe transport des électrons	NAD : Nicotinamide Adénine Dinucléotide
Fe : Fer	Na Co₃ : Bicarbonate de sodium
FAO : Food and Agriculture Organization	Na Co₄ : Sulfate de sodium
Fd : Ferodoxyne	NO : Monoxyde d'azote
GPx : Glutathion peroxydase.	NO₃ : Nitrate
GR : Glutathion réductase	
GSH : Glutathione réduit.	

NADH: Nicotinamide Adénine
Dinucléotide

NADPH: Nicotinamide adenine
dinucléotide phosphate

O₂^{·-} : L'oxygène singulet

O₂^{•-}: L'anion superoxyde

OH•: Radical hydroxyle

ONOOH : le nitroperoxyde

P : Phosphore

pH : potentiel Hydrogène

PPases : Phosphatase

Pox : Peroxydase

Pro : Proline

PSI : Photosystème I

PSII : Photosystème II

RNS: Reactive nitrogen Spices

R': Radicaux libres Alkyle

ROO': Radicaux libres peroxy

C : Concentration

V : Volume

Q : Quantité

Liste des figures

Figure 1: Le blé tendre	5
Figure 2: Evaluation de la production mondiale de blé entre 2015-2019.....	6
Figure 3: la morphologie d'une plante de blé.....	9
Figure 4: Structure du grain de blé.....	10
Figure 5: Cycle de développement doublé.....	13
Figure 6: Synthèse des principaux mécanismes cellulaires de perception, signalisation et réponse aux stress salins chez la plante.....	24
Figure 7: Composantes de la balance entre les molécules anti- et pro-oxydantes.....	29
Figure 8: Neutralisation d'un radical libre par un antioxydant.....	32
Figure 9: Schéma modifié de l'origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène impliqués en biologie	33
Figure 10: Principaux sites de production des ROS dans la cellule végétale.....	35
Figure 11: Aperçu des différentes espèces réactives de l'oxygène (ERO) et des antioxydants régulateurs de leur production.....	44

Liste des tableaux :

Tableau 1: Évolution de la production (millions de tonne) des blés en Algérie	7
Tableau 2: Systématique du blé tendre selon.	8
Tableau 3: Composition chimique du grain de blé.....	10
Tableau 4: Classification des principaux marqueurs de stress oxydant.	30
Tableau 5: Origines et localisations des espèces réactives de l'oxygène.....	31

Table des matières

Résumé	
Liste d'abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	1
PARTIE 01 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	
Chapitre I : Présentation de l'espèce étudiée	
1. Généralité sur le blé.....	5
2. Importance économique du blé.....	6
2.1 : Dans le monde	6
2.2 : En Algérie.....	7
3. Origine et classification de blé tendre	8
3.1 : Origine	8
3.2 : Classification botanique.....	8
4. Biologie et cycle de développement de blé tendre.....	9
4.1. Description de la plante du blé	9
4.2. Structure et composition d'un grain de blé	9
4.2.1. La structure du grain.....	9
4.2.2. Compositions chimiques des différentes parties du grain de blé	10
4.3. Cycle de développement du blé.....	11
4.3.1. La période végétative.....	11
4.3.2. La période reproductrice	11
4.3.3. La période de grossissement et de maturation du grain.....	12
5. Exigence écologique du blé	13
5.1. La température.....	13
5.2. Lumière	14
5.3. L'eau	14
5.4. Le sol	14
5.5. Fertilisation	14
Chapitre II : Salinité et stress salin	
1. Le stress chez la plante.....	16
1.1. Notion de stress.....	16
1.2. Catégories de stress et conséquences	16
1.2.1. Le Stress biotique	16
1.2.2. Le stress abiotique	16
1.2.2.1. Les contraintes abiotiques et leurs effets sur la plante	16
1.2.2.2. Les types de stress abiotique.....	17

2. La salinité et problème de salinisation	17
2.1. Définition de la salinité	17
2.2. Problème de salinisation.....	18
2.3. Origine et importance de la salinité.....	18
2.3.1.Origine de la salinité	18
2.3.2. Importance de la salinité.....	18
2.4. Composantes de la salinité.....	19
2.4.1. Le stress osmotique	19
2.4.2. Le stress ionique.....	19
2.4.3. Le stress nutritionnel	19
2.5.4 Le stress oxydatif	19
2.5. L'effet de la salinité sur la plante	20
2.5.1. Effet de la salinité sur la germination	20
2.5.2. Effet da la salinité sur la morphologie de la plante (croissance et développement).....	21
2.5.3. Effet de la salinité sur la physiologie de la plante	21
2.5.4. Effet de la salinité sur le rondement économique	22
2.6. Mécanismes d'adaptation au stress salin	22
2.6.1. Compartimentation vacuolaire	22
2.6.2. Exclusion des ions toxique	22
2.6.3. Ajustement osmotique	23
2.6.4.Biosynthèse de solutés compatibles.....	24
2.6.5. Régulation de la croissance	26
2.6.6. Induction des enzymes antioxydants.....	26

Chapitre III : Le Stress Oxydatif

1. le stress oxydatif chez les plantes	28
1.1. La définition du stress oxydatif et son origine	28
2. Classification des marqueurs du stress oxydatif	29
3. Les Espèces réactives de l'oxygène	30
3.1. La définition des espèces réactive de l'oxygène	30
3.2. Les radicaux libres.....	32
3.3. La formation des espèces réactives de l'oxygène :	32
3.4. Les différents types des ROS.....	33
3.5. La Source des radicaux libres	34
4.Conséquence du stress oxydatif dans la plante	35
5.Les mécanismes Antioxydants	38
5.1. Les oxydases alternatives (AOX).....	39
5.2.Les antioxydants.....	39

5.2.1. Antioxydant enzymatique	39
5.2.2. Système antioxydant non enzymatique	41
5.3. Rôle des antioxydants dans la prévention des dommages oxydatifs	44

PARTIE 02 : ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Les principales techniques étudiées sur le stress salin et oxydatif	46
2. Les travaux expérimentaux	48
2.1. Analyses biochimiques	49
2.2. Les paramètres enzymatiques	51
3. Résultat et discussion	53
CONCLUSION GENERALE	57
Référence bibliographiques	60
ANNEXES	80

Introduction générale

Introduction générale

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Elles sont considérées comme une principale source de la nutrition humaine et animale (**Slama *et al.*, 2005**). Selon la **FAO (2007)** leur production arrive jusqu'à 2 Milliards de tonnes.

En Algérie la culture des céréales est fort ancienne, elle couvre actuellement une surface de 3,3 millions d'hectares soit 40 % de la surface agricole utile (**Anonyme, 2011**). Le blé tient une place de premier ordre parmi les cultures céréalières, qui constituent la majorité des ressources énergétiques dont dépend la population algérienne.

Le blé tendre est une céréale importante en termes de consommation humaine dans de nombreux pays dans le monde. Cependant, dans les milieux arides et semi-arides, les stress abiotiques imposent des limites au développement de la plante. La résistance à ces stress est dépendante du génotype qui développe des mécanismes morphologiques, physiologiques, ou biochimiques pour éviter ou tolérer la contrainte (**Neffar, 2013**).

En région méditerranéenne, la salinité constitue une contrainte dans beaucoup de périmètre de grandes cultures, où la qualité de l'eau joue un rôle majeur et où la recherche de plantes adaptées à des seuils élevés de salinité devient impérative pour la production agricole. L'Algérie qui offre toute la variante du climat méditerranéen, n'échappe pas à ce phénomène, où la sécheresse, observée depuis longtemps a conduit manifestement au processus de salinisation des sols sur 3.2 millions hectares affectés (**Benmahioul *et al.*, 2009**).

Les fortes doses de sel peuvent causer un déséquilibre ionique et une toxicité chez les plantes, ce qui peut affecter certains processus métaboliques vitaux (**Taffouo *et al.*, 2008**).

L'effet négatif de la forte salinité peut être observé au niveau de la plante entière comme la mort de la plante et /ou la diminution de la productivité. Beaucoup de plantes développent des mécanismes adaptatifs soit par exclusion du sel de leurs cellules ou par la tolérance de sa présence dans les cellules (**Parida et Das, 2005**). L'accumulation du sodium dans les organes de la plante à la suite d'une entrée massive de certains ions toxiques tel que le chlore commence à exercer une action toxique, qui se manifeste par des lésions sur les feuilles, dès que la teneur en cet élément atteint 0,05% dans les tissus, la sensibilité à cet élément est variable suivant les espèces. (**Gouny et Brachet, 1967 ; El Mekkaoui, 1990**).

Cet effet est attribué à un excès d'ions qui interfèrent avec le métabolisme de la plante et engendrent l'incapacité de celle-ci à acquérir des éléments nutritifs d'où l'inhibition de l'action enzymatique, la division cellulaire et la perte des substrats respiratoires (**Gadallah, 1999**).

Une conséquence des stress environnementaux, comprenant le stress salin, est l'apparition du stress oxydatif (**Hernandez et al., 2001**), c'est-à-dire l'accumulation d'espèces réactives d'oxygène (ERO) à des concentrations élevées (**Azevedo et al., 2006**), qui endommagent les structures cellulaires (**Smirnoff, 1993 ; Parent et al., 2008**). Ces derniers sont à l'origine du dysfonctionnement de l'appareil photosynthétique et les autres troubles métaboliques (**Rahnama et Ebrahimzadeh, 2005**). La plupart d'entre eux sont des peroxydes d'hydrogène, des radicaux hydroxyles et des anions superoxyde (**Azevedo et al., 2006**).

La détoxification des ERO constitue un élément clé de défense des plantes contre les stress abiotiques dont le stress salin. Les enzymes responsables de cette détoxification nommées antioxydants incluent la superoxydedismutase (SOD), la catalase (CAT), et des enzymes du cycle ascorbate-glutathion (**Hernandez et al., 2001**).

L'objectif de notre travail est axé sur l'étude de l'effet d'un stress salin induit sur la réponse oxydative chez des variétés de blé tendre. Cette petite étude bibliographique était au début un travail pratique, qui a été modifié en théorie par la force des choses due à la situation sanitaire mondiale et du pays (virus de covid 19).

Nous avons divisé ce travail en deux grandes parties : Nous proposons **dans une première partie** après l'introduction une revue bibliographique comportant trois chapitres :

- Le premier est une présentation de l'espace étudiée. Qu'on a tenu à présenter même si le travail n'est pas pratique
- Le deuxième dans le sens de la compréhension d'un stress salin et leur effet et des mécanismes liés à la salinité.
- Le troisième chapitre sur le stress oxydatif.

La deuxième partie : Dans l'analyse bibliographique on expose quelques techniques d'étude du stress oxydatif, et une petite analyse de deux travaux sur cet axe, de leurs résultats et surtout la relation entre stress salin et réponse oxydative chez ces plantes.

Et enfin une **conclusion**

PARTIE 01 :

SYNTHESE

BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I :
Présentation de l'espèce
étudiée

1. Généralité sur le blé

Le blé est une plante herbacée monocotylédone qui appartient la famille des *Gramineae*. Cultivée principalement pour ces grains qui sont un fruit sec appelé caryopose (*Feuillet, 2000*).

On distingue deux espèces de blé : le blé tendre « *Triticum aestivum* » (**figure 1**) et le blé dur « *Triticum durum* », il se différencie par la friabilité de l'amidon qui est plus important pour le blé tendre et permet la transformation en farine, et par d'autres caractéristiques morphologiques, physiologiques, cytologiques et technologiques (*Hamadache, 2013*).



Figure 1: le blé tendre (*François-Xavier, 2014*).

Le blé tendre est utilisé pour : la panification, la pâtisserie, la biscuiterie, il est panifiable (*François-Xavier, 2014*).

Le blé dur est utilisé pour : les pâtes alimentaires, les semoules, les couscous, il est pastifiable (*Abecassis, 1993*).

Chacune de ces espèces compte plusieurs variétés dont les caractéristiques sont très diversifiées par leur composition que par leur qualité technologique.

2. Importance économique du blé

2.1 : Dans le monde

Les céréales notamment le blé dur et tendre, l'orge, le ris ...fournissant plus de 50% des besoins énergétiques des êtres humain, elles occupent une position stratégique dans l'économie internationale (**Ben Mbarek et Boubaker, 2017**).

Parmi ces céréales le blé occupe la deuxième place pour la production mondiale après le maïs, et la première place avant le riz comme source de nourriture pour les populations humaines, en assurent 10% de ces besoin énergétiques (**Bajji, 1999**).

La culture du blé est pratiquée par tous les pays du monde, selon la prévision la production total de blé en 2019 s'élèvent à 767 million de tonnes, soit 5% de plus qu'en 2018 (**FAO, 2019**), grâce notamment à l'amélioration des rendement après la grand révolution, le blé dur représente une part très réduit (5%) en terme de superficie et production par à port au blé tendre .En 2017/18 la production mondiale de blé dur est de 39 million de tonnes, alors que le blé tendre est de 712 million de tonnes (**CCI , 2018**)(figure2).

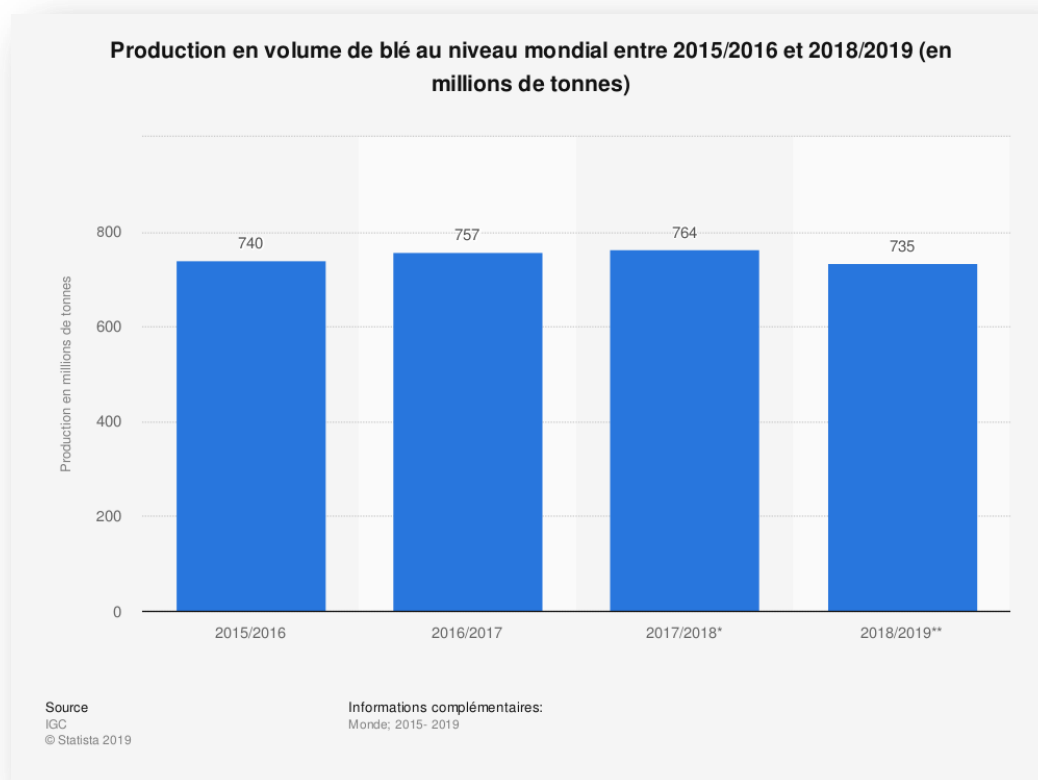


Figure 2: Evaluation de la production mondiale de blé entre 2015-2019

(**CCI, 2019**).

L'union européenne, la chine, l'Inde, la Russie et les états- unis sont les grands producteurs de blé, ils construisent avec 70,51% à la production mondiale.

Les pays exportateurs sont : les états-unis, l'UE, canada, l'Australie, ainsi que la Russie.

Les grands importateurs sont : l'Egypte, le Brésil, l'Indonésie et l'Algérie (FAO, 2016).

2.2 : En Algérie

Les céréales jouent un grand rôle dans l'agriculture nationale puisqu'elle occupe 40% de la surface agricole utile près de 3,3 millions hectares en 2011. Au planspatial, le blé dur avec l'orge représentent 80% de la sole céréalière (Madr, 2011).

La production de blé entre 2018 et 2019 à été estimée à 3.9 million tonnes soit 1000 tonnes de plus que l'année précédente (FAO, 2019).

Les deux espèces les plus cultivées en Algérie sont le blé dur (*Triticum durum*) et le blé tendre (*Triticum aestivum*) (Feillet, 2000). Leur production entre 2007et 2012a été estimée à 15.33 millions de tonnes ; réparti entre 70 % de blé dur et 30 % de blé tendre. Selon la FAO (2017), les besoins d'importations céréalières algériennes pour l'année 2017 sont estimés à 13,6 millions de tonnes, ce qui fait de l'Algérie l'un des premiers importateurs de blé au monde, spécialement le blé tendre (tableau 1).

Tableau 1: Évolution de la production (millions de tonne) des blés en Algérie (ITGC, 2013)

Spécifications	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Blé dur	1.5	0.8	2.0	1.8	2.2	2.4
Blé tendre	0.8	0.3	1.0	0.8	0.7	1.0
Total blé	2.3	1.1	3.0	2.6	2.9	3.4

En générale la production de blé dans les années passés en Algérie ne couvre pas les besoins nationaux ce qui en gendre les recours à l'importation (Benbelkacem, 2007).

3. Origine et classification de blé tendre

3.1. Origine

L'aire d'origine des blés est le Proche-Orient, dans la zone dite du croissant fertile, l'Irak, la Syrie et la Turquie (**Baldy, 1986**). La diffusion du blé vers l'Europe, l'Asie et l'Afrique du nord est très ancienne. Le blé tendre (*Triticum aestivum*) est apparu il y a 7000 à 9500 ans, probablement par la domestication des blés. Les botanistes classent le blé tendre dans le groupe des blés hexaploïdes ($2n=42$). Le blé hexaploïde (*Triticum aestivum*) à génome (BBAADD) est très vraisemblablement apparu seulement après la domestication des blés diploïdes et tétraploïdes (**Belagrouz, 2013**).

3.2. Classification botanique

La classification botanique du blé tendre est mentionnée dans **le tableau 2** :

Tableau 2: Systématique du blé tendre selon (**Bonneuil et al., 2009**) in (**Abdani et Bakhti, 2017**).

Règne:	<i>végétalPlantae</i>
Sous-règne:	<i>Tracheobionta</i>
L'embranchement:	<i>Magnoliophyta</i>
Classe:	<i>Liliopsida</i>
Sous-classe:	<i>comelinidae</i>
Ordre:	<i>Cyperales</i>
Famille:	<i>Poaceae</i>
Sous-famille:	<i>pooideae</i>
Tribu:	<i>Triticeae</i>
Genre:	<i>Triticum</i>
Espèces:	<i>Triticum aestivum</i> (BléTendre).

4. Biologie et cycle de développement de blé tendre

4.1. Description de la plante du blé

C'est une plante herbacée annuelle, monocotylédone, à feuilles alternes, formée d'un chaume portant un épi constitué de deux rangées d'épillets sessiles et aplatis. Les fleurs de cette plante sont nombreuses, petites et peu visibles. Elles sont groupées en épis situés à l'extrémité des chaumes. La fleur est cléistogame, c'est-à-dire qu'elle reste fermée, la pollinisation s'effectuant par autogamie qui est le mode de reproduction le plus fréquent chez les blés. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscence (qui ne s'ouvre pas), appelé caryopse (Armand et Germain, 1992) (Figure 3).

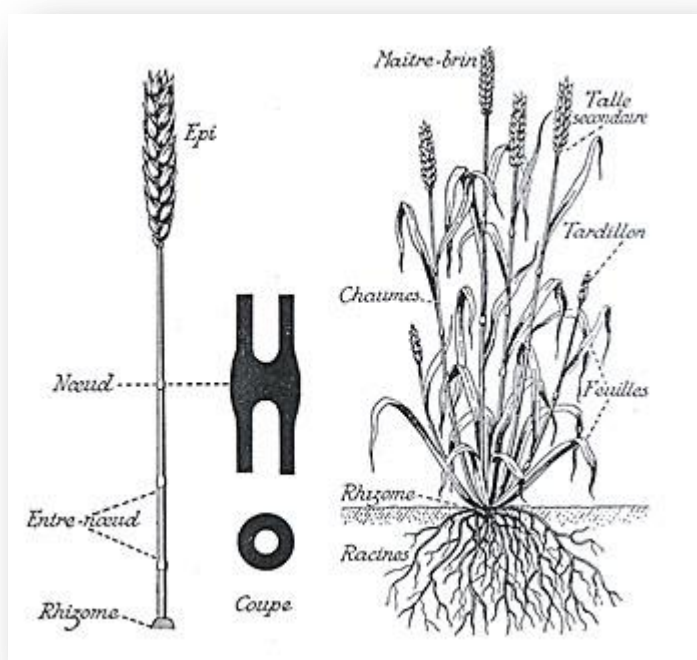


Figure 3: la morphologie d'une plante de blé (Anonyme, 2003).

4.2. Structure et composition d'un grain de blé

4.2.1. La structure du grain

Un grain de blé est formé de trois régions voir dans la (Figure 4) :

- **Albumen** : constitué de l'albumen amylicé (au sein duquel subsistent des cellules remplies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique et dont les parois celluliques sont peu visibles) et de la couche à aleurone (80 du grain).
- **Enveloppes de la graine et du fruit** : formées de six tissus différents : épiderme de nucelle, tégument séminal ou tasta (enveloppe de la graine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (13 à 17% du grain).

- **Germe (3%)** : composé d'un embryon (lui-même formé de la coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize et de coiffe) et du scutellum. (Feillet, 2000).

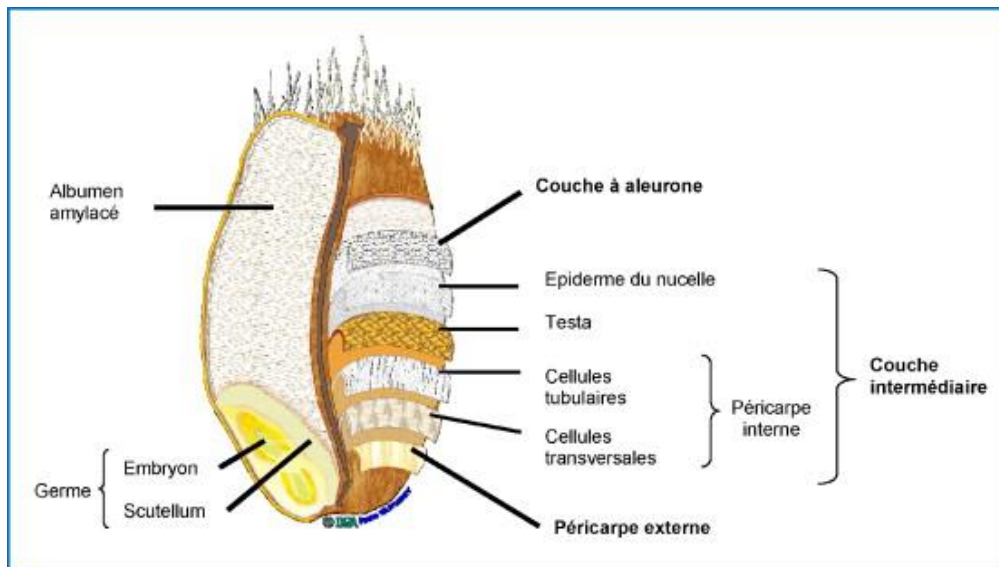


Figure 4: Structure du grain de blé (Surget et Barron, 2005).

4.2.2. Compositions chimiques des différentes parties du grain de blé

Le grain est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéine (10 à 15%) selon les variétés et les conditions de culture, les autres constituants, pondéralement mineurs (quelques% seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (Feillet, 2000) (tableau 3).

Tableau 3: Composition chimique du grain de blé (Feillet, 2000).

Nature des composants	Teneur (%ms)
Protéines	10-15
Amidon	67-71
Pentosanes	8-10
Cellulose	2-4
Sucre libre	2-3
Lipides	2-3
Matières minérales	1,5-2,5

4.3. Cycle de développement du blé

Le cycle évolutif du blé se divise en trois grandes périodes : la période de végétative, la période reproductrice et un période de maturation. Les modifications morphologiques résultant du processus de croissance et du développement. (Comme représenté dans la **Figure 5**).

4.3.1. La période végétative

Elle caractérise par un développement strictement herbacé et s'étend du semis jusqu'à la fin de tallage. Celle-ci se divise en deux phases :

- La phase germination-levée

La germination se traduit par la sortie des racines séminales de la coleorhize et à l'opposé, par la croissance d'un pré feuille, la coleoptiles (**Moule, 1971**).

- La phase levée-tallage

La production de talle commence à l'issue du développement de la troisième feuille, à 45jours environ après la date du semis (**Moule, 1971**). Les talles secondaires peuvent apparaitre et être susceptibles d'émettre des talles tertiaires. Le nombre de talles produites est fonction de la variété, du climat, de l'alimentation minérale et hydrique de la plante, ainsi que de la densité de semis (**Masale, 1980**).

4.3.2. La période reproductrice

-La phase montaison-gonflement

La montaison débute à la fin de tallage. Elle est caractérisée par l'allongement des entre nœuds et la différenciation des pièces florales. A cette phase, un certain nombre de talle herbacée commence à régresser alors qued'autres se trouvent couronnées par des épis. Pendant cette phase de croissance active, les besoins en élément nutritifs notamment en azote sont accrus. La montaison s'achèvera la fin de l'émission de la dernière feuille et les manifestations du gonflement que provoquent les épis dans la graine (**Clement-Grancourt et Prats, 1971**).

- La phase épiaison-floraison

Elle est marquée par la méiose pollinique et l'éclatement de la gaine avec l'émergence de l'épi. C'est au cours de cette phase que s'achève la formation des organes floraux

(l'anthèse) et s'effectue la fécondation. Cette phase est atteinte quand 50 % des épis sont à moitié sortis de la gaine de la dernière feuille (**Gate, 1995**).

4.3.3. La période de grossissement et de maturation du grain

- le grossissement du grain

Cette phase marque la modification du fonctionnement de la plante qui sera alors orientée vers le remplissage des grains à partir de la biomasse produite. Les besoins des grains sont inférieurs à ce que fournissent les parties aériennes (plus de $\frac{3}{4}$ de la matière sèche sont stockés au niveau des tiges et des feuilles). Par la suite, les besoins augmentent et le poids des grains dans l'épi s'élève, alors que la matière sèche des parties aérienne diminue progressivement.

Seulement 10% à 15% de l'amidon du grain peut provenir de réserves antérieures à la floraison. A l'issue de cette phase, 40 à 50% des réserves sont accumulées dans le grain qui, bien qu'il ait atteint sa taille définitive, se trouve encore vert et mou, c'est le stade « grain laiteux ». L'autre partie des réserves se trouve encore dans les tiges et es feuilles qui commencent à jaunir (**Boulelouah, 2002**).

- Maturation du grain

La phase de maturation succède au stade pâteux (45 % d'humidité). Elle correspond à la phase au cours laquelle le grain va prendre progressivement son humidité.

Cette phase débute à la fin du palier hydrique marqué par la stabilité de la teneur en eau du grain pendant 10 à 15 jours. Au-delà de cette période, le grain ne perdra que l'excès d'eau qu'il contient et passera progressivement aux stades « rayable à l'angle » (20 % d'humidité) puis, « cassent sous la dent » (15-16 % d'humidité) (**Gate, 1995**).

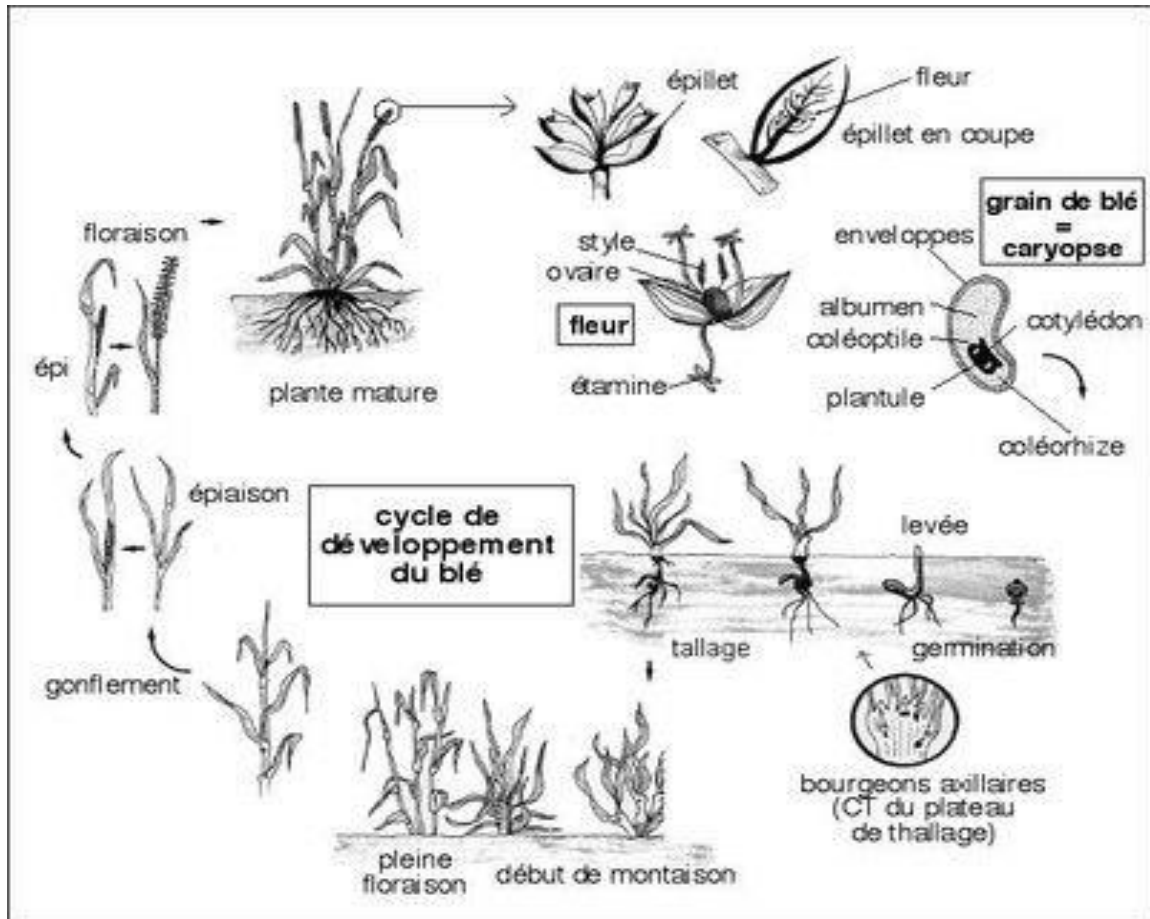


Figure 5: Cycle de développement du blé (Ouanzar, 2012).

5. Exigence écologique du blé

5.1. La température

Elle joue un rôle dans la vitesse des réactions chimiques. A faible température, la plante est en vie ralentie, il n'y a pas de synthèse de matière organique. Lorsque la température s'élève, les réactions chimiques de la photosynthèse sont stimulées, ceci jusqu'à une valeur optimale. (Battinger, 2002).

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

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

5.2. Lumière

La lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement de blé. Un bon tallage et garanti, si le blé est placé dans les conditions optimale d'éclairements (**Siouda et Benkhelifa, 2016**).

5.3. L'eau

Le blé exige une humidité permanente durant tout le cycle de développement, l'eau est demandée en quantité variable. Les besoins en eau sont estimés à environ 800 mm (**Soltner, 2000**).

5.4. Le sol

Les sols qui conviennent le mieux au blé sont des sols drainés, profonds et dépourvus de calcaire actif. Un pH de 6.5 à 7.5 semble le plus convenable à la culture du blé puisqu'il favorise l'assimilation de l'azote (**Ben Mbarek et Boubaker, 2017**).

5.5. Fertilisation

Les cultures annuelles telles que le blé craignent la carence en phosphore (P) et en potassium (K) et en azote quand elles sont jeunes car leurs racines n'exploitent qu'une faible partie du sol. La fertilisation azote-phosphorique est très importante dans les régions sahariennes dont les sols sont squelettiques, elle sera en fonction des potentialités des variétés, le fractionnement de l'azote est une nécessité du fait de la grande mobilité de cet élément (**Ouanzar, 2012**).

Chapitre II :
Salinité et stress salin

1. Le stress chez la plante

1.1. Notion de stress

Selon **Levitt (1980)**, le terme stress désigne un facteur de l'environnement induisant une contrainte potentiellement néfaste sur un organisme vivant.

D'après **Dutuit *et al.*, (1994)**, le stress est le dysfonctionnement (rupture d'un équilibre fonctionnel) produit dans un organisme ou dans un système vivant, par exemple par une carence. Le stress est donc, un ensemble de conditions qui provoquent des changements de processus physiologiques résultant éventuellement de dégâts, dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement.

On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. En revanche, la réponse du végétal dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, tels que : le type de contrainte, son intensité, sa durée et caractéristiques génétiques : espèce et génotype (**Hopkins, 2003**).

1.2. Catégories de stress et conséquences

La plante et la plupart de ses cellules sont directement exposées aux changements des conditions environnementales qui peuvent être de deux natures distinctes :

1.2.1. Le Stress biotique

Ce terme représente la totalité des paramètres physico-chimiques ou biologiques qui découlent de l'existence de l'action des êtres vivants. Les facteurs biotiques caractérisent donc l'ensemble des influences qu'exercent les êtres vivants entre eux et sur leur milieu (**Ramade, 2003**).

1.2.2. Le stress abiotique

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

1.2.2.1. Les contraintes abiotiques et leurs effets sur la plante

En milieu variable la plante est plus soumise à une série de contraintes de nature abiotique qui réduisent sa capacité de reproduction (**Djakoun et Ykhlef, 1996**). Les plus importantes de ces contraintes, suite aux rôles majeurs qu'elles jouent dans les fonctions essentielles de la plante, sont la variation de précipitation, de la température de l'humidité du sol, de l'air ambiant, et de la salinité.

Certains stades végétatifs sont particulièrement sensibles à ces contraintes abiotiques, donc les stress se traduisent chez les plantes par des changements morphologiques, physiologique, et moléculaire qui affectent leur productivité (**Wangxia et al., 2003**).

1.2.2.2. Les type de stress abiotique

a. Le stress hydrique

Le stress hydrique a été défini comme une baisse de la disponibilité de l'eau, traduisant par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa reproduction par rapport au potentiel du génotype. La contrainte hydrique est le facteur ou l'ensemble de facteurs ayant pour conséquence le stress. D'autres auteurs limitent la définition du stress aux seules conditions correspondant à une hydratation suboptimale des tissus (**Lamaze et al., 1994**).

b. Le stress thermique

Selon **Hopkins (2003)**, Le stress par des températures élevées induit la synthèse d'un groupe de protéines de stress particulières, la sensibilité des plantes aux températures extrêmes et très variables, certaines sont tuées ou lésées par des baisses modérées de température, alors que d'autres parfaitement acclimatées, sont capables de survivre au gel à des dizaines de degrés °C en dessous de zéro.

c. Le stress salin

Le stress salin est un excès d'ions en particulier mais pas exclusivement aux ions Na⁺ et Cl⁻ (**Hopkins, 2003**). Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sels potentiels hydriques. Il réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes, on parle alors de milieu "physiologiquement sec" (**Tremblin, 2000**). La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter, sans grand dommage pour leur culture, varie avec les familles, les genres et les espèces, mais aussi les variétés considérées (**Levigneron et al., 1995**).

2. La salinité et problème de salinisation

2.1. Définition de la salinité

La salinité est la quantité de sels actuelle accumulée dans le profil d'un sol ou dans les organes d'une plante. De ce fait, la salinisation représente le processus par le lequel les sels solubles s'accumulent dans le sol. La salinisation se présente comme étant la cause majeure de la dégradation des sols. Elle est à l'origine de la chute de production agricole dans les périmètres irrigués en zones arides et semi-arides (**Iptrib, 2006**).

2.2. Problème de salinisation

La Salinisation des sols et de l'eau, est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétales (Al-Karaki, 2000; Baatour *et al.*, 2004) et le rendement agricole (Zid et Grignon, 1991; Zhu, 2001).

En effet la présence du sel dans le sol, affectant sur les mécanismes physiologiques de la plante est un facteur limitatif majeur de la productivité agricole (Bouchaddi, 2009). Dans les écosystèmes arides et semi arides, elle résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol (Munns *et al.*, 2005) et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie (Baba sidi kaci, 2010).

Généralement le monde perd en moyenne 10 hectares de terres cultivables par minute dont 3 hectares à cause de la salinisation (kovda, 1983). Aujourd'hui il y'a à peu près 400 Mha des terres qui sont affectés par la salinisation (Bot *et al.*, 2000). En Afrique, près de 40 Million hectares sont affectés par la salinisation, soit près de 2% de la surface totale (Iptrib, 2006). L'Algérie fait partie du groupe des pays méditerranéens où la sécheresse, observée depuis longtemps, a conduit manifestement au processus de salinisation des sols (Mahrouz, 2013).

2.3. Origine et importance de la salinité

2.3.1. Origine de la salinité

On distingue deux origines de la salinité :

La salinité primaire

Naturel : géologique, marine actuelle ou ancienne, pétrographique due aux ions libérés par l'altération de certaines roches sédimentaire, volcanique, hydrothermale, la dynamique des eaux, éolienne apportée par des embruns (Baba Sidi kaci, 2010).

La salinité secondaire

Anthropique induite par la mise en valeur hydro agricole et autres aménagements (eaux d'irrigation, remontées de nappes phréatiques, engrais, solutions nutritives des serres et des cultures hors sol, effluents urbains, etc.) (Hasan, 1995).

2.3.2. Importance de la salinité

La salinité est un indicateur dynamique de la nature du régime de change. C'est un paramètre écologique important dans son propre droit, La concentration totale est plus importante car la plupart des cultures répondent à la concentration ionique totale du milieu de croissance (effet osmotique) plutôt qu'à un ion spécifique (Baba Sidi kaci, 2010).

La salinité présente des effets bénéfiques sur la germination et la croissance de quelques espèces à des niveaux très faibles (bien que non quantifiés par les auteurs) de Na_2SO_4 , de NaCl , de MgSO_4 et de NaCO_3 (Asloum, 1990).

2.4. Composantes de la salinité

Les composantes de la salinité sont : les stress osmotique, ionique, nutritionnel et oxydatif.

2.4.1. Le stress osmotique

La première conséquence de la salinisation tient à la modification du potentiel osmotique de la solution du sol, lorsque la teneur en sels croît (Selonsong *et al.*, 2005), plus la solution du sol est salée, plus la pression osmotique est élevée et plus il est difficile pour les racines d'extraire l'eau de la réserve du sol. Il en résulte ainsi un ralentissement de leur croissance. D'après (Chinnusamy *et al.*, 2004) la concentration en sels dépend de la teneur en eau du sol et augmente avec le dessèchement ; c'est pourquoi l'excès de sels qui affecte les plantes est atteint beaucoup plus rapidement dans un sol sableux que dans un sol argileux qui piège les ions Na^+ via les charges négatives de l'argile.

2.4.2. Le stress ionique

En dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique (Parida et Das, 2005).

2.4.3. Le stress nutritionnel

Selon Snoussi et Halitim (1998), certains sels peuvent affecter la balance nutritionnelle chez les plantes s'ils sont présents en concentration excessive ou en proportion anormale. La présence excessive d'ions sodique, chlorique et borique peut provoquer une augmentation du pH du sol, ce qui a un effet indirect sur l'impossibilité d'absorption des ions ferreux, phosphate, zinc et manganèse indispensables pour la croissance des plantes (Maillard, 2001).

Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition. Selon Tester et Davenport (2003), (En Jaboune, 2008) les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol.

2.5.4 Le stress oxydatif

Selon **Parent *et al.*, (2008)** une conséquence des stress environnementaux, comprenant le stress salin, est l'apparition du stress oxydatif, c'est-à-dire l'accumulation d'espèces réactives d'oxygène (ERO) à des concentrations élevées, qui endommagent les structures cellulaires. Ces derniers sont à l'origine du dysfonctionnement de l'appareil photosynthétique et les autres troubles métaboliques. La plupart d'entre eux sont des peroxydes d'hydrogène, des radicaux hydroxyles et des anions superoxyde (**Rahnama et Ebrahimzadeh, 2005**). Des antioxydants nécessaires pour faire face au ERO et de maintenir leur concentration à faible niveau dans les cellules lors du stress (**Reddy *et al.*, 2004**).

2.5. L'effet de la salinité sur la plante

La salinité constitue un facteur limitant non négligeable pour l'agriculture mondiale (**Hillel, 2000**). L'effet de la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par une réduction de la croissance et le développement (**Munns *et al.*, 1983**). Cet effet néfaste se traduit par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance et la productivité végétale (**Ashraf et Harris, 2004**).

2.5.1. Effet de la salinité sur la germination

La germination des plantes qu'elles que soient halophytes ou glycophytes est affectée par la salinité. Selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique (**Ismail, 1990**).

a. Effet osmotique

La salinité inhibe l'absorption de l'eau, la mobilisation des réserves et leur transport vers l'embryon. Cependant il existe un seuil critique d'hydratation que l'embryon doit atteindre avant le démarrage des processus germinatifs (**Ben Kaddour, 2013**).

b. Effet toxique

Les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination. **Rejili *et al.*, (2006)**, signalent qu'une bonne germination des graines et une émergence sous le stress salin est un critère valable pour garantir l'établissement adéquate dans les sols affectés par le sel. Cependant, **Ben Ahmed (1996)**, rapporte que la corrélation entre la tolérance au stade de germination des semences et la tolérance des plantes pendant les autres périodes de croissance n'est pas obligatoire.

2.5.2. Effet de la salinité sur la morphologie de la plante (croissance et développement)

La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente. Le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines. La salinité accrue est accompagnée par 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. 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 (**Bouزيد, 2009**).

2.5.3. Effet de la salinité sur la physiologie de la plante

Le sel peut exercer un effet inhibiteur sur les divers processus biochimiques impliqués dans la photosynthèse de même qu'il peut induire une fermeture des stomates limitant ainsi la concentration interne en CO₂ (**Alem et al., 2002**). Si la concentration en sel dépasse le niveau de tolérance dans le stroma des chloroplastes, cela perturbera le transport des électrons (**Baba Sidi kaci, 2010**). Des études ont montré que Na⁺ est beaucoup plus responsable de la réduction des échanges gazeux et du taux d'assimilation de CO₂ et donc la diminution de la croissance (**Rochdi et al., 2005**). De plus, **Cheikh M'hamed et al., (2008)** ont constaté que la teneur de chlorophylle diminue avec l'intensité du sel et que cette diminution est variable selon le génotype, comme ils ont montré aussi que l'intensité de la salinité provoque un abaissement du potentiel foliaire. Au stade de l'épiaison de blé tendre, la diminution de la transpiration est plutôt corrélée à la diminution de l'intensité de transpiration, alors qu'au stade de tallage, une diminution de l'intensité photosynthétique est aperçue. **Benkaddour (2014)**, montre que la salinité affecte la croissance des végétaux à travers de nombreux mécanismes du métabolisme cellulaire tels que ; l'absorption des éléments nutritifs, l'altération de la photosynthèse, la respiration, la synthèse des protéines et des acides nucléiques, l'accumulation des solutés organiques, l'activité des enzymes, l'équilibre hormonal et la disponibilité en eau. Dans des conditions salines, la membrane plasmique et le principal site de l'interaction du sel avec la plante ce qui induit une perturbation de la composition lipidique et protéique au niveau de celle-ci affectant ainsi sa stabilité (**Alem et al., 2001 ; Alem et al., 2005**).

2.5.4. Effet de la salinité sur le rendement économique

Les composantes du rendement tels que le nombre de talles par plante, les nombres d'épis, le nombre d'épillets par épi et le poids du grain, sont élaborés de façon séquentielle dans le temps. **Munns et Rawson (1999)** ont montré que tous les paramètres de rendement subissent une réduction sous l'action de la salinité et que, plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit.

2.6. Mécanismes d'adaptation au stress salin

La plante peut s'adapter au stress salin de différentes manières :

2.6.1. Compartimentation vacuolaire

La compartimentation vacuolaire consiste à évacuer du cytoplasme les ions Na^+ en excès vers la vacuole afin d'éviter leur effet toxique et inhibiteur à l'encontre des processus enzymatiques (**Flowers *et al.*, 1977**). Ce mécanisme de compartimentation vacuolaire est assuré par l'action d'un antiport vacuolaire sodium/proton (Na^+/H^+) dont l'énergie est fournie par les pompes à protons ATPases (H^+ -Adénosine Tri Phosphatases) et PPases (H^+ -Pyro Phosphatases) vacuolaires (**Horie et Schroeder, 2004 ; Yamaguchi et Blumwald, 2006**).

Le mouvement des protons de la vacuole vers le cytoplasme est exergonique du fait du gradient de pH de 1.5 unité entre ces deux compartiments. Le taux d'accumulation de sodium dans la vacuole par rapport au cytoplasme peut donc être supérieur à 30 ; mais en réalité, du fait de l'existence des autres cations dans la cellule, l'accumulation de sodium dans la vacuole est réalisable contre son gradient de concentration seulement 4 à 5 fois plus élevé (**Hanana *et al.*, 2009**).

2.6.2. Exclusion des ions toxique

L'autre stratégie permettant aux plantes de survivre en condition de stress salin consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule (**Munns *et al.*, 2006**). Dans ce cas, les plantes limitent l'entrée des éléments salins et les rejettent dans le compartiment apoplasmique (**Blumwald *et al.*, 2004 ; Munns, 2005**).

La régulation qualitative et quantitative du transport des ions permet de maintenir la concentration ionique dans une gamme de valeurs compatibles avec un métabolisme cellulaire normal. L'exclusion commence avec la sélectivité de la membrane racinaire, ce qui peut résulter d'une réduction de la perméabilité passive, de la présence de transporteurs sélectifs et

d'un transport vers le milieu extérieur des ions déjà absorbés (**Apse et Blumwald, 2007**). L'exclusion du sodium est réalisée par l'action combinée d'une série de protéines de type SOS (Salt Overly Sensitive) (**Zhu, 2003**).

2.6.3. Ajustement osmotique

L'augmentation des concentrations vacuolaires de sodium induit la nécessité et le besoin d'élever la pression osmotique des autres compartiments cellulaires afin de maintenir leur volume (**Amtmann et Leigh, 2010**).

Les plantes ont développé d'autres moyens non moins efficaces tels que l'ajustement ionique afin de réduire et d'équilibrer la concentration d'ions dans le but d'ajuster la pression osmotique au niveau du cytoplasme (**Sairam et Tyagi, 2004 ; Shabala et Cuin, 2007**).

Le complexe protéique SOS interagit avec le transporteur HKT1 (**Rus et al., 2001**) lui aussi situé sur la membrane plasmique, pour recycler du sodium des feuilles vers les racines via le phloème (**Berthomieu et al., 2003 ; Hauser et Horie, 2010**).

En résumé, les mécanismes de perception puis de signalisation constituent les événements précoces de l'adaptation des plantes au stress. Les principales voies empruntées lors de la signalisation du stress salin sont celles du calcium, de l'ABA, des MAP Kinases, de SOS et de l'éthylène (**Hanana et al., 2011**) (**Figure 6**).

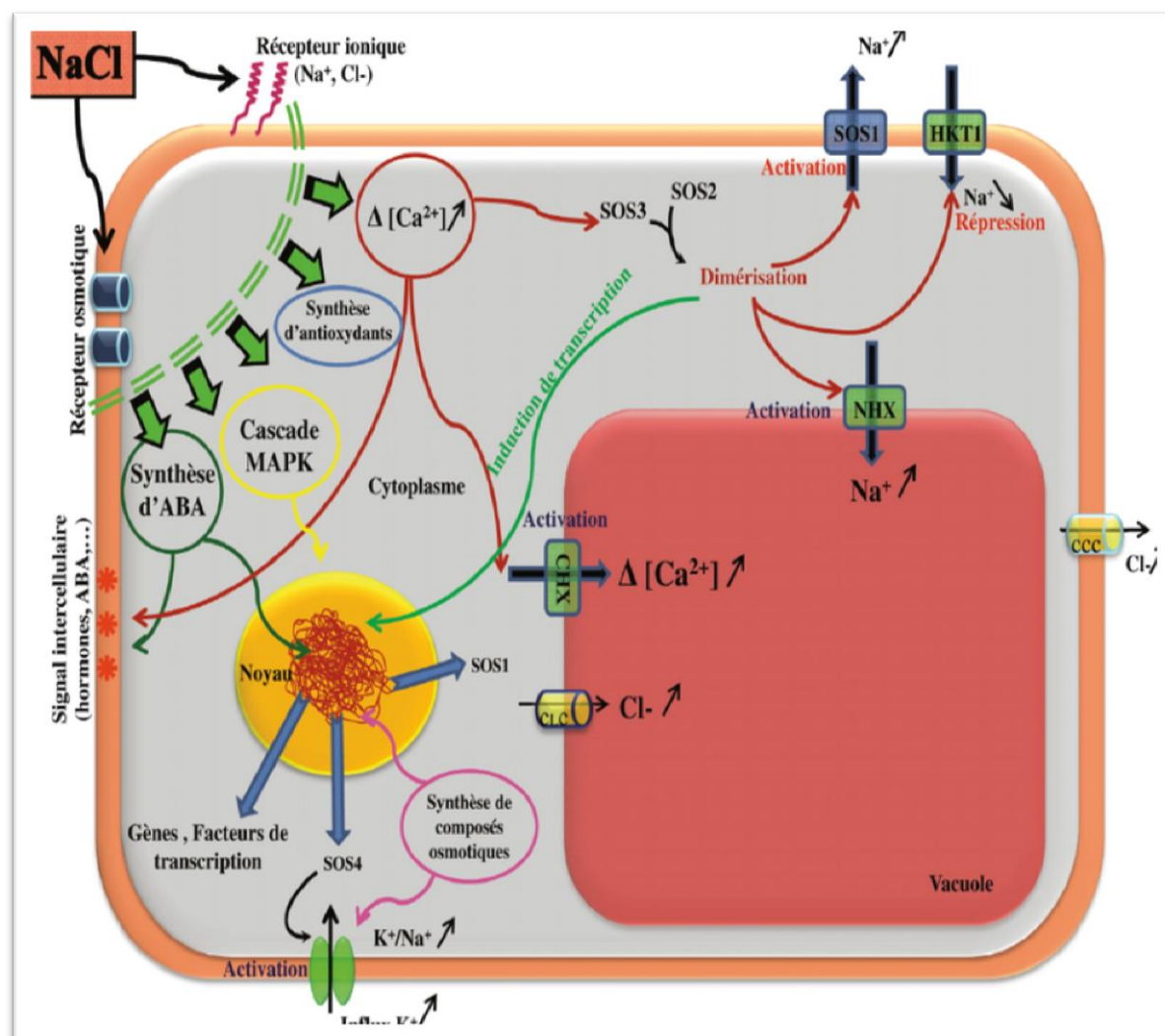


Figure 6: Synthèse des principaux mécanismes cellulaires de perception, signalisation et réponse au stress salin chez la plante (Hanana *et al.*, 2011)

En plus des mécanismes de l'homéostasie ionique cellulaire (compartimentation vacuolaire, exclusion cytoplasmique et ajustement osmotique), d'autres stratégies osmotiques permettent aux plantes de bien s'adapter au stress salin sont :

2.6.4. Biosynthèse de solutés compatibles

Pour adapter l'équilibre ionique dans la vacuole, le cytoplasme accumule des composés de petite masse moléculaire nommés solutés (Zhifang et Loescher, 2003) parce que le point commun chez ces derniers est que ces composés peuvent être accumulés à des taux élevés sans perturber la biochimie intracellulaire (Bohert et Jensen, 1996).

Ces solutés compatibles comprennent principalement :

A. La proline

La proline agit en tant que composé adapté au stress salin. La proline agit en tant que composé soluble compatible dans l'ajustement osmotique pouvant atteindre de fortes concentrations sans exercer d'effet toxique comme le cas des ions (**Yancey *et al.*, 1982 ; Silva-Ortega *et al.*, 2007**).

En plus du rôle osmotique attribué à la proline, celle-ci intervient dans la détoxification des formes actives d'oxygène (**Kocsy *et al.*, 2005**) et la stabilisation des protéines (**Ashraf et Foolad, 2007 ; Majumder *et al.*, 2010**), protégerait l'intégrité de la membrane plasmique (**Mansour, 1998**) et constituerait une source de carbone et d'azote (**Sairam et Tyagi, 2004**).

L'accumulation de la proline chez diverses espèces de plantes stressées a été corrélée à leur capacité de tolérance, et sa concentration est généralement plus élevée chez les plantes tolérantes que les plantessensibles (**Ashraf et Foolad, 2007**).

B. La glycine bêtaïne

La glycine bêtaïne est principalement présente au niveau des chloroplastes où elle joue une fonction vitale dans la protection des membranes thylakoïdes et par conséquent dans le maintien de l'efficience photosynthétique (**Ashraf et Foolad, 2007**) et aussi dans l'osmoprotection en stabilisant les macromolécules et en préservant les membranes sous stress (**Majumder *et al.*, 2010**).

C. Sucres et dérivés

Plusieurs études physiologiques ont démontré aussi que l'accumulation des sucres et des polyols, principalement suite à l'hydrolyse de l'amidon (**Phillips *et al.*, 2002**), était stimulée par un stress salin chez différentes espèces végétales dont le blé (**Bartels et Sunkar, 2005 ; Majumder *et al.*, 2010**).

Une forte corrélation a été établie entre l'accumulation des sucres et le niveau de tolérance à la salinité (**Gilmour *et al.*, 2000 ; Streeter *et al.*, 2001 ; Taji *et al.*, 2002 ; Bartels et Sunkar, 2005**). Les nombreux cas où sont décelées des accumulations de sucres (saccharose) ou de leurs dérivés alcools, tels que les polyols, le mannitol, le sorbitol et le tréhalose (**Phillips *et al.*, 2002 ; Sairam et Tyagi, 2004**), s'accompagnent aussi de l'augmentation de composés aminés (**Cushman, 2001**). L'augmentation de la concentration des polyols entraîne une augmentation du potentiel osmotique du cytoplasme, ce qui permet une plus grande compartimentation de sodium dans la vacuole. De plus, ces polyols agissent en tant qu'osmoprotecteurs des membranes et des protéines, probablement en éliminant les

radicaux libres d'oxygène (**Bohnert et Jensen, 1996**). Ils peuvent également servir de source de carbone pendant la période de stress durant laquelle les photosynthétats sont peu disponibles (**Vernon et al., 1993**).

2.6.5. Régulation de la croissance

D'après **Zhu (2001)**, la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour limiter les effets du stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles. Pour illustrer cette tendance, dans la nature, la croissance est inversement corrélée à la résistance au stress salin d'une espèce ou variété (**Zhu, 2001**). En plus du contrôle de la croissance par les signaux hormonaux, la réduction de la croissance résulte de la dépense de ressources dans les stratégies d'adaptation.

2.6.6. Induction des enzymes antioxydants

Le stress salin est complexe et implique un déficit hydrique à cause des effets osmotiques sur une large variété d'activités métaboliques (**Cheeseman, 1988**). Ce déficit hydrique conduit à la formation des espèces réactives d'oxygène (ROS) comme le superoxyde, le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), le radical hydroxyle (O-H) (**Elstner, 1987**). Les espèces d'oxygènes cytotoxiques activées peuvent perturber sérieusement le métabolisme à travers un dommage oxydatif des lipides, des protéines ou des acides nucléiques (**Linn, 1988**). Les plantes se défendent contre ces espèces réactives de l'oxygène avec l'induction des activités de certaines enzymes antioxydants comme la catalase, peroxydase, glutathion réductase et le superoxydedismutase ce qui élimine les ERO.

Chapitre III :
Le Stress Oxydatif

1. le stress oxydatif chez les plantes

1.1. La définition du stress oxydatif et son origine

Le stress oxydatif (ou stress oxydant) est un type d'agression des constituants de la cellule dû aux espèces réactives oxygénées et aux espèces réactive azotées oxydantes qui vont s'attaquer aux membranes cellulaires , aux protéines et à l'ADN (**Peltier et al., 2004**). Un stress oxydatif peut être induit par le stress abiotique (cas d'un stress salin ou d'un stress hydrique) , (**Deng et al., 2012**) ou par des stress biotiques (**Gratao et al., 2005**).

Il résulte d'un déséquilibre entre la production d'espèces actives de l'oxygène EOA et les défenses antioxydantes. A faible concentration, les EAO interviennent comme des promoteurs de la croissance et de développement de la plante. A forte dose, ils causent la sénescence et la mort cellulaire (**Deng et al., 2012; Joseph et Jini, 2011**). L'intensité du stress est déterminée par le taux des EOA se trouvant au niveau cellulaire (efficacité du système antioxydant). Il a été démontré que les balances entre la production et la détoxification des radicaux libres oxygénés dépendent du degré de tolérance des génotypes aux stress abiotique (**Liu et Zhang, 2004**). Cette dernière peut être rompue pour diverses raisons en faveur du système pro-oxydant, et est alors à l'origine d'un stress oxydant (**Favier, 2003**).

Il semble que la vraie origine d'un stress oxydant ne soit pas la génération d'ERO elle-même, mais le déséquilibre spatiotemporel entre la production d'ERO et leur élimination (**Morel, 2007**).

Powers (2008) reprend dans son article de synthèse les 4 aspects nécessaires à la caractérisation d'un état de stress oxydant dans la cellule (**Figure7**) :

- 1) formation de molécules réactives oxydantes.
- 2) dommages oxydants aux composants macromoléculaires de la cellule.
- 3) diminution des espèces antioxydantes.
- 4) déséquilibre dans le statut redox.

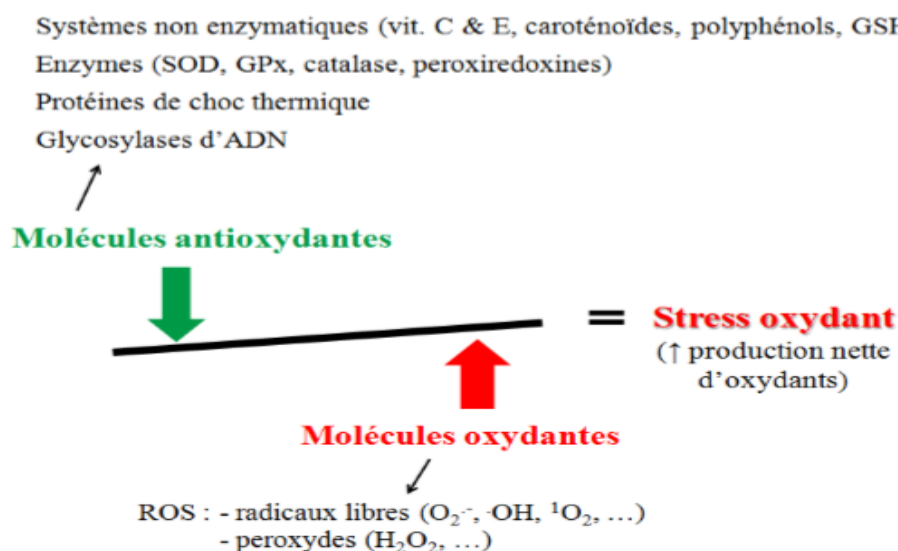


Figure 7: Composantes de la balance entre les molécules anti- et pro-oxydantes

(Marie-Eve Lavoie, 2012). GPx : glutathion peroxydase, GSH : glutathion réduit, H_2O_2 : peroxyde d'hydrogène, $O_2^{\cdot-}$: superoxyde anion, $\cdot OH$: radical hydroxyl, 1O_2 : oxygène singlet, SOD: superoxi de dismutases.

2. Classification des marqueurs du stress oxydatif

La mise en évidence du phénomène de stress oxydant cellulaire constitue un défi pour le scientifique dans la mesure où les ERO sont des espèces à très courte durée de vie. Le marqueur "idéal" la fois sensible (montrer une variation à chaque période de stress reproductible (Powers et Jackson, 2008).

Aucun des marqueurs ne possède toutes ces caractéristiques, C'est pourquoi les scientifiques utilisent fréquemment une combinaison de marqueurs. A l'instar d'une recherche d'agent pathogène, on peut faire une première dichotomie entre les marqueurs directs, autrement dit les ERO, et les marqueurs indirects, révélant une trace de leur passage. Les marqueurs indirects sont représentés soit par les produits d'oxydation des ERO, soit par la réserve d'antioxydants de la cellule (Jenkins, 2000 ; McMichael, 2007 ; Powers et Jackson, 2008) (Tableau 4).

Tableau 4: Classification des principaux marqueurs de stress oxydant (**Powers et Jackson, 2008**).

Marqueurs directs	Marqueurs indirects : produits d'oxydation	Marqueurs indirects : antioxydants
<ul style="list-style-type: none"> • O₂ • HO° • H₂O₂ • NO₃⁻ 	<ul style="list-style-type: none"> • Lipoperoxydation : Fluidité membranaire (par RPE⁺ sonde), MDA, soprostanes, Alcanes expirés. • Oxydation de l'ADN : 8OH-dG • Oxydation des protéines : carbonyles protéiques • Modification du statusrédox : rapport GSH/GSSG 	<ul style="list-style-type: none"> • Ascorbate (vit C) • α- Tocophénol (vit E) • SOD, GPX, CAT • PON1 • Capacité antioxydante totale

3. Les Espèces réactives de l'oxygène

3.1. La définition des espèces réactive de l'oxygène

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) sont des dérivés de l'oxygène où certains électrons se trouvent dans état énergétique existé et très réactionnel. Elles représentent la plus importante classe d'espèces réactives générées dans les organismes vivants et la cause majeure du stress oxydatif dans ces derniers (**Valko et al., 2007**). Parfois, elles sont appelées espèces oxygénées actives (EOA). Elles regroupent l'ensemble des dérivés radicalaires de l'oxygène mais également d'autres composés non radicalaires très réactifs (**Asada, 2000 ; Foyer et Noctor, 2003 ; Edreva, 2005**). Certaines espèces réactives de l'azote (ERA) sont parfois mentionnées comme appartenant à cette classification puisqu'elles possèdent un atome d'oxygène et qu'elles se comportent de manière similaire (espèces généralement radicalaires, pouvoir oxydant important, générées et régulées par l'organisme) aux ERO vis-à-vis du stress oxydant (**Smirnof, 2005**).

Les ERO sont souvent associées aux radicaux libres (**Halliwell, 2006**). l'exposition des plantes à un stress salin peut réguler à la hausse de la production de ROS comme O₂^{•-}

(radical superoxyde), H_2O_2 (peroxyde d'hydrogène), 1O_2 (oxygène singulet), et $^{\bullet}OH$ (radical hydroxyle) (Mittler *et al.*, 2011 ; Puyang *et al.*, 2015). Les EOA sont généralement produits dans différents compartiments cellulaires des lors que le potentiel redox du compartiment cellulaire est modifié. Les mitochondries (complexe I (ubiquinone) et complexe III de la chaîne de transport des électrons (ETC) et les chloroplastes (photosystèmes I et II (PSI et PSII) sont les compartiments cellulaires dont l'activité métabolique est la plus oxydante (Gill et Tuteja, 2010). Ils représentent ensemble la source majeure des EOA dans les cellules végétales. Dans la mitochondrie, la réduction de la chaîne de transport des électrons est à l'origine de la synthèse de $^{\bullet}O_2^-$ en condition de stress (Ben Ahmed *et al.*, 2010). L'augmentation de la concentration des EOA entraîne l'activation d'une cascade de réactions (Joseph et Jini, 2011). Tous les stress se traduisent par une accumulation de dérivés toxique d'oxygène. Il provoquent des lésions aux biomolécules tels que les lipides membranaires, les protéines, les pigments, les enzymes, les acides nucléiques ainsi qu'une mutation de l'ADN (Mishra et Singhal ,1992 ; Kasai, 1997 ; Moller *et al.*, 2007 ; Abogadallah, 2010)(Tableau5).

Tableau 5: Origines et localisations des espèces réactives de l'oxygène (Smirnoff, 2005).

Origine	Localisation	ERO
Photosynthèse, PSI ou PSII	Chloroplaste	O_2°
Respiration (transport d'électrons)	Mitochondrie	O_2°
Glycolate oxydase	peroxysome	H_2O_2
Chloroplaste excitées	Chloroplaste	O_2°
NADPH oxydase	Membrane cellulaire	O_2°
β -oxydation des acides gras	Peroxysome	H_2O_2
Oxalate oxydase	Apoplaste	H_2O_2
Xanthine oxydase	Peroxysome	O_2°
Peroxydases, Mn^{2+} et NADH	Membrane cellulaire	H_2O_2
Amine oxydase	Apoplaste	H_2O_2, O_2°

3.2. Les radicaux libres

Les radicaux libres sont des espèces chimiques qui existent indépendamment et contiennent des électrons non appariés, parmi lesquelles on peut trouver le radical superoxyde (O_2^\bullet), le radical perhydroxyle (HO_2^\bullet), le radical hydroxyle ($\bullet OH$), le radical peroxyde (RO_2^\bullet) et le radical alkoxyde (RO^\bullet). Certains radicaux libres n'ont pas d'atomes d'oxygène (comme les métaux de transition ou les radicaux centrés sur le carbone). Les ERO favorisent le stress oxydatif par oxydation des composés cellulaires. Le terme « stress oxydatif » a plusieurs significations. Tout d'abord, c'est l'état physiologique où la perte des électrons (oxydation) dépasse la quantité des électrons acquise (réduction) entraînant des dommages chimiques oxydatifs des composés cellulaires. Le stress oxydatif est donc associé à un déséquilibre redox (réduction/oxydation) sévère et à long terme, dû au manque d'électrons. Deuxièmement, il s'agit d'un des facteurs de stress associé à plusieurs types de stress d'origine biotique ou abiotique, qui endommage les cellules et déclenche des réactions de signalisation et de défense. Ces deux définitions sont liées et peuvent être combinées (Demidchik, 2014) (Figure8).

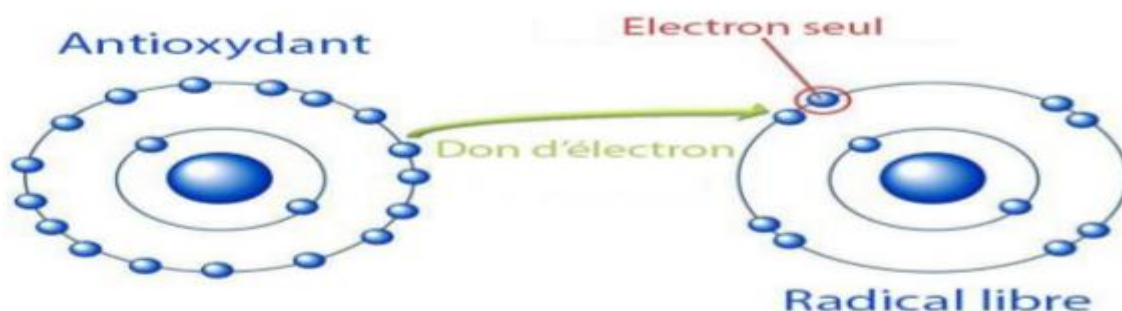


Figure 8: Neutralisation d'un radical libre par un antioxydant (Carange, 2010).

3.3. La formation des espèces réactives de l'oxygène :

Le métabolisme chez les végétaux produit à l'état physiologique plusieurs variétés d'ERO. Dans le cas d'un stress oxydatif, tous les ERO ne sont pas extrêmement réactifs, cette réactivité étant très variable selon la nature du radical. Parmi les radicaux formés chez les végétaux on distingue (Smirnoff, 2005) (Figure9) :

- ❖ Anion superoxyde (O_2^\ominus)
- ❖ Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2)
- ❖ Radical hydroxyle (HO^\ominus)

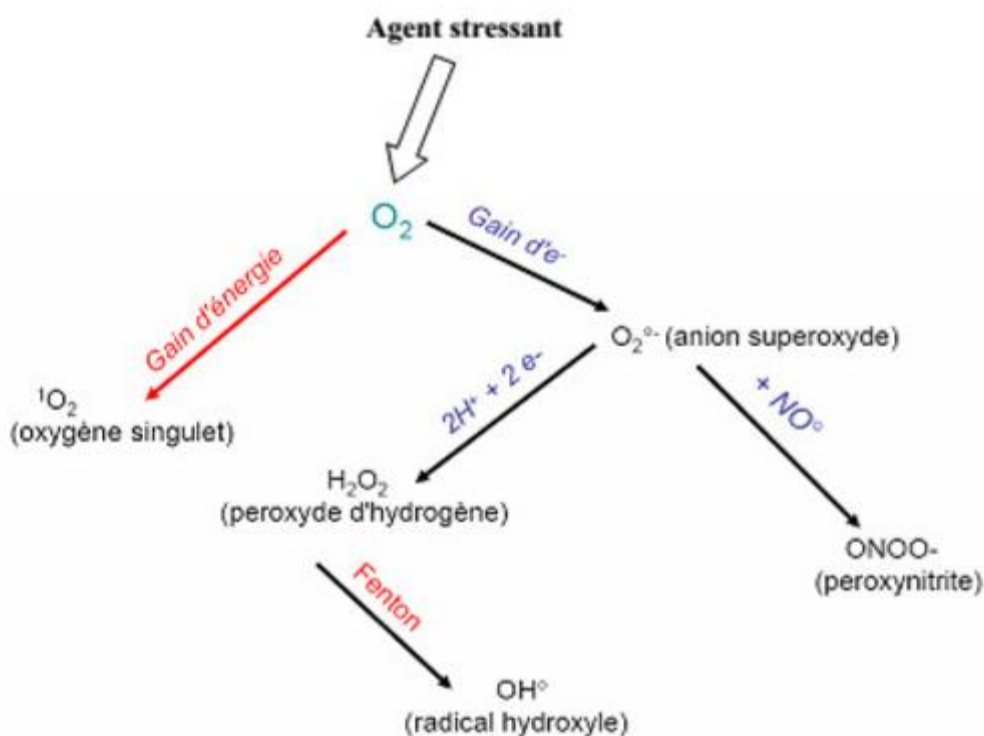


Figure 9: schéma modifié de l'origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène impliqués en biologie (Aityahia et Zemmourahella, 2014).

3.4. Les différents types des ERO

Parmi toutes les espèces radicalaires susceptibles de se former dans les cellules, il convient de distinguer trois groupes (Favier, 2003) :

- Les radicaux primaires, qui constituent un ensemble restreint de composés radicalaires et dérivent de l'oxygène par des réductions à un électron tels l'anion superoxyde $O_2^{\bullet -}$ et le radical hydroxyle OH^\bullet , ou de l'azote tel le monoxyde d'azote NO^\bullet . Ils jouent un rôle particulier en physiologie.
- Les radicaux secondaires se forment par réaction des radicaux primaires sur les composés biochimiques de la cellule.

D'autres espèces dérivées de l'oxygène dites espèces actives de l'oxygène, comme l'oxygène singulet (1O_2), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) ou le nitroperoxyde ($ONOOH$), ne sont pas des radicaux libres, mais sont aussi réactives et peuvent être des précurseurs de radicaux.

3.5. La Source des radicaux libres

Les principales espèces réactives oxydantes sont dérivées de l'oxygène et de l'azote, et peuvent être produites par le métabolisme cellulaire normal tout comme pathologique ou par exposition environnementale (ex : tabagisme, ozone, température, corporelle...) (**Bloomer, 2008**).

❖ Source de production endogène

NADPH oxydase et xanthine oxydase sont les principales sources endogène (**Ouahrani et al., 2016**).

❖ Chaîne mitochondriale de transport d'électron

Nécessite l'utilisation de 4 complexes, l'oxygène est converti par le superoxyde dismutase dans la matrice mitochondriale en H_2O_2 , ce dernier est réduit en H_2O et O_2 le H_2O_2 réagit avec les métaux pour former le radical hydroxyle $^{\circ}OH$ (**Kevin et al., 2005**).

❖ Xanthine oxydase

C'est une enzyme impliqué dans le métabolisme des purines est la principal source de stress oxydant (**Wulf, 2002**), cette forme est générée par la modification post traductionnelle de la XDH. Elle est incapable d'utiliser le NAD^+ comme accepteur d'électrons, elle nécessite l'utilisation de l'oxygène moléculaire comme accepteur d'électrons, produisant ainsi l'anion superoxyde et le peroxyde d'hydrogène (**khiter, 2019**). La XO catalyse aussi la réduction du nitrate en nitrite et NO^{\bullet} (**Terpolilli et al., 2012**).

Les sources exogènes : tel que le tabagisme, les radiations UV, les médicaments, les réactifs chimiques, les solvants industriels et la pollution (**Paster, 2005**) (**figure 10**).

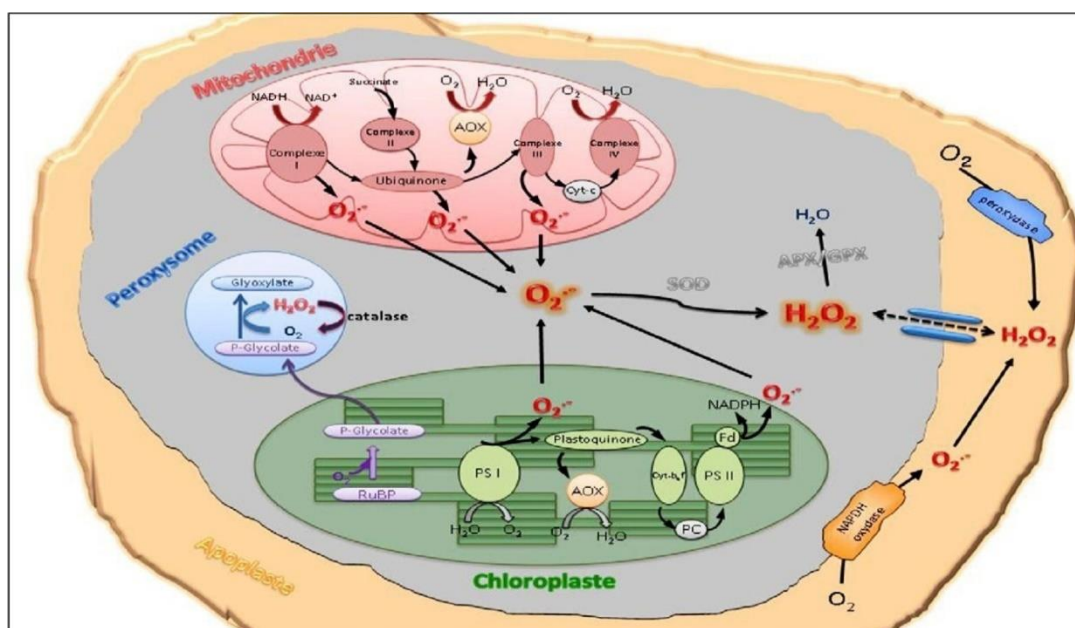


Figure 10: Principaux sites de production des ERO dans la cellule végétale

(Parent *et al.*, 2008). APX : ascorbate peroxydase ; PSI: photosystème I; PSII: photosystème II ; AOX: alternative oxydase ; Fd : ferredoxine (RuBP) ribulose 1,5-biphosphate.

4. Conséquence du stress oxydatif dans la plante

Aux cours du stress oxydant, les ERO sont des molécules très réactives et certaines d'entre elles, telles que le H_2O_2 , Qui peuvent même diffuser à travers les membranes (Bérubé *et al.*, 2000).

Alors, les ERO peuvent causer de graves dommages à de s composantes importantes de la cellule. Les cibles des ERO sont principalement les protéines, les lipides membranaires ainsi que L'ADN (Perez *et al.*, 2000).

La production excessive de radicaux libres provoque des lésions directes de molécules biologiques (oxydation de l'ADN, des protéines, des lipides, des glucides), mais aussides lésions secondaires dues au caractère cytotoxique et mutagène des métabolites libérés notamment lors de l'oxydation des lipides (Favier, 2003).

➤ La peroxydation lipidique (LPO)

La peroxydation des lipides est considérée comme le processus le plus dommageable qui se produit chez tous les organismes vivants. L'altération de la membrane est l'inducteur du niveau de destruction des lipides sous différentes contraintes. Les produits de la peroxydation lipidique (LPO) sont formés à partir des acides gras polyinsaturés. Parmi ces produits il y a le MDA, le 4-Hydroxy-2-nonenal (HNE) et d'autres qui leurs dérivent (Moller *et al.*, 2007).

La LPO a lieu au niveau des membrane cellulaire et des organites lorsque le niveau des ROS dépasse un certain seuil, ce qui affecte non seulement le fonctionnement cellulaire normal, mais aggrave aussi le stress oxydatif par la production de radicaux dérivés de lipides (Yadav *et al.*, 2010).

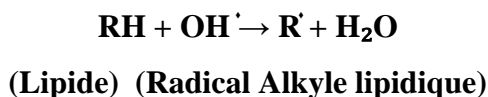
La LPO à des conséquences multiples sur les cellules des plantes .Elle provoque :

- Des dommages aux protéines membranaires.
- Une diminution de la fluidité de membrane.
- Une augmentation de la charge négative de la surface permettant aux phospholipides les échanges entre les deux moitiés de la bicouche lipidique.

Observe ainsi une inactivation des récepteurs, des enzymes et des canaux ionique et normalement une augmentation de la perméabilité de la membrane à substances que ne la traversent normalement que par canaux spécifique (Gill et Tutega, 2010). L'ensemble du processus de LPO comporte trois étapes distinctes : l'initiation, la propagation et la terminaison (Davies, 2000 ; Fam et Morrow, 2003).

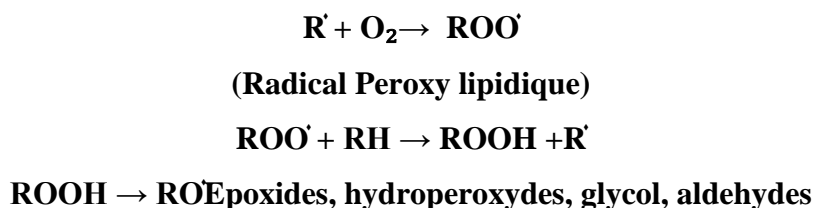
La réaction d'initiation produit un radical libre par rupture d'une liaison C-H. Elle se produit principalement par l' OH^\bullet mais aussi par l' O_2^\bullet et H_2O_2 . Il y a une abstraction d'un atome d'hydrogène de la chaîne d'un acide gras polyinsaturé par l' OH^\bullet (Voir réaction 1).

Réaction 1 :

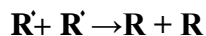


L étape de la propagation correspond à la fixation très rapide des radicaux libres Alkyle (R^\bullet), issu lors de l'initiation, avec l'oxygène moléculaire à l'état normal. Il se forme des radicaux libres peroxydés (ROO^\bullet) instable (voir la réaction 2) pouvant réagir avec une nouvelle molécule d' acide gras insaturée pour former des lipides hydroperoxydes susceptibles d' être décomposés en d'autres espèces réactives (Davies ,2000 ; Fam et Morrow , 2003)(voir réaction 2).

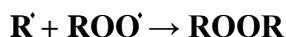
Réaction 2 :



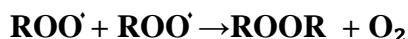
Dans la phase de terminaison, les radicaux formés précédemment réagissent entre eux pour conduire à plusieurs produits (voir réaction 3) qui ne sont plus des radicaux libres (peroxydes ROOR) (Fam et Morrow, 2003).



(Dimère d'acide gras)



(Dimère ponté au Peroxide)



(Dimère ponté au Peroxide)

Les acide gras polyinsaturés (l'acide linoléique (18 :2) et l'acide linoénique (18 :3) sont particulièrement susceptible aux attaques $^1 O_2$ et OH' en donnant lieu à des complexes d'hydropéroxydes lipidiques. L'augmentation de la peroxydation des AGPI diminue la fluidité de la membrane, augmente sa perméabilité et provoque des dommages secondaires à ses protéines.

Plusieurs aldéhydes, tels que le 4-hydroxy-2-nonéal (HNE) et le MDA, ainsi que les hydroxyles et les céto acides gras, sont formés suite à la peroxydation des AGPI (ci-dessous). Les produits de dégradation des aldéhydes peuvent former des conjugués avec l'ADN et les protéines (Moller *et al.*, 2007).

➤ Oxydation des protéines

Les protéines sont aussi susceptibles d'être oxydées par les ERO, de façon comparable à l'oxydation des lipides. Cette oxydation provoque une carbonylation (Levine, 2002). Ces réaction fréquemment influencées par les cations métalliques comme le Cu^{2+} et le Fe^{2+} , peuvent provoquer:

- des cassures au niveau des liaisons peptidiques en modifiant la chaîne protéique.
- des modifications des peptides par l'addition de produits issus de la peroxydation lipidique (tels que le MDA et le HNE).
- des insertions des radicaux libres directement sur les groupements d'acide aminés des protéines (Shringarpure et Davies, 2002).

L'oxydation d'un certain nombre d'acides aminés des protéines (en particulier Arg, His, Lys, Pro, Trp) donne des groupes carbonyles libre qui peuvent inhiber ou modifier l'activité de la protéine et augmenter la susceptibilité à l'attaque protéolytique (Moller *et al.*, 2007). Les ROS ciblent beaucoup plus les acides aminés contenant des groupes thiols. Cys et

Met sont assez réactives avec $^1\text{O}_2$ et le OH^\cdot . L'oxygène actif peut abstraire un atome de H à partir du résidu de la cystéine pour former un radical thiyle qui se lie avec un autre radical thiyle pour former des ponts disulfures (**Hancock *et al.*, 2006**). L'oxygène peut aussi s'ajouter sur un résidu de méthionine pour former les dérivés de sulfoxyde de méthionine. L'oxydation des protéines dans la plupart du temps est irréversible sauf lorsqu'il s'agit des acides aminés contenant du soufre (**Ghezzi et bonetto, 2003**).

➤ **Domage de l'ADN**

Bien le génome de la plante soit stable, son ADN peut être endommagé suite à son exposition aux facteurs du stress biotique et abiotique qui exercent un stress génotoxique (**Tuteja *et al.*, 2009**). OH^\cdot est le radical le plus réactif qui cause des dommages à tous les composants de la molécule d'ADN. Il altère à la fois les bases des purines et des pyrimidines et également le squelette désoxyribose. $^1\text{O}_2$ attaque principalement la guanine (voir la réaction) et H_2O_2 et O_2^\cdot ne réagissent (**Ben hamadi, 2014**). Les ERO peuvent causer la suppression des bases, la formation des dimères de pyrimidine, la rupture des brins d'ADN, les modifications des bases par leur alkylation et leur oxydation (**Tuteja et Tuteja, 2001**).

Ces dommages de l'ADN affectent le développement et la croissance de tout l'organisme. Ils provoquent une réduction de la synthèse protéique ainsi qu'une destruction et une inactivation des protéines photosynthétiques. Ils peuvent aussi provoquer un arrêt ou induction de la transcription, une induction des voies de transduction du signal et des erreurs de réplication, une destruction de la membrane cellulaire et une instabilité génomique (**Cooke *et al.*, 2003**).

5. Les mécanismes Antioxydants

Les plantes possèdent des mécanismes leur permettant de limiter la production d'ERO lors de leurs processus métaboliques. Certaines plantes se sont adaptées, au cours de l'évolution, à des conditions particulières du milieu, et ont développé des aptitudes métaboliques leur permettant de limiter la saturation des CTE. Citons par exemple les métabolismes C_4 et CAM des plantes grasses, la possibilité de mettre en dormance l'appareil photosynthétique lors des saisons sèches par des régulations post-transcriptionnelles ou encore des adaptations morphologiques des feuilles (**Mittler *et al.*, 2001 ; Mittler, 2002**). Les plantes possèdent également de nombreux composés et enzymes leur permettant d'empêcher la production d'ERO ou de la contrôler (**Pourrut, 2008**).

5.1. Les oxydases alternatives (AOX)

La production d'ERO, au niveau des CTE des thylakoïdes et des mitochondries, peut être réduite par un groupe d'enzymes appelées oxydases alternatives (AOX). Ces enzymes membranaires dérivent le flux d'électrons pour réduire l'O₂ en H₂O par un mécanisme très efficace ne générant pas d'ERO (Maxwell *et al.*, 1999 ; Yoshida *et al.*, 2006). La présence de ces AOX réduit la production d'O₂⁻ au niveau des CTE en limitant la saturation de ces chaînes, mais aussi en diminuant la teneur en O₂ à proximité de celles-ci (Pourrut, 2008).

5.2. Les antioxydants

Les antioxydants sont des agents redox qui réagissent avec les oxydants et soit stoppent, soit ralentissent les processus d'oxydation (Leopoldini *et al.*, 2011). Les composés réduits de l'oxygène ont une chimie très étendue, ils sont à l'origine d'effets mutagènes et entraînent des altérations sur les protéines et les lipides. Pour faire face à ces inconvénients et diminutions, Ces mécanismes peuvent être divisés en deux catégories selon qu'ils impliquent des enzymes de façon directe ou indirecte (Sofa *et al.*, 2004).

Peut être considérée comme antioxydante une molécule qui, étant présente en une faible concentration par rapport à celle d'un substrat oxydable, retarde ou empêche significativement l'oxydation de ce substrat (Halliwell et Whiteman, 2004).

5.2.1. Antioxydant enzymatique

L'induction des activités des enzymes antioxydantes est une stratégie générale adaptée par les plantes pour surmonter le stress oxydatif du à la contrainte environnementale.

Les enzymes antioxydantes ont une action complémentaire sur la cascade radicalaire au niveau du superoxyde et du peroxyde d'hydrogène, conduisant finalement à la formation d'eau et d'oxygène moléculaire (Achour, 2016).

- Superoxydedismutase (SOD)

Les isoformes des superoxydes dismutases sont présentes dans tous les organismes aérobiques et dans les compartiments cellulaires pouvant être touchés par le stress oxydatif, tels que le cytosol, le chloroplaste et la mitochondrie des plantes. Ces isoformes catalysent la dismutation des anions superoxydes (O₂⁻) en peroxyde d'hydrogène (H₂O₂).

Les résultats de l'activité de la SOD, obtenus avec différents types de plantes, et dans plusieurs conditions de stress (sécheresse, salinité et variations des températures), suggèrent

que différents mécanismes sont impliqués dans la détoxification des ERO. Par exemple en cas de stress salin, l'activité de la SOD augmente dans les racines dès les premières étapes de développement, mais elle reste inférieure à celle de la CAT (Zahid, 2010).

-Ascorbate peroxydase (APX)

L'ascorbate peroxydase (APX) est l'une des enzymes impliquées dans la destruction des H_2O_2 dans le cytosol et le chloroplaste des plantes. Pour cette propriété, elle utilise l'ascorbate comme réducteur. Elle permet aussi d'augmenter le pouvoir de la catalase dans l'élimination de H_2O_2 dans les compartiments cellulaires. Dans le cytosol et dans l'apoplaste, sous forme soluble ou liée aux membranes L'APX catalyse la réduction du peroxyde d'hydrogène en utilisant l'ascorbate comme co-substrat (Pourrut, 2008).

-Catalase (CAT)

Le niveau intracellulaire en H_2O_2 est régulé par un ensemble d'enzymes antioxydantes, dont la catalase, par la décomposition du H_2O_2 en eau et oxygène. Plusieurs travaux postérieurs ont démontré les fonctions, les localisations cellulaires et les profils d'expression de la catalase de certaines plantes. La CAT1 joue un rôle important dans l'élimination du H_2O_2 dans les différents stress environnementaux, tandis que la CAT2 et la CAT3 contribuent respectivement à l'équilibre homéostatique des ERO dans la lumière et l'obscurité. Chez les céréales, le comportement de la catalase a été étudié en présence de conditions de stress (Kim *et al.*, 2005 et Khosravinejad *et al.*, 2008). L'augmentation de l'activité de la catalase, particulièrement dans les racines, est expliquée par le fait que ces dernières sont les premiers sites sensibles au stress salin, afin de maintenir un équilibre homéostatique pour le bon développement de la plante. Cependant, l'activité de la catalase en présence de stress salin varie en fonction des variétés du blé. La catalase peut donc être considérée comme une enzyme majeure pour améliorer la qualité germinative des céréales (Zahid, 2010).

- Glutathion (GSH)

Le glutathion (γ -glutamyl-cysteinyl-glycine) (GSH) est un composé très abondant dans les plantes. Il s'agit d'un tripeptide de 307 Da, contenant une liaison inhabituelle entre le groupe amine de la cystéine et le groupe carboxyle du glutamate. Le glutathion est presque présent dans tous les compartiments cellulaires, principalement le cytosol et le chloroplaste. Cependant, le compartiment de biosynthèse est mal défini. A ce jour, le GSH a été isolé dans le chloroplaste pour le blé. Le glutathion possède plusieurs fonctions fondées sur ces propriétés redox. Avec sa forme oxydée (GSSG), le glutathion maintient un équilibre redox

dans les compartiments cellulaires. Il est caractérisé par une grande importance biologique, puisqu'il permet un parfait équilibre redox entre les compartiments cellulaires en conditions normales, ou dès le début d'un stress. Le glutathion intervient dans différents processus : la différenciation cellulaire, la floraison, la résistance aux pathogènes). De plus, il peut réguler l'état oxydatif des cystéines directement par la glutathionylation des protéines, par l'intermédiaire de la Grx. La fonction du glutathion comme antioxydant durant le stress oxydatif a été abordée durant les quinze dernières années. Le fort potentiel réducteur du glutathion est dû à la présence d'une cystéine nucléophile, et grâce à cette propriété, le glutathion détruit les radicaux cytotoxiques. Le rôle central du glutathion dans la défense contre le stress oxydatif, réside dans la régénération de l'acide ascorbique, caractérisé par son pouvoir antioxydant fort, via le cycle ascorbate-glutathion, conduisant à un changement dans le degré d'oxydation du glutathion cellulaire, et ainsi le changement du potentiel redox du glutathion. Il a été montré également que le glutathion peut se trouver dans la farine de blé sous formes de glutathion réduit (GSH), glutathion oxydé (GSSG), mais aussi sous forme de composés de type glutathion-protéine associés par des liaisons mixtes. Le glutathion joue un rôle important dans le contrôle de la polymérisation des protéines (**Zahid, 2010**).

-Glutathion réductase (GR) et peroxydase non-spécifique (POX)

La glutathion réductase (GR) est responsable de la réduction du glutathion oxydé, au cours des réactions d'élimination de H_2O_2 catalysées par les enzymes antioxydantes APX et GPX (**Mittler *et al.*, 2002; Apel et Hirt, 2004**). La peroxydase (POX) participe, comme la catalase, à la décomposition des hydrogènes de peroxydes. Des tests d'activité de la GR et la POX dans des conditions de stress salin, montraient une augmentation de l'activité de ces enzymes dans les pousses (shoots), et plus particulièrement dans les racines (**Kim *et al.*, 2005**). Ces différences d'expressions entre les racines et les pousses sont liées à l'expression des différentes isoformes des deux enzymes. L'utilisation des techniques de transformation des plantes pour surexprimer la GR a pu montrer que l'activité de cette dernière augmente, ce qui confère à la plante une meilleure tolérance aux stress (**Zahid, 2010**).

5.2.2. Système antioxydant non enzymatique

Ce sont des antioxydants apportés par l'alimentation ce sont des molécules de petite taille telles que (glutathion, acide urique, bilirubine, glucose, vitamines A, C, E, ubiquinone, caroténoïdes, flavonoïdes) (**Belbachir, 2019**).

-L'ascorbate ou vitamine C

L'acide L ascorbique (ASC) est un des principaux acides faibles de la cellule végétale. Aux pH physiologiques, il se dissocie en anion ascorbate. L'ascorbate est essentiellement utilisé au niveau cellulaire comme un donneur d'électrons. La concentration en ASC est très élevée dans les cellules végétales (plusieurs millimolaires) ce qui en fait un composant incontournable chez les plantes. Il interviendrait notamment dans la régulation du cycle cellulaire et dans l'extension de la paroi. (L'ascorbate est toutefois beaucoup plus connu pour ses propriétés antioxydantes). En effet, il réagit rapidement avec l'anion superoxyde et l'oxygène singulet, ou encore avec le peroxyde d'hydrogène, mais cette dernière réaction est catalysée par l'ascorbate peroxydase (APX). L'ascorbate est indispensable par sa capacité à réduire d'autres antioxydants oxydés comme la vitamine E ou les caroténoïdes (**Pourrut, 2008**).

Les oligoéléments

Le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le manganèse (Mn), le sélénium (Se) et le fer (Fe) sont des métaux essentiels dans la défense contre le stress oxydant. Toutes les enzymes antioxydantes requièrent un cofacteur pour maintenir leur activité catalytique. Ainsi, la SOD mitochondriale a besoin de manganèse, la SOD cytosolique de cuivre et de zinc, la catalase de fer et la GPX de sélénium. Cependant, certains oligoéléments, notamment le fer, lorsqu'ils sont en excès dans et sous leur forme réduite, peuvent avoir une action prooxydante (réaction de Fenton, d'Haber-Weiss) (**Baratli, 2015**).

- Glutathion réduit

Elle est un tripeptide (L-Û-glutamyl-L-cystéinyglycine) avec de multiples fonctions dans les organismes vivants (**Lushchak, 2011**).

C'est un donneur d'hydrogène et également un substrat essentiel pour l'enzyme antioxydant le glutathion peroxydase (**Halliwell et Gutteridge, 1999**).

C'est une enzyme qui joue un rôle important dans la protection d'hémoglobine et la membrane érythrocytaire contre les effets oxydants (**Biswass, 2006**). Il agit comme un antioxydant, soit directement en interagissant avec les espèces réactives de l'oxygène et de l'azote (ERO et RNS) et les électrophiles ou en agissant comme un cofacteur de plusieurs enzymes (**Lushchak, 2011**).

- La vitamine E

La vitamine E est un antioxydant très efficace du fait de sa faible propension à être un donneur d'électrons. Elle agit principalement par le transfert direct d'atome d'hydrogène. Sa localisation au niveau des membranes en fait l'antioxydant le plus important dans la prévention de la peroxydation des lipides membranaires. Elle protège également les pigments photosynthétiques, participant ainsi à la protection de l'appareil photosynthétique (**Achour, 2016**).

-Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments végétaux lipophiles formant une famille de plus de 600 molécules. Ils jouent le rôle de pigments accessoires de l'antenne collectrice des photosystèmes. En dehors de cette implication dans le processus photosynthétique,

Les caroténoïdes associés au PSII ou à l'antenne collectrice, participent à la protection de l'appareil photosynthétique contre les ERO. En effet, ces pigments possèdent la capacité de capter l'énergie de la chlorophylle triplet ou de l'oxygène singulet, ce qui les convertit en état triplet. La capacité de transfert d'énergie des caroténoïdes vers le dioxygène étant faible, ces pigments retrouvent leurs états initiaux en perdant leurs énergies sous forme de chaleur. Le mécanisme captage d'énergie / perte d'énergie par chaleur peut également directement s'effectuer à partir de la chlorophylle singulet (**Pourrut, 2008**).

- Flavonoïdes

Les flavonoïdes, classe importante des polyphénols, sont reconnus pour leurs nombreuses activités biologiques telles que: les activités antivirales, anti-inflammatoires et anticancéreuses. Ces activités sont attribuées, en partie, à la capacité de ces composés naturels à piéger les radicaux libres. Leur activité antioxydante en tant que piègeurs de radicaux libres et également en tant qu'inhibiteurs d'enzymes responsables de la formation de ces espèces nocives (**Favier, 2005**).

Les flavonoïdes peuvent agir de différentes façons dans les processus de régulation du stress oxydant par :

- Capture directe des espèces réactives de l'oxygène,
- Chélation de métaux de transition comme le fer (empêchant ainsi la réaction de Fenton),
- Inhibition de l'activité de certaines enzymes responsables de la production des ERO.

-Il existe d'autre antioxydant non enzymatique

-Protéines : (Albumine, ceruloplasmine...).

-Liposoluble : α -toco phénol, γ -tocophérol, poly phénols, coenzyme Q 10 (Toussaint, 2007).

5.3. Rôle des antioxydants dans la prévention des dommages oxydatifs

Tous les antioxydants ont la capacité de réagir avec les radicaux libres. Plus spécifiquement, « Les réactions métaboliques catalysées par les enzymes antioxydants permettent d'éliminer les radicaux libres par la formation de composés neutres comme l'eau. Cependant, en ce qui concerne les antioxydants exogènes, les produits de leur interaction avec les radicaux libres ne sont pas des composés neutres, mais bien des molécules plus stables. En effet, contrairement aux radicaux libres qui sont hautement réactifs, c'est -à-dire qu'ils cherchent à donner ou à arracher un électron afin d'atteindre un état de stabilité, les antioxydants non-enzymatiques peuvent s'accommoder de l'addition ou de la perte d'électron(s) sans pour autant augmenter significativement leur niveau de réactivité ». De par leur rôle à neutraliser les radicaux libres, les antioxydants ont donc le pouvoir de diminuer les niveaux de stress oxydatif et, par conséquent, les dommages oxydatifs. Ainsi, ils ont le potentiel de réduire les effets délétères des facteurs oxydants responsables de l'augmentation de la production de radicaux libres par l'organisme (Larabi, 2017) (Figure 11).

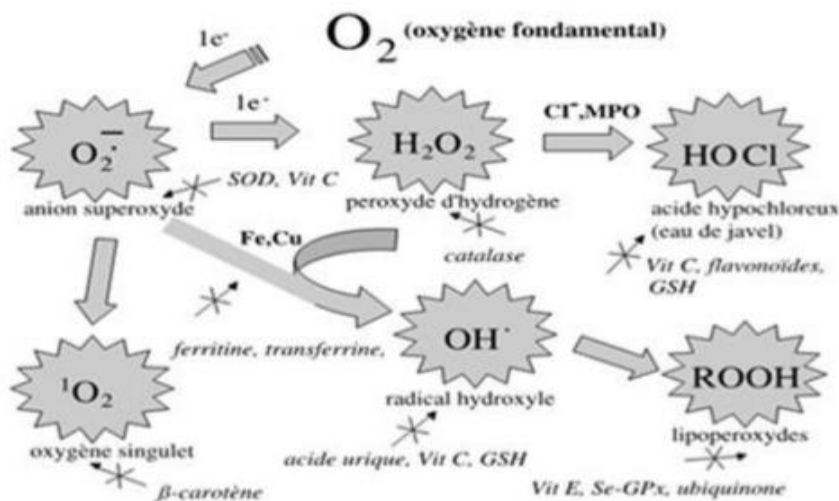


Figure 11: Aperçu des différentes espèces réactives de l'oxygène (ERO) et des antioxydants régulateurs de leur production (Haleng *et al.*, 2007).

PARTIE 02 :

ANALYSE

BIBLIOGRAPHIQUE

Nous avons tenu à mettre le début du petit travail pratique que nous avons commencé dans les annexes.

1. Les principales techniques étudiées sur le stress salin et oxydatif

- **Teneur en chlorophylle**

La teneur en chlorophylle totale des feuilles qui est un indicateur de nutrition et des capacités photosynthétiques de la plante, a été déterminée à l'aide d'une chlorophylle mètre SPAD «Soil Plant Analysis Development» modèle 502 Minolta. Ce système permet de mesurer l'absorbance de la lumière à travers la feuille sans altérer cette dernière. Le principe d'analyse est la mesure de la transmittance lumineuse à 2 longueurs d'ondes : le rouge (650 nm), bande d'absorption de la chlorophylle et le proche infrarouge (950 nm) dont la réponse est liée à la structure interne de la feuille (absorptivité et épaisseur des tissus foliaires).

- **Dosage des polyphénols totaux**

Principe : Le folin est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène.

L'intensité de la couleur est proportionnelle aux taux des composés phénoliques oxydés.

Le dosage des poly phénols s'effectue à l'aide d'un spectrophotomètre à UV visible à double faisceaux. La technique à double faisceaux aide à éliminer l'absorbance du blanc et donner directement la densité optique de l'échantillon (**Boizot et Charpentier, 2006**).

- **Teneur en sucres solubles**

La méthode utilisée pour le dosage des sucres solubles est celle de **Schiels et Burnett (1960)**, qui utilise l'antrone en milieu sulfurique. Le principe de cette méthode repose la condensation des produits de dégradation des sucres neutres. Les hexoses produisent des dérivés qui donnent avec l'antrone une coloration verte présentant un maximum d'absorption à 585 nm. La teneur en sucres solubles est exprimée en $\mu\text{g/g}$ de matière fraîche (MF) (**Guedda et Djabaer , 2016**).

- **Dosage des protéines totales :**

Le principe : Les ions cuivriques, dans un milieu alcalin, interagissent avec les liaisons peptidiques des protéines formant un complexe bleu violet ou l'intensité de la couleur est proportionnelle à la quantité des protéines plasmatiques (**Tietz, 1995**).

- **Dosage de la proline**

La proline est dosée par la méthode de **Trollet et Lindsley (1954)**, simplifiée et mise au point par **Drier et Goring (1974)**. Cette méthode se base sur la coloration rouge produite par l'interaction de la proline avec de la ninhydrine dans un tampon acide

- **Dosage du malonedialdéhyde (MDA):**

Le MDA est l'un des produits terminaux formés lors de la composition des acides gras polyinsaturé (PUFA) médié par les radicaux libres. Les taux élevés de MDA signent donc un stress oxydatif portant notamment sur l'oxydation lipidique.

La détection spectrophotométrique du malonedialdéhyde (MDA) par le teste à l'acide thiobarbiturique (TBA) est la méthode la plus ancienne et la plus populaire pour mesures la piroxydation lipidique .Ce pendant la MDA reste un indice peut représentatif qu'un poucent des produites de décomposition des peroxydes lipidique. Nombreux laboratoires dans le monde reposent sur le dosage du MDA pour évaluer les effets des traitements antioxydants (**Benouareth et Ghanom, 2018**).

- **Dosage de la Peroxydase (POD)**

La mesure de l'activité de peroxydase est effectuée selon la méthode de **chance et Machly (1967)**. Le purpurogalline formé entre l' H_2O_2 et le pyrogallol, par l'action de la peroxydase, est déterminé par la mesure de l'absorbance à 240 nm contre un blanc.

- **Dosage de superoxyde dismutase (SOD)**

L'activité de la SOD cytosolique est déterminée selon la méthode de **Marklund (1974)**. Le praincipe repose sur la capacité d'inhibition de l'autoxydation du pyrogalol par le SOD à 420 nm.

- **Dosage de la glutathion S- transférase (GST)**

La mesure de la glutathion S- transférase (GST) est effectuée selon la méthode de **Habig et Jakoby (1981)** détaillée dans le kit de SIGMA. Le principe est basé sur la mesure de l'absorbance à 340 nm du complexe Glutathione-2,4- Dinitrobenzene formé entre le GSH et le CDNB par l'action de la GST.

- **Dosage l'activité Ascorbate-peroxydases (APX) :**

La mesure de l'activité de l'ascorbate peroxydase est réalisée selon la méthode de **Nakane et Asada (1980)**. La réaction est basée sur l'oxydation de l'ascorbate par l'ascorbate peroxydase en présence de H₂O₂ à 290 nm.

- **Dosage de l'activité catalase (CAT) :**

L'activité enzymatique de la CAT est déterminée par la méthode de **Clairborne et (1985)**. Le principe est basé sur la disparition de l'H₂O₂ en présence de la source enzymatique à 25 C° et la formation de l'eau et oxygène.

2. Les travaux expérimentaux

Le choix a été fait sur les travaux de **Ben kaddour, (2014)**:(Modification physiologique chez des plantes de blé dur « *Triticum durum* ») et de **Gheraibia, (2016) :** (Contribution à la caractérisation des paramètres physiologiques, biochimiques et Toxicologiques chez le blé dur « *Triticum durum* » lors d'un stress oxydatif).

Selon le travail de **Ben Kaddour, 2014** l'expérimentation s'est effectué sur trois variétésde blé, le dispositif expérimental contient trois répétitions; chaque répétitions comprend 4 traitements, un témoin et trois stressé par traitement NaCl avec des concentrations croissante (**Témoin<C1<C2<C3**). L'essai de croissance a été réalisé dans des conditions semi-contrôlées. Les différents essais de croissance ont été réalisés après une période de 30 jours de croissance (1mois).

D'une autre part, **Gheraibia, 2016** à suivi l'expérimentation qui se fait sur deux variétés de blé, pour le traitement salin ainsi que celui de NaCl avec des dose croissante (**C1<C2<C3<C4**).

2.1. Analyses biochimiques

a. Dosage chlorophylle et caroténoïde

Selon **Ben kaddour (2014)**, les pigments photorécepteurs chlorophylles (a), (b) et caroténoïdes sont dosés par la méthode spectrophotométrique à des longueurs d'ondes comprises entre 640 et 663 nm, après extraction à l'éthanol. La lecture des densités optiques (D.O) des extraits permettent de déterminer la teneur en pigments en µl/ml de solution.

$$\text{Chl (a)} = 12,7 \text{ DO}_{663} - 2,69 \text{ DO}_{645}$$

$$\text{Chl (b)} = 22,9 \text{ DO}_{645} - 4,68 \text{ DO}_{663}$$

La valeur de caroténoïdes est déterminée comme suit :

$$5(\text{D.O}_{640}) - ((\text{Ca} \cdot 3,12) - (\text{Cb} \cdot 130,3)) / 200.$$

Selon **Gheraibia (2016)**, Les teneurs en chlorophylles (a) et (b) et caroténoïdes sont déterminées selon le protocole de **Lichtenthaler (1985)**. L'extraction est réalisée à froid par volume d'acétone pour environ une quantité de matière fraîche foliaire. Après 10 min de centrifugation à 5000 g, à 4°C, une mesure de l'absorbance A à l'aide d'un spectrophotomètre Shimadzu (UV1605). Les teneurs en pigments, exprimées en µg.ml⁻¹, sont calculées à partir des équations suivantes :

$$C_a = 11,24 A_{662} - 2,04 A_{645}$$

$$C_b = 20,13 A_{645} - 4,19 A_{662}$$

$$C_{a+b} = 7,05 A_{662} + 18,09 A_{645}$$

$$C_{x+c} = 1000 A_{470} - 1,90 C_a - 63,14 C_b / 214$$

(C_a et C_b : Concentration en chlorophylles a et b ; C_{x+b} : Concentration en caroténoïdes).

b. Dosage des sucres solubles

Selon **Ben kaddour (2014)**, La méthode utilisée pour le dosage des sucres solubles est celle de **Schiels et Burnett (1960)**, qui utilise l'antrone en milieu sulfurique. Le principe de cette méthode repose sur la condensation des produits de dégradation des sucres neutres. L'acide sulfurique concentré transforme à chaud les glucides en dérivés furfuriques: les hexoses produisent des dérivés qui donnent avec l'antrone une coloration verte présentant un

maximum d'absorption à 585 nm .La teneur en sucres solubles est exprimé en $\mu\text{g/g}$ de matière fraîche (MF).

Selon **Gheraibia (2016)**, Les sucres solubles sont dosés par la méthode de (**Dubois et al., 1956**). Elle consiste à prendre le matériel végétal, dans des tubes à essai, on ajoute l'éthanol pour faire l'extraction des sucres, puis on laisse à température ambiante pendant 48 heures. Au moment du dosage les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool. Dans des verres propres, on met la solution à analyser, on ajoute V de phénol on ajoute rapidement l'acide sulfurique concentré ($d = 1,86$) en évitant de verser de l'acide contre les parois de tube. On obtient, une solution jaune orange à la surface, on passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. On laisse les tubes pendant 10 min et on les places au bain marie pour 10 à 20 min à une température de 30°C . À ce moment-là l'absorbance est lue à une longueur d'onde de 485 nm.

c. Dosage de la proline

Selon **Ben kaddour, 2014**, L'acide aminé proline est dosé par la méthode (**Monneveux et Nemmar, 1986**). L'échantillon végétal est traité par le méthanol à 40% puis chauffé au bain marie à 85°C pendant une heure. Ensuite, l'extrait est ajouté dans un mélange d'eau distillée, d'acide acétique et de ninhydrine. La densité optique est lue à 528nm au spectrophotomètre. Le contenu est exprimé en $\mu\text{g/g}$ de MF.

Selon **Gheraibia (2016)**, La proline est dosée selon la technique utilisée par **Troll (1955)** simplifiée et mise au point par **Dreier (1974)** et modifiée par **Monneveux (1986)**. Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon. Cette méthode consiste à prendre le matériel végétal. Puis à ajouter le méthanol le tout est chauffé à 85°C dans un bain-marie pendant 60 min. Après refroidissement, on prélève l'extrait auquel on ajoute : l'acide acétique ; ninhydrine et un mélange contenant : l'eau distillée ; l'acide acétique et l'acide orthophosphorique ($d=1,7$). Le mélange est porté à ébullition durant 30 min, la solution vire au rouge, après refroidissement, Toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée, deux phases se séparent (une phase supérieure et une phase inférieure). Après avoir éliminé la phase inférieure, la phase supérieure est récupérée et déshydratée par l'ajout d'une spatule de Na_2SO_4 anhydre. On détermine la DO Nà 528 nm.

d. Dosage des protéines

Selon **Ben kaddour, 2014**, Les protéines à été quantifiées selon la méthode de **Bradford, (1976)** qui utilise le bleu brillant de Coomassie G250 et le de sérum albumine bovine (BSA) comme standard. Le dosage se fait au spectrophotomètre à la longueur d'onde 590nm. Le contenu en protéines est exprimé en $\mu\text{g/g}$ de MF par rapport à une courbe d'étalonnage faite avec des concentrations connues.

Selon **Gheraibia (2016)**, La méthode retenue pour le dosage des protéines totales est celle de (**Bradford ,1976**) qui utilise la BSA (Sérum d'Albumine de Bovin) comme standard. Elle consiste à prendre le matériel végétal, chaque échantillon est broyé avec l'eau distillée puis filtré et versé dans un tube à essai contenant d'eau distillée. Pour le dosage on prend le réactif Bradford avec la solution à analyser l'eau distillée (bien agiter au vortex). Parallèlement, il est préparé un essai de contrôle en utilisant V d'eau distillée ; après 5min à une heure on procède à la lecture de l'absorbance à 595nm.

2.2.Les paramètres enzymatiques

a. Détermination de l'activité de la catalase

Selon **Ben kaddour, 2014**, Les feuilles sont broyées avec la solution tampon pH= 7 pour préserver l'activité enzymatique. Le broyat récupéré est centrifugé à 5000tr/mn pendant 5min. Le surnageant est filtré pour l'obtention de l'extrait enzymatique qui sera conserver à 4°C jusqu'à son utilisation. La catalase est un enzyme permettant la transformation de l'eau oxygénée (H_2O_2) en eau (H_2O) et dioxygène (O_2). Pour mesurer cette activité, l'extrait enzymatique est mis en contact avec de l'eau oxygénée pendant une durée déterminée.

L'extrait enzymatique est mis dans H_2O_2 pendant 5min. La réaction est arrêtée par l'introduction d'un volume d' H_2SO_4 . Le volume réactionnel est titré par le permanganate de potassium (KMnO_4) jusqu'à la stabilité de la coloration rose. L'activité de la catalase est déterminée par la méthode de (**Vasille et al., 2005**) et exprimée en $\mu\text{Kat/g}$ de MF (μKat = disparition d'une μmoles de substrat par secondes) selon la formule suivante :

$$\text{Cat} = n.(V_t - V).VE / T.PE.MF$$

n = nombre de mole de H_2O_2 oxydées par 1 ml de KMnO_4 : $5\mu\text{moles/ml}$ de permanganate.

V_t = volume moyen de permanganate de potassium pour le dosage des témoins (en ml).

V = volume moyen de permanganate de potassium pour le dosage des extraits enzymatiques en (ml).

VE = volume de l'extrait enzymatique brut : 25 (ml).

PE = volume d'extrait enzymatique qui est introduit dans la réaction mesurée : 1(ml).

T = temps de réaction (300 secondes).

MF = masse de matière fraîche en grammes : 0,5 (g).

Selon **Gheraibia (2016)**, Le dosage spectrophotométrique de l'activité catalase est réalisé suivant la méthode de (**Cakmak et Horst, 1991**). La décroissance de l'absorbance est enregistrée pendant trois minutes, pour une longueur d'onde de 240 nm et un coefficient d'extinction linéique molaire $\epsilon=39400 \text{ M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{L}$. Pour un volume final de le mélange réactionnel contient : l'extrait enzymatique brut, le peroxyde d'hydrogène et le tampon phosphate. L'étalonnage de l'appareil se fait en absence de l'extrait enzymatique. La réaction est déclenchée par l'addition d'eau oxygénée. L'activité catalase est exprimée en nmol/min/mg de protéines.

b. Dosage de gaïacol peroxydase

Selon **Ben kaddour, 2014**, L'activité gaïacol peroxydase (GPOX) est déterminée par spectrophotométrie à 470nm suivant la technique de **Mac Adam, (1992)**. Le coefficient d'extinction linéique molaire utilisé est $\epsilon=26,6\text{mM}/\text{cm}$. Pour un volume final, le mélange réactionnel contient : un extrait enzymatique, un tampon phosphate, gaïacol, H_2O_2 . L'étalonnage de l'appareil se fait en l'absence de l'extrait enzymatique. La réaction est déclenchée par l'ajout du peroxyde d'hydrogène. L'activité GPOX est exprimée en $\mu\text{mol oxydé}/\text{min}/\text{gde MF}$.

Selon **Gheraibia (2016)**, L'activité gaïacol-peroxydase (GPX) est déterminée spectrophotométriquement à 470 nm suivant la technique de (**Fielding et al., 1978**), le coefficient d'extinction linéique molaire utilisé est $\epsilon=2470\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ pour un volume final, le mélange réactionnel contient : l'extrait enzymatique, H_2O_2 et de tampon phosphate NaK-gaïacol. L'étalonnage de l'appareil se fait en l'absence de l'extrait enzymatique. La réaction est déclenchée par l'ajout du peroxyde d'oxygène. L'activité GPX est exprimée en nmol/min/mg de protéines.

c. Détermination de l'activité enzymatique de l'APX

Selon **Ben kaddour, 2014**, L'activité enzymatique de l'APX est déterminée par la méthode spectrophotométrique selon (**Servais, 2004**).

$$Act = \Delta A \cdot V_t / \epsilon \cdot \Delta t \cdot L \cdot P \cdot T$$

Act : activité enzymatique en nmoles/min/mg de protéines

ϵ : coefficient d'extinction linéique molaire en (M)

ΔA : différence moyenne de l'absorbance

V_t : volume total du mélange réactionnel en (ml)

V_e : volume de l'extrait enzymatique en (ml)

L : largeur de la cuve de mesures en (cm)

P : teneur en protéines en (mg)

T : temps de lectures en (min)

Selon **Gheraibia (2016)**, Le dosage spectrophotométrique de l'activité ascorbate-peroxydase est réalisé suivant le protocole adopté par (**Nakano, 1987**). Le volume réactionnel final contient : l'extrait enzymatique, H_2O_2 , le tampon phosphate NaK-Ascorbate. L'étalonnage de l'appareil se fait en l'absence de l'extrait enzymatique. La lecture est effectuée à 290 nm pendant 1 min chaque 15 sec et ce pour un coefficient d'extinction linéique molaire $\epsilon = 2800 M^{-1} \cdot cm^{-1}$. L'activité APX est exprimée en nmol/min/mg de protéines.

3. Résultat et discussion

La chlorophylle

Concernant la teneur de la chlorophylle (a) et (b) et caroténoïdes, les résultats obtenus par **Ben kaddour, 2014**, montrent une réduction causée par le stress salin chez les trois variétés étudiées. Cette réponse est fonction de l'intensité de stress et de la variété. Par ailleurs, les résultats obtenus par **Gheraibia (2016)**, compte tenu du contenu chlorophylliens (a), (b), et caroténoïdes, les variétés ont été affectées d'une manière négative par stress salin. En effet, la plus forte dose appliquée (C4) de NaCl (stress sévère) a réduit le contenu en chlorophylle (a) chez les deux variétés étudiées, aussi cette diminution est expliquée par **Doudech et al., (2008)** par la dégradation des membranes de thylakoïdes des

chloroplastes et l'altération du processus photosynthétique. Des résultats similaires ont été trouvés par d'autres travaux notamment ceux de **Cheikh M'hamed *et al.*, (2008)**, sur le pois chiche, et **Chenetal (1991)**, sur le Trif bleu.

Les sucres solubles

Selon les résultats de **Ben kaddour, 2014**, L'accumulation des sucres solubles et protéines totales est en corrélation positive avec la sévérité du stress. En effet, on a trouvé que, la salinité a induit une accumulation de sucres solubles chez les 3 variétés, par ailleurs, les résultats de **Gheraibia (2016)**, montre que les Sucres solubles ont connus une augmentation de la concentration en repense au stress salin. Les variétés ont confronté le stress salin par une forte accumulation de sucres solubles foliaire par rapport à celui des racines, cette accumulation a été mentionné déjà par **El Midaoui *et al.*, (2007)** sur le tournesol, **Hassan *et al.*,(2008)** sur l'orge, et **Ruegragui, (2005)** sur la tomate.

La proline

Concernant la proline, les résultats obtenus par **Ben kaddour, 2014**, indiquent que les contenus en proline des feuilles des plantules soumises au stress salin sont plus élevés par rapport aux témoins chez toutes les variétés. L'accumulation de la proline peut être due à une augmentation de la synthèse de cet acide aminé ou à la protéolyse des protéines déjà synthétisées et sa libération. (**Delauney et Verma, 1993**). L'accumulation de cet acide aminé peut en effet jouer un rôle dans l'osmorégulation des cellules en cas de déficit hydrique. Par ailleurs, les résultats de **Gheraibia (2016)**, montrent que le stress provoque une augmentation de la teneur en proline, mais le taux d'augmentation reste corrèlé avec le génotype,l'examen de la réponse biochimique du contenu de proline dans les feuilles, montre que l'accumulation de cet acide aminé est variable d'une variété à une autre; ces résultats sont conformes avec d'autre recherches faites par **Ruegragui (2005)**; **El Iklil *et al.*,(2001)**; **Perez alfocea *et al.*,(1996)** et **Hassan *et al.*,(2008)**. La proline est un acide aminé libre considéré comme biomarqueur de stress. (**Zhu, 2002**). Ces osmoprotectants sont des solutés du métabolisme cellulaire qui protègent les plantes contre les différents stress abiotiques, par le réajustement osmotique, ce qui maintient la turgescence cellulaire et l'absorption hydrique dans des conditions hyperosmotiques.

La catalase

Selon les résultats de **Ben kaddour, 2014**, La catalase (CAT) est parmi ces enzymes qui jouent un rôle important dans la transformation et l'élimination du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) en (H₂O). D'après ses résultats, l'activité de cette enzyme a été affectée par la salinité.

La plus faible dose (C1) a diminué cette activité chez les variétés. Par ailleurs, les résultats de **Gheraibia (2016)**, montrent que l'activité CAT a augmenté avec l'augmentation du stress salin, mais elle était très élevée chez les deux variétés. Cette même observation a été faite dans les feuilles et les racines de tomates, où l'activité CAT a augmenté dans les plantes soumises à différents degrés de stress salin par rapport aux témoins dans (**Doudech et al., 2008**). D'une manière générale, l'activité de la catalase est stimulée avec les faibles doses et inhibée avec les fortes doses. Cette modification de l'activité de l'enzyme est dépendante de la sévérité du stress salin, de la variété et du stade de développement (**Ashraf et al., 2012**).

Le GPX

Selon les résultats de **Ben kaddour, 2014**, montre que l'activité du gaïacol peroxydase est aussi fortement diminuée par la salinité ou l'on observe une chute drastique de cette activité chez toutes les variétés étudiées. Par ailleurs les résultats de **Gheraibia (2016)**, ont montré que le stress salin provoque une augmentation significative de l'activité gaïacol peroxydase au niveau racinaire et foliaire des plantes des variétés.

L'ascorbate oxydase

De la même façon, les résultats de **Ben kaddour, 2014**, l'activité de l'ascorbate peroxydase est exprimée par une réduction chez toutes les variétés étudiées. Des études rapportent que la diminution de cette activité est dépendante de la sensibilité des espèces aux contraintes environnementales, et les stades de développement des plantes. Par contre, l'élévation de l'activité du glutathion S-transférase est nettement observée chez les variétés de blé dur et la dose la plus forte en NaCl induit une stimulation notable comparée aux témoins. Par ailleurs les résultats de **Gheraibia (2016)**, montrent une augmentation significative de l'activité ascorbate peroxydase dans les racines et les feuilles des deux variétés traitées. De nombreux travaux sont en accord avec ces résultats.

En fin ces résultats confirment que le traitement par NaCl a un effet négatif sur les réponses oxydatives et confirme que le stress salin peut induire un stress oxydatif chez les plantes par la production de formes actives d'oxygènes, l'intensité de la réponse change selon les espèces et les variétés.

**CONCLUSION
GENERALE**

CONCLUSION GENERALE

Certaines études ont permis de décrire les comportements variés vis-à-vis des contraintes abiotiques qui règnent dans l'environnement de la céréaliculture Algérienne.

La salinité représente l'un des principaux facteurs de la réduction des rendements agricoles. L'un des défis de la recherche actuelle en écophysologie végétale est de produire des variétés de plantes à intérêt agronomique présentant une tolérance vis-à-vis du stress salin.

Globalement, cette étude a montré que le blé est une plante sensible aux contraintes abiotiques qui limitent la productivité céréalière. Pour déterminer la sensibilité de cette plante au stress salin et sa réaction oxydative, on a choisi des travaux sur des variétés de blé cultivées en Algérie, et voir l'effet du stress salin sur les différents mécanismes de tolérance et d'adaptation physiologiques (biochimiques) que déclenchent ce stress.

La réponse des variétés après analyse comparative de quelques paramètres, physiologiques, démontre une forte diminution dans les caractères morpho-physiologiques d'une part et d'autre part, la sensibilité du blé pour les variétés étudiées.

Dans cette étude on a observé que le stress salin provoque une diminution progressive des contenus chlorophylliens (a), (b), et caroténoïdes avec la sévérité du stress chez toutes les variétés. En effet, les traitements salins provoquent le stress oxydatif avec des effets néfastes sur le développement du blé, qui se manifestent par la diminution de la teneur en eau des feuilles et une perturbation au niveau des pigments photosynthétiques. De même, une importante activation de la biosynthèse des protéines, des sucres totaux, de la proline, la peroxydation lipidique et l'induction sur la production des espèces réactives à l'oxygène nommées ERO. Cependant, les plantes disposent de certaines activités enzymatiques majeures pour la détoxification sont qui: la catalase (CAT), l'ascorbate peroxydase (APX) et Gaïacol-peroxydase (GPX), et non enzymatique intervenant dans le système de défense antioxydantes nécessaires pour réduire l'excès des ERO induit par le stress salin.

En diminuant et régulant la production de radicaux libres afin d'atténuer et d'éviter les dommages oxydatifs dans les tissus des plantes, la catalase (CAT) est parmi les enzymes qui jouent un rôle important dans la transformation et l'élimination du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) en (H_2O). Les résultats, révèlent que l'activité de cette enzyme a été affectée par la salinité. Par contre, l'activité de la peroxydase a été excessive avec la sévérité du stress. Parallèlement à la catalase, l'activité du gaïacol peroxydase est fortement diminuée, aussi

par de la salinité. De la même façon que l'activité de l'ascorbate peroxydase. En conclusion de cette étude, on peut dire que les doses croissantes en NaCl provoquent une diminution importante de l'activité de la plupart des enzymes anti oxydantes étudiées durant la phase importante dans la vie des végétaux.

En perspective pour confirmer ces résultats sur le blé tendre, un travail pratique sur les paramètres étudiés est recommandé, par l'application de méthodes analytiques citées dans les travaux à fin d'examiner la réaction oxydative du blé tendre face au stress salin.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUE

Référence bibliographiques

Abcassis J, (1993). Nouvelles possibilités d'apparécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés. Ind. Céréales N°, pp32.

Abdani I et Bakhti A, (2007). Composition biochimique et nutritionnel de différentes variétés de blé commercialisé en Algérie. Mémoire présenté pour obtenir de diplôme master. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. P5.

Abogadallah G, M, (2010). Antioxydative defense under salt stress. Plant Signaling and Behavior, vol.5(4), p.369-374.

Achour A, (2016). La caractérisation Physiologique et Biochimique du Gombo (*Abelmoschus esculentus* L.) sous Stress Salin. Thésede Doctorat en science biologique. Université d'oran 1 Ahmed Ben bella. Faculté des sciences de la nature et de la vie.

Ait yahia L et Zemmourahella D, (2014). Etude de l'effet d'un stress oxydatif et le système défensif enzymatique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). De Master en biologie et génomique végétales. Université de constantine1. 35.

Alem C et Amri A, (2005). Importance de la stabilité membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge, biochimie et environnement, Reviews In Biology and Biotechnology, vol 4, N°1:20-31.

Alem C, Initia F, Amri A, Filali Maltouf A, (2001). Rôle de stabilité membrane foliaire dans la tolérance à la salinité chez l'orge. Al Awamia, 103 : 9-22.6.

Alem CH, Labhilili M, Brahmi K, Jlibene M, Nasralhaq N, Filali Maltouf A, (2002). Adaptation hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. C.R Biologies, 325:1097-1109.7.

Amtmann A, et Leigh R, (2010). Ion homeostasis. In Abiotic Stress Adaptation in Plants (pp. 245-262). Springer, Dordrecht.

Anonyme, (2003). Le blé. [En ligne].URL [http:// technoboulangage.com/le-blé](http://technoboulangage.com/le-blé). (Date de consultation : 7 mars 2003)

Anonyme, (2011). file:///E:/blé Moderne et Blé Ancien pas différence.net.htm.

Apse M, P, et Blumwald E, (2007). Na⁺ transport in plants. FEBS Letterd 581(12), 2247-2254.

Armand et Germain, (1992). Le blé élément fondamentaux, (Ed) presses université laval, p26-30.

Asada K, (2000). "The water–water cycle as alternative photon and electron sinks." Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 355(1402): 1419-1431.

Ashraf M et Foolad M, R, (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environ. Exp. Bot. 59(2) : 206-216.

Ashraf M et Harris, (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Sci., 166: 3-6.

Asloum H, (1990). Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicon esculentum* L) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia-Antipolis : 24-32.

Azevedo Neto A, Prisco J, Eneas-Filho J, De Abreu C, Gomes- Filho E, (2006). Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and saltsensitive maize genotypes. Environ Exp Bot 56:87-94.

Baatour O, M'rah S, Ben Brahim N, Boulesnem F, Lachaal M, (2004). Réponse physiologique de la gesse (*Lathyrus sativus*) à la salinité du milieu. Revue des Régions Arides, Tome 1, No.spécial: 346-358.

Baba sidi Kaci S, (2010). Effet du stress salin sur quelques paramètres phoenologiques (biométrie, anatomie) et nutritionnels de l'Atriplex en vue d'une valorisation agronomique. Université KasdiMerbah, Ourgla. Mémoire magister : 5-13p.

Baba sidi Kaci S, (2010). Effet du stress salin sur quelques paramètres phoenologiques (biométrie, anatomie) et nutritionnels de l'Atriplex en vue d'une valorisation agronomique.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Mémoire Magistère département des sciences agronomiques. Université KasdiMerbah, Ouargla. De Ouargla. P: 09.

Bajji M, (1999). Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés in vitro. Thèse de Doctorat. Univ. Louvain.

Baldy C, (1986). Comportement des blés dans les climats méditerranéens. *EcologiaMediterranea*, (12): 73-88.

Baratli y, (2015). Etude de la toxicite des nanoparticules d'oxyde de fer (Fe_3O_4) chez le rats (analyses mitochondriales et du stress oxydant). Thèse de Doctorat. Université de strasbourg et université de carthage.

Bartels D et Sunkar R, (2005). Drought and salt tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* 24(1): 23-58.

Battinger R, (2002). La photosynthèse. Educagri édition, Dijon.

BelagrouzA, (2013). Analyse du comportement du blé tendre, variété AL-WIFAK(*Triticum aestivum*.L) conduite à labour conventionnel, Travail Minimum et semi direct sur les hautes plaines sétifienns, pour obtenir le diplôme Magister. Université Farhat Abbas. Sétif .Faculté de sience de nature et de vie.p3.

Belbachir KH, (2019). Etude phytochimique et l'activité antioxydante de la plante «*Eucalyptus camaldulensis*». De Master. Université Belhadj Bouchaidd'ain- Temouchent.77.

Ben Ahmed F, (2010). Stress oxydatif chez des plantules de *Vicia faba*L. Soumises à différentes contraintes abiotiques (stress salin, stress hydrique et stress aux métaux lourds). Mémoire de Magister en Biologie. Université d'Oran.

Ben Ahmed H, Zid E, EL Gazzah C, Grignon C, (1996). Croissance et accumulation ionique chez *Atriplexhalimus* L. *Cahiers d'Agricultures*,5: 367-372.

Ben hamdi A, (2014). Etude des enzymes de stress oxydatif chez *Hedysarum pallidum* Desf. Et *Lygeumspartum* L, en réponse à la pollution du sol par l'antimoine. Thèse de Doctorat 3éme cycle LMD. Université Constantine 1. Faculté des Sciences de nature et de la vie.

Ben mbarek K et Mohsen B, (2017). Manuel de granes cultures- les céréales.

Benbelkacem A, (2007). Les triticales : cultures, performances et différentes possibilités d'utilisation en Algérie. Journée techniques sur la culture du triticales en zone semi aride et son utilisation par les animaux domestique. Thèse doctorat, Oum Elbouagui-Elkhroub, 17-18.

Benkaddour M, (2014). Modification physiologique chez des plantes de blé (*Triticum durum*) exposées à un stress salin. Université badji Mokhtar, Annaba. Thèse de doctorat : 23-80-81p.

Benmahioul B, Daguin F, et KaidHarche M. (2009). Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du Pistachier (*Pistacia vera* L.) *Comptes Rendus Biologies* 332(8), 752-758.

Berthomieu P, Conéjéro G, Nublat A, Brackenbury WJ, Lambert C, Savio C, Uozumi N, Oiki S, Yamada K, Cellier F, Gosti F, Simonneau T, Essah P.A, Tester M, Véry A.A, Sentenac H, et Casse F, (2003). Functional analysis of AtHKT1 in Arabidopsis shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *The EMBO journal* 22(9), 2004-2014.

Bérubé R, Malenfant J, Gauvin D, Biais M, Gagnon E, Dumas R, Racine M.C, ourque J, Bélanger A, (2000). Quantitation of androgenic and estrogenic steroids in rat and monkey serum using gas chromatography and negative chemical ionisation mass spectrometry. *Proc 48th ASMS Conference on Mass spec-trometry and Allied Topics*, Long Beach, CA. 605.

Bloomer RJ, Fisher, Wellman KH, (2008). Blood oxidative Stress Biomarkers: influence of sex. Training Status, and dietary Intake. *Gender Medicine*.5 (3): 218-228.

Blumwald E, Grover A et Good A. G, (2004). Breeding for abiotic stress resistance: challenges and opportunities. 2004 « New directions for a diverse planet ». Dans *Proceedings of the fourth International Crop Science Congress*, 26 September – 1 October 2004, Brisbane, Australia.

Bohnert H.J et Jensen R.G, (1996). Metabolic engineering for increased salt tolerance -the next step. *Aust. J. Plant Physiol.* 23(5): 661-667.

Bonneuil, Roerich R et Anglade P, (2009). Innover autrement, la recherche face à l'avènement d'un nouveau régime de production et de régulation des savoirs en génétique végétale, *Docier de l'environnement de l'INRA*, 30, 2006, P.29-51.

Bot Nachtergaele Y, (2000). Land resource potential and constraints at regional and country levels. World SoilResources, Report N° 90. Rome, FAO.

Bouchaddi K, (2009). Réponses physiologiques biochimiques et anatomiques chez le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) au stress de la salinité. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme Magister, université Sania d'Oran. Oran. P:12-13/104.

Boulelouah N, (2002). Analyse de la variabilité génotypique de l'absorption de l'azote chez le blé tendre. DEA.INA. Paris Grignon,33p.

Bouzid S, (2009). Etude de l'effet de la salinité et de la présence du molybdène sur le comportement écophysologique de deux variétés de plantes de l'espèce *Phaseolusvulgaris*L. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Biologie végétale, UniversitéMantouriConstantine.P: 20-21.

Bradford M.M, (1976). Rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of proteinutilizingprinciple of protein-dye binding. AnalyticalBiochemistry, 72 : 248-254.

Bradford M.M, (1976). Rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of proteinutilizingprinciple of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72 : 248-25

Brahimi F, (2007). Variation phénotypique pour la tolérance aux stress salin et hydrique chez le blé tendre (*Triticumaestivum* L). Mémoire présenté pour obtention du diplôme master ; université Mouhamed Boudiaf, Msila .p9.

Cakmak I et Horst J.H, (1991). Effects of aluminum on lipidperoxidation, superoxidedismutase, catalase, and peroxidaseactivities in roottips of soybean (*Glycine max*). *Physiologia Plantarum*, 83: 463-468.

Carange J, (2010). Rôle antioxydant et anti-apoptotique des brassinostéroïdes, une nouvelle stratégie de neuroprotection ? Thèse de doctorat. Université du Québec Trois-Rivières.

CCI, (2018). Évaluation de la production de blé 2017/2018.

CCI, (2019). le conseil international des céréales Production de blé en volume dans le monde 2015-2019

Chance B, Machly A, (1967). Methods of biochemical analysis, in: Interscience Publishers Inc. Glick D, New York.

- Cheeseman J.M, (1988).** Mechanisms of salinity tolerance in plants. *Plant. Physiol.* 87: 547-550.
- Cheikh M'hamed H, Abdeallaoui R, Kadri K, Ben naceur M, Bel Hadj S, (2008).** Évaluation de la tolérance au stress salin de quelque accession d'orge (*Hordumvulgare*L.) cultivées en Tunisie : approche physiologique. *Science et Technologie C*, N°28 :30-37..
- Chen C.T, Li C.C, Kao C.H, (1991).**Senescence of rice leaves. XXXI changes of chlorophyll, protein and polyamine contents and ethylene production during senescence of a chlorophyll-deficient mutant. *Journal of Plant Growth Regulation*,10: 201-205.
- Chinnusamy V, (2004).**Molecular genetics perspectives on cross-talk and specificity in abiotic stress signalling in plants. *J of Experimental Botany*.pp225-236.
- Clement G et Prats, (1971).** Les céréales, Ed.j.B. Bailliers et Fils,360p.
- Cooke M.S, Evans M.D, Dizdaroglu M, Lunec, J, (2003).** Oxydative DNA Damage: mécanisme, mutation, and disease. *FASEB J*.17,1195-1214.
- Cushman J.C, (2001).** Osmoregulation in plants: Implication for agriculture. *Am. Zool.* 41(4): 758-769.
- Darbyshi B, (1974).** The function of the carbohydrate units of tree fungal enzymes in their resistance to dehydration plant *physiol*;54: 717-721.
- Dazy M, Masfaraud J.F, (2009).** Induction of oxidative stress biomarkers associated with heavy metal stress in *Fontinalis antipyretica*hedw. *Chemosphere.* 75, 297-302.
- Delauney A.J, Verma D.P.S, (1993).** Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *PlantJournal*, 4, 215-223.
- Demidchik V, (2014).** Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. *Environmental and Experimental Botany* 109: 212–228.
- Deng B, Du W, Liu C, Sun W, Tian S, Dong H, (2012).** Antioxidant response to drought, cold and nutrient stress in two ploidy levels of tobacco plants: low resource requirement confers polytolerance in polyploids? *Plant GrowthRegulation.* 66(1): 37-47.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Djekoun A et Ykhlef N, (1996). Déficit hydrique, effet stomatique et non stomatique et activité photosynthétique chez quelques génotypes de blé tétraploïdes. 3ème Réunion du réseau SEWANA, de bé dur IAV HASSAN II du 67 décembre 1996 (Maroc).

Doudech N, Mhamdi M, Bettaieb T, Denden M, (2008). Tolérance à la salinité d'une graminée à gazon. *Tropicultura*, 26. 3:182-185.

Dreier W et Göring M, (1974). Der Einfluss hoher Salzkonzentration auf verschiedene physiologische Parameter von Maiswurzeln. *Wiss. Z. Humboldt Univ. Berlin, Reihe/Math. Naturwiss*, 23: 641-644.

Dubois M, Gilles K, Hamilton J, Rebers P, Smith F, (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350–356

Dutuit P, Pourrat Y, Dutuit J.M, (1994). La notion de stress de la cellule à l'écosystème. *Sècheresse*, 5. 1: 23-31.

Edreva A, (2005). "Generation and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts: a submolecular approach." *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 106(2-3): 119-133.

El-Iklil Y, Karrou M, Mrabet R, Benichou M, (2001). Effet de stress salin sur la variation de certains métabolites chez *Lycopersicon esculentum* et *Lycopersicon sheesmanii*. *Journal of Plant Sciences*, 41:177-183.

EL-karaki G N, (2000). Growth, water use efficiency, and sodium and potassium acquisition by tomato cultivars grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*. Vol. 23, No. 1: 1-8.

El-Mekkaoui M, (1990). Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez le blé dur (*T. durum* des f) et l'orge (*H. vulgare*): recherches de tests précoces de sélection. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Montpellier. 191p.

Eltner, (1987). In **Parida A.K, Das, A.B, (2005).** Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 60: 324-349.

Fam S.S, Morrow J.D, (2003). The isoprostanes: unique products of arachidonic acid oxidation-a review. *Curr. Med. Chem.* 10, 1723-1740.

FAO, (2007). Perspective alimentaires. Analyse des marchés mondiales

FAO, (2016). WFP, (2015).The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress. Food and Agriculture Organization Publications, Rome.

FAO, (2017). file:///C:/Users/tassili/Downloads/Documents/a-I7658f.pdf

FAO, (2019) . <http://www.fao.org/3/CA5040FR/CA5040FR.pdf>.

Favier A, (2003). Le stress oxydant: Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique, Mécanismes biochimiques.108-115.

Favier M. et Hininger-Favier I, (2005). Zinc et grossesse. Gynécologie Obstétrique et Fertilité .Vol. 33(4):253-258.

Feuillet P, (2000). le grain de blé, composition et utilisation, Editions QUAE, P,308.

Fielding JL , Hall JL, (1978). A biochemical and cytochemical study of peroxidase activity in roots of *Pisum sativum*, J. Exp. Bot. 29: 969-981.

Flowers T. J, Troke P. F. et Yeo A. R, (1977). The mechanisms of salt tolerance in halophytes. Annual review of plant physiology 28(1), 89-121.

François X, (2014). Article on les types de farine, culture culinaire.in site web : cuisinedaubery.com.

Gadallah M A, (1999). Effects of proline and glycine betaine on *Vicia fabae* responses to salt stress. Biol plant, 42:249-257.

Gate P, (1995). Ecophysiologie du Blé. Ed. ITGF. Technique et documentation. Lavoisier, paris, 419p.

Gheraibia H, (2016). Contribution à la Caractérisation des Paramètres Physiologiques, Biochimiques et Toxicologiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) lors d'un Stress Oxydatif. De Doctorat. UuniversitéBadji Mokhtar – Annaba.

Ghezzi P, bonetto V, (2003). Redox proteomics: identification of oxidative ly modified proteins. Proteomics. 3, 1145-1153.

Gill S.S, Tuteja N, (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plan Physiol. Biochem.* 48, 909-930.

Gilmour S.J, Sebolt A.M, Salazar M.P, Everard J.D, Thomashow M.F, (2000). Overexpression of the Arabidopsis CBF3 transcriptional activator mimics multiple biochemical changes associated with cold acclimation. *Plant Physiol.* 124(4):1854-1865.

Gouny P, Brachet J, (1967). La qualité des eaux d'irrigation B.T.I: 224.

Gratão P. L, Polle A, Lea P. J, et Azevedo R. A, (2005). Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional plant biology* 32(6): 481-494

Habig W.H, Jakoby W.B, (1981). Assays for differentiation of glutathione S-transferases. *Methods Enzymol.* 77, 398.

Haleng J , Pincemail J , Defraigne J.O , Charlier C , cHaPelle J.P , (2007). Le stress oxydatif. *Rev Med Liege ;* 62 : 10 : 628-638.

Halliwell B et Whiteman M, (2004). "Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean?" *Brazilian Journal of Pharmacology* 142(2): 231-255.

Halliwell B, (2006). "Reactive Species and Antioxidants. Redox Biology Is a Fundamental Theme of Aerobic Life." *Plant Physiology* 141(2): 312-322.

Hamadache A, (2013). *Eléments de phytotechnie générale-Grandes Cultures-Tome 1 : le blé,* pp : 11-49.

Hanana M, Cagnac O, Zarrouk M, Blumwald E, (2009). Rôles biologiques des antiports vacuolaires NHX : acquis et perspectives d'amélioration génétique des plantes. *Botany* 87(11), 1023-1035.

Hanana M, Hamrouni L, Cagnac O, Blumwald E, (2011). Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) Chez les plantes, *journal translation, CNRC,* vol 09, 121-141p.

Hancock J, Desikan R, Harrison J, Bright J, Hooley R, Neill S, (2006). Doing the unexpected: proteins involved in hydrogen peroxide perception. *J. Exp. Bot.* 57, 1711-1718.

Hanson W.C, Sanatani S.S, Zuccaro D.R, (1977).The martian ionospheres as observed by the Viking retarding potential analyzers, J. Geophys. Res, 82:4351.

Hassan I, Della L A, Belkhodja M, Kaid-Harche M, (2008). Effet de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum Vulgare*). European Journal of Scientific Research, 23, 1:61-69.

Hauser F et Horie T, (2010). A conserved primary salt tolerance mechanism mediated by HKT transporters: a mechanism for sodium exclusion and maintenance of high K⁺/Na⁺ ratio in leaves during salinity stress. Plant, cell & environment 33(4), 552-565.

Hernandez J.A, Ferrer M.A, Jiménez A, Barcelo A.R, Sevilla F, (2001). Antioxidant systems and O₂⁻/H₂O₂ production in the apoplast of pea leaves. Its relation with salt-induced necrotic lesions in minor veins. Plant Physiol, 127: 817-831.

Hillel D, (2000). Salinity Management for Sustainable Irrigation. The World Bank, Washington, D.C.

Hopkins W G, (2003). Physiologie végétale. 2^{ème} édition. De Boeck, Bruxelles: 61-476.

Horie T, et Schroeder J.I, (2004). Update on sodium transporters in plants. Diverse genes and physiological functions. Plant Physiology 136(1), 2457-2462.

Iptrid, (2006). Electronic conference on salinization: extension of salinization and strategies of prevention and rehabilitation. Project CISEAU. P:2-11.

Ismail A.M.A, (1990). Germination ecophysiology in population of *Zygophyllum qatarense* Hadidi from contrasting habitats. J. Arid. Environ, 18: 185-194

ITGC, (2013). La culture de blé Institut technique des grandes cultures (ITGC). 2013.

Jabnour M, (2008). Adaptation des plantes à l'environnement : Stress salin. Présentation Power Point

Jenkins R. R, (2000). Exercise and oxidative stress methodology : a critique. Am J Clin Nutr 72(suppl), 670-674.

Joseph B et Jini D, (2011). Development of salt stress-tolerant plants by gene manipulation of antioxidant enzymes. Asian journal of agricultural research. 5(1): 17-27.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Kasai H, (1997).** Analysis of a form of oxidative DNA damage, 8- hydroxy-2'deoxyguanosine, as a marker of cellular oxidative stress during carcinogenesis. Mutation Research/Reviews in Mutation Research, vol. 387(3), p.147-163.
- Kevin L.G, Fcarcsi, Novalija E, Stowe D.F, (2005).** Reactive oxygen species as mediators of cardiac injury and protection: The relevance to anesthesia practice. Anesthesia and Analgesia. 101:1275–1287.
- Khithier H, (2019).** Etude des effets de la thymoquinone sur le stress oxydant : Application à l'hépatotoxicité et l'arthrite rhumatoïde induite chez le rat .la thèse de doctorat. Université Ferhat Abbas Sétif 1. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.
- Kocsy G, Laurie R, Szalai G, Szilagyi V, Simon-Sarkadi L, Galiba G, Ronde J.A, (2005).** Genetic manipulation of proline levels affects antioxidants in soybean subjected to simultaneous drought and heat stresses. Physiol. Plant. 124(2): 227-235.
- Kovda V.A, (1983).** Loss of productive land due to salinization. Ambio, 12:91-93.
- Lamaze T, Tousch D, Sarda X, Grignon C, Depigny-This D, Monneveux P, Belhassen E, (1994).** Résistance de plantes a la sécheresse : mécanismes physiologiques. Le sélectionneur Français, 45: 75-85.
- Larabi M, (2017).** Evaluation du stress oxydant au niveau d'une population de femmes atteintes de cancer de l'ovaire – Etude- Cas – Temois. Mémoire de MASTER .Université de Tlemcen Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers.
- Leopoldini M, Russo N, Toscano M, (2011).** The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants. Food Chemistry, 125(2), p. 288-306.
- Levigneron A, Lopez F, Vansuyt G, Berthomieu P, Fourcroy P, Casse-Delbart F, (1995).** Les plantes face au stress salin. Cahiers Agricultures.4 (4): 263-273.
- Levitt J, (1980).** Responses of plants to environmental stresses. Water radiation, salt and others stresses. Academic Press, New York,2: 365-406.
- Lichtenthaler H.K et Wellburn A.R, (1985).** Determination of total carotenoids, chlorophylls a, and b of leaf in different solvents. Biochem. Soc. T, 11: 591-592.

Linn, (1988). In Parida, A.K, Das, A.B, (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 60: 324-349.

Liu Y et Zhang S, (2004). Phosphorylation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase by MPK6, a stress-responsive mitogen-activated protein kinase, induces ethylene biosynthesis in *Arabidopsis*. *The Plant Cell Online.* 16(12): 3386-3399.

Morel C, (2007). Etude de la régulation de la sulfhydryl oxydase QSOX1 et de son implication dans l'apoptose induite par le stress oxydant. Thèse de Doctorat de l'université de Franche Comté.

Madr, (2011). Ministère de l'agriculture et du développement rural.

Mahrouz F, (2013). Effet du stress salin sur la croissance et la composition chimique de l'*Atriplex canescens*. Diplôme D'Ingénieur d'Etat. Université KasdiMerbah-Ouargla. Ouargla. P:68

Maillard J, (2001). Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. *Risques et recommandations.* Handicap International. Novembre 2001, 34 p.

Majumder A.L, Sengupta S, Goswami, L, (2010). Osmolyte regulation in abiotic stress. Chap. 16. Dans *Abiotic stress adaptation in plants: Physiological, molecular and genomic foundation.* Sous la direction de Pareek, A; Sopory, S.K; Bohnert, H ; Govindjee, J. 349-370.

Mansour, M.M.F. (1998). Protection of plasma membrane of onion epidermal cells by glycinebetaine and proline against NaCl stress. *Plant Physiol. Biochem.* 36(10): 767-772.

Marie-Eve Lavoie, (2012). Inflammation, stress oxydant, profil métabolique : influence des apports alimentaires et de la dépense énergétique. En vue de l'obtention du grade de Ph.D. en nutrition. Université de Montréal. Faculté de Médecine. 259.

Marklund S, Marklund G, (1974). Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. *Eur. J. Biochem.* 47, 469-474.

Masale M.J, (1980). L'élaboration du nombre d'épi chez le blé d'hiver. Influences de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière. Thèse. Doc. Ing. INA, Paris Grignon, 274 p.

- Maxwell DP, Y Wang, L McIntosh (1999).** "The alternative oxidase lowers mitochondrial reactive oxygen production in plant cells." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96(14): 8271-8276.
- McMichael M.A, (2007).** Oxidative stress, antioxidants, and assessment of oxidative stress in dogs and cats. *J Am Vet Med Assoc* 231, 714-720. Meister, A., Anderson, M.E., 1983. Glutathione. *AnnuRevBiochem.* 52, 711-760.
- Mekhlouf A, Bouzerzour H, Dehbi F, Hannachi A, (2001).** Rythme de développement et variabilité de réponses du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux basses températures. Tentatives de sélection pour la tolérance au gel. In *Proceeding Séminaire sur la valorisation des milieux semi-arides*. Université, Oum El Bouaghi.
- Mishra R.K, Singhal G.S, (1992).** Function of Photosynthetic Apparatus of Intact Wheat Leaves under High light.
- Mittler R, (2002).** "Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance." *Trends in Plant Science* 7(9): 405-410.
- Mittler R, Merquiol E, Hallak-Herr E, Rachmilevitch S, Kaplan A , Cohen M, (2001).** "Living under a 'dormant' canopy: a molecular acclimation mechanism of the desert plant *Retama raetam*." *The Plant Journal* 25(4): 407-416.
- Mittler R, Vanderauwera S, Suzuki N, Miller G, Tognetti V.B, Vandepoele K, Gollery M, Shulaev V, Van Breusegem F, (2011).** ROS signaling: the new wave? *Trends in Plant Science*, Vol.16 (6), 300-309.
- Møller I.M, (2001).** Plant mitochondria and oxidative stress: electron transport, NADPH turnover, and metabolism of reactive oxygen species. *Annu. Rev. Plant Biol.* 52, 561-591.
- Møller I.M, Jensen P.E, Hansson A, (2007).** Oxidative modifications to cellular components in plants. *AnnuRev plant Biol.* 58, 459-481.
- Monneveux Ph et Nemmar M, (1986).** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre et le blé dur ; étude de l'accumulation de la proline au cours de cycle de développement. *Agronomie*, 6 : 583-590.
- Moule C, (1971).** Céréales 2. Phytotechnie spéciale. Ed. La maison rustique, Paris, 236p.

- Munns R, (1983).** Halotoleranteukaryotes. In *Physiological Plant Ecology.III. Responses to the Chemical and Biological Environment. Encycl. Plant Physiol., pp. 59-135 New Series, Vol. 12C.* Springer, Berlin.
- Munns R, (2005).** Genes and salt tolerance: bringing them together. *New phytologist* 167(3), 645-663.
- Munns R, James R.A, Lauchli A, (2006).** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of experimental botany* 57(5), 1025-1043.
- Munns R, Jamesr A, Lauchli R, (2005).** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany. Vol. 57, N°. 5: 1025-1043.*
- Munns R, Rawson H.M, (1999).** Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.* pp459-464.
- Nabi A, Hadjab, (2019).** Analyse de la variabilité de la qualité physicochimique et technologique de ça farine panifiable des moulins HOD NA.Msila. m émoire présenté pour obtiens du diplôme de Master ; université Mouhamed Boudiaf. MSILA. P 6.
- Nakano Y et Azada K, (1987).** Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts: its inactivation in ascorbate depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical.*Plant Cell Physiol*, 28: 131-140.
- Nakano Y, Asada K, (1980).** Spinach chloroplasts scavenge hydrogen peroxide on illumination. *Plant Cell Physiol.* 21, 1295–1307.
- Neffar F, (2013).** Analyse de l'expression des gènes impliqués dans la réponse au stress abiotiques dans différents génotypes de blé dur (*Triticum durum*) et l'orge (*Hordeum vulgare*) soumis à la sécheresse *Ecologie et biologie végétale, université Ferhat Abbas, Sétif, Thèse doctorat : 1p.*
- Oanzar S, (2012).** Etude compative de l'effet du semis direct et du laboure conventionnel sur le comportement du blé dur (*Triticum durum*desf), mémoire pour obtenir de diplôme magister ; université Abed ALHAMID Ben Badis-Mostaghanem.p15.
- Ouhrania R, Bordjah S, (2016).** Paramètre Hématologiques et Biochimiques durant premier trimestre de la gestation chez la vache. Mémoire de Master. Université A. MIRA - Bejaia Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Parent C, (2008). Formes réactives de l'oxygène, stress et mort cellulaire chez les plantes. C. R. Biologies pp 255-261. polytechnique fédérale de Lausanne, 23 p.

Parent C, Capelli N, Dat J, (2008). Formes réactives de l'oxygène, stress et mort cellulaire chez les plantes. C. R. Biologies 331 (2008) 255-261.

Parida A, Das A, (2005). Salt tolerance and salinity effect on plants. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60: 324-349.

Pastre J.O.C, (2005). Intérêt de la supplémentation en antioxydants dans l'alimentation des carnivores domestiques. Thèse de docteur vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

Peltier J.B, Ytterberg A.J., Sun Q, van Wijk K.J, (2004). New functions of the thylakoid membrane proteome of *Arabidopsis thaliana* revealed by a simple, fast, and versatile fractionation strategy. J. Biol. Chem. 279, 49367-49383.

Perez Alfocea F, Balibrea M.E, Cruz A.S, Estan M.T, (1996). Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in commercial tomato hybrid. Plant & Soil., 180. 2:251-257.

Perez Martinez S, Farina M, Ogando D, Ribeiro M.L, Gimeno M, Franchi A.M, (2000). Nitric oxide inhibits prostanoïd synthesis in the rat oviduct. Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids 62:239-242. Phytologist.173, 677-702.

Phillips J.R, Oliver M.J, Bartels D, (2002). Molecular genetics of desiccation and tolerant systems. Dans Desiccation and survival in plants: Drying without dying. Sous la direction de M. Black et H. Pritchard. CAB International, Mol. Gen. Genet. 319-341.

Pourrut B, (2008). Implication du stress oxydatif dans la toxicité du plomb sur une plante modèle, *Vicia faba*. Thèse de Doctorat. L'université de toulouse.

Powers S. et Jackson M, (2008). "Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production." Physiol Rev 88: 1243-1276. in J Physiol, volume 587 on page 927.

Powers S.K, Jackson M.J, (2008). Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production. Physiol Rev. 88, 1243-1276.

Publié par [Statista Research Department](#), 2 oct. 2019

Puyang X, An M, Han L, Zhang X, (2015). Protective effect of spermidine on salt stress induced oxidative damage in two Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) cultivars. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol.117, 96-106.

Rahnama H et Ebrahimzadeh H, (2005). The effect of NaCl on antioxidant enzyme activities in potato seedling. *Biol Plant*.pp93-97.

Ramade F, (2003). Elément d'écologie écologique fondamentale. Ed. Dunod, Paris, 690p.

Reddy AR, (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J Plant Physiol* p161-1189-1202.

Regueragui A, (2005). Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur le couple tomate-*Verticillium* : Conséquences physiologiques et impact sur la bio protection des tomates contre la verticilliose. Thèse de doctorat. Université Mohammed V. Agdal. Rabat: 100-103.

Rejili M, Vadel M A, Neffat P.M, (2006). Comportements germinatifs de deux populations
Rus A, Yokoï S, Sharkhuu A, Reddy M, Lee B. H, Matsumoto T. K, Koiwa H, Zhu J. K, Bressan R. A, Hasegawa P. M, (2001). AtHKT1 is a salt tolerance determinant that controls Na⁺ entry into plant roots. *Proceedings of the national academy of sciences* 98(24), 14150-14155.
de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, 17.1 : 65-78.

Rochdi F, (2018). Effet combiné de la salinité et les métaux lourd (cuivre et zinc) sur la germination de la fève (*vicia faba* L.).mémoire présenté pour obtenir le diplôme Master ; université Abed AL-hamid Ben Badis-Mostaghanem.p4.

Sairam R. K, Tyagi A, (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current science* 407-421.

Sairam R.K, Tyagi A, (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Curr. Sci.* 86 : 407-421.

Servais S, (2004). Altération mitochondriale et stress oxydant pulmonaire en réponse à l'ozone: Effets de l'age et d'une supplémentation en oméga-3. Thèse doctorat, Université Claude bernard- Lyon 1, France, pp 19-

Shabala S, Cuin T. A, (2007). Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiologia Plantarum* 133(4), 651-669.

Shen B, Jensen R.G, Bohnert HJ, (1997). Increased resistance to oxidative stress in transgenic plants by targeting mannitol biosynthesis to chloroplasts. *Plant Physiol*, 113:1177-1183.

Shringarpure R, Davies, K.J, (2002). Protein turnover by the proteasome in aging and disease 1, 2. *Free Radic. Biol. Med.* 32, 1084-1089.

Silva Ortega C.O, Ochoa Alfaro, Reyes-Aguero AE, J.A; Aguado-Santacruz G.A, Jimenez Bremont J.F, (2007). Saltstress increases the expression of p5cs gene and induces prolineaccumulation in cactus pear. *Plant Physiol. Biochem.* 46(1): 82-92.

Siouda A, Benkhelifa Z, (2016). Etude écophysiological des quelque écotypes de blé dur dans les régions semi-aride de setif. *Univ Med El-ibrahimi B.B.A.setif.*P11.

Sivaramakrishnan S, Patell V.Z, Flower D.J, Peacock J.M, (1988). Proline accumulation and nitrate reductase activity in contrasting sorghum lines during mid-season drought stress. *Physiol. Plant*, 74:418–426.

Slama A, Ben Salem M, Ben Naceur M, Zid E. D, (2005). Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse* (16)3, 225-229.

Smirnoff N, Foyer C, Dietz K, Mittler R, Feierabend J, Grace S, Desikan R Jones M, Vreeburg R, Logan B, Jaspers P, (2005). *Antioxidants and Reactive Oxygen Species in Plants*, Blackwell publishing.

Snoussi S.A, Halitim A, (1998). Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. *Etude et gestion des sols*, pp289-298.

Sofa A, Dichio B, Xiloyannis E, Massia A, (2004). Effects of different irrachiance levels on some antioxidant enzymes and on malondialdehyde content during rewatering in olive tree, plant. *Science*, vol.166, p.293-303.

Song J, (2005). Strategies for Adaptation of Suaedaphysophora, Haloxylonammmodendron and Haloxylonpersicum to a Saline Environment during Seed-Germination Stage. *Annals of Botany*.pp399-405.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Sonther, (2000).** Phytotechnie générale : les bases de la production végétales. Tome 1 : le sol et son amélioration science technique agricoles 2 éme édition.467p.
- Streeter J.G, Lohnes D.G, Fioritto R.J (2001).** Pattern of pinitol accumulation in soybean plants and relationships to drought tolerance. *Plant Cell Environ.* 24(4): 429-438.
- Surget A, Barron C, (2005).** Histologie du grain de blé. *Industrie des céréales*, n. 145, pp. 4-7.
- Taffouo V. D, Meguekam L, Kenne M, Yayi E, Magnitsopa, Akoa A, OurryA, (2008).** Germination et accumulation des métabolites chez les plantules de légumineuses cultivées sous stress salin. *Agronomie Africaine*, Vol20, N° (2), PP129 –139.
- Terpolilli NA, Moskowitz MA, Plesnila N (2012).** Nitric oxide: considerations for the treatment of ischemic stroke. *Journal of Cerebral Blood Flow &Metabolism.* 32: 1332-1346.
- Tremblun G, (2000).** Comportement auto-écologique de *Halopeplisamplexicaulis*: plante pionnière des sebkhas de l'ouest algérien. *Sécheresse.*11 (2): 109-116.
- Troll W et Lindsey G, (1955).** A photometric method for the determination of proline. *J BiolBiochem*, 215: 655-660.
- Tuteja N, Tuteja R, (2001).** Unraveling DNA repair in human: molecular mechanisms and consequences of repair defect. *Crit. Rev. Biochem. Mol.* 36, 261-290.
- Tuteja N, Ahmad P, Panda B.B, Tuteja R, (2009).** Genotoxic stress in plants: shedding light on DNA damage, repair and DNA repair helicases. *Mutat. Res. Mutat. Res.* 681, 134-149.
- Valko M, Rhodes CJ, Moncol J, Izakovic M, Mazur M, (2006).** "Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer." *Chemico-Biological Interactions.* 160(1):140.
- Vernon D.M, Tarczynski M.C, Jensen R.G, Bohnert H.J, (1993).** Cyclitol production in transgenic tobacco. *Plant J.* 4(1):199-205.
- Wangxia Wang, Basia Vinocur, Arie Altman, (2003).** Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance, *Planta*218: 1–14

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Wulf D, (2002). Free Radicals in the Physiological Control of Cell Function *Physiological Reviews* Published 1 January Vol. 82 no. 1, 47-95.

Yadav S.K, Dhote M, Kumar P, Sharma J, Chakrabarti T, Juwarkar A.A, (2010). Differential antioxidative enzyme responses of *Jatropha curcas* L., to chromium stress. *J. Hazard. Mater.* 180, 609-615.

Yamaguchi T et Blumwald E. (2006). Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends in plant science* 10(12), 615-620.

Yancey P.H, Clark M.E, Hand S.C, Bowlus R.D, Somero G.N (1982). Living with water stress: evolution of osmolyte systems. *Science*, 217(4566): 1214-1222.

Yoshida K, Terashima I, Noguchi K, (2006). "Distinct Roles of the Cytochrome Pathway and Alternative Oxidase in Leaf Photosynthesis." *Plant Cell and Physiology* 47(1): 22-31.

Zahid A, (2010). Mécanismes cellulaires et moléculaires régissant le métabolisme des semences de céréales : Rôle du système antioxydant dans la prédiction de la qualité germinative. Thèse de Doctorat. L'université de Toulouse.

Zhifang L, (2003). In Parida, A.K; Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 60: 324-349.

Zhu J. K, (2003). Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current opinion in plant biology* 6(5), 441-445

Zhu J.K, (2001). Plant salt tolerance. *Trends in plant Sci.* 6: 66-71.98.

Zhu J.K, (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 53: 247-273.

Zid E, Grignon C, (1991). Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides*, AUPELF-UREF. Jon Libbey Eurotext, Paris: 91-108.

Site web:

Statista Research Department, (consulté le: 2 sep. 2020).

URL [http:// technoboulangage.com/le-blé](http://technoboulangage.com/le-blé), (consulté le : 7 juin 2020).

cuisinedaubery.com, (consulté le : 18 aout 2020).

[//E:/blé Moderne et Blé Ancien pas différence.net.htm](http://E:/blé Moderne et Blé Ancien pas différence.net.htm), (consulté le : 18 juin 2020).

<http://www.fao.org/3/CA5040FR/CA5040FR.pdf>; (consulté le : 30 mai 2020).

File:///C:/Users/tassili/Downloads/Documents/a-I7658f.pdf, (consulté le : 30 mai 2020).

ANNEXES

1. Matériels et méthodes :

Le matériel végétatif utilisé est un ensemble de grains de deux variétés de blé tendre (AL-Wifak et Ain Abid). Les grains sont fournis par l'ITGC de Guelma.



Figure13 : les graines de deux variétés de blé tendre (Ain Abid, El Wifak).

2. Conduit de l'essai :

Tout travail est fait à l'université de 8 Mai 1945 Guelma, Faculté de science de la vie et de la nature et science de la Terre et l'univers.

Le déroulement du travail est devisé en deux parties :

L'animalerie et la serre pour le semi de grains, la croissance des plantes obtenues et l'application du stress.

L'essai est conduit dans des pots de taille moyenne, rempli chacun de la tourbe, substrat commercial conforme à la culture de grain de blé dans 32 pots (16 pour la variété AL-wifak

Et 16 pour la variété ainabid) chacun pots comporte 6 Grains distincts.

Les pots sont arrosés avec l'eau de robinet 2 fois par semaine à concentration de 100 ml (Figure14).



Figure14 : les graines misé à germées dans les pots après 20 jours sous la serre.

Le travail de la deuxième partie dans laboratoire à été arrêté en raison de conditions de santé du pays (virus de covid 19).