

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



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière : science agronomique

Département: Ecologie et Génie de l'environnement

Spécialité/Option: Phytopharmacie Et Protection Des Végétaux

Thème :

**Approche bibliographique de l'effet du stress hydrique sur la réaction oxydative chez les
céréales, l'Orge**

Présenté par :

Boulahia Hanane

Rouabhia Faiza

Tounsi Saliha

Devant le jury composé de

Président :	HAMI. M	MCB	Université de Guelma
Examineur :	ZITOUNI. A	MCB	Université de Guelma
Encadreur :	BENBELKACEM. S	MAA	Université de Guelma

2019-2020

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier fortement Mme Hami M, maitre de conférences B à l'Université du 08 Mai 1945 Guelma, de nous avoir honoré en présidant le jury de ce travail.

Nous remercions également Mr Zitouni A, maitre de conférences B à l'Université du 08 Mai 1945 Guelma, et qui a bien voulu examiner ce travail.

Et enfin nos grands remerciements s'adressent à Mme Benbelkacem S, notre encadreur, enseignante à l'Université du 08 Mai 1945 Guelma et qui nous a encadrer le long de ce travail ;Nous lui exprimons ici notre grande reconnaissance.

Dédicaces

Nous dédions le fruit de ce travail :

A Nos Parents

A tous les membres de nos familles

*En fin nous le dédions à toutes nos amies sans
exception*

Résumé

La sécheresse est l'une des causes principales de la faible productivité chez les céréales à petites graines et spécialement l'orge (*Hordeum vulgare*). Le stress dû à la sécheresse affecte négativement les processus physiologiques et biochimiques des plantes, conduisant à une réduction de la productivité des plantes, qui essaient de se protéger via l'activation de leur système de défense interne. Le déséquilibre entre la génération et le piégeage des espèces réactives de l'oxygène (ERO) conduit au stress oxydatif. L'objectif de ce travail bibliographique consiste à évaluer les effets du stress hydrique sur différents paramètres physiologique, biochimique et morphologique et sa relation avec le stress oxydatif. En général, les conditions de stress hydrique entraînent une grande variabilité de la réponse. Provoquant la production des espèces réactifs de l'oxygène (ERO) ce qui occasionne un stress oxydatif.

Mot clé : Orge, Sécheresse, Stress hydrique, Stress oxydatif, Tolérance, antioxydants, ERO

Abstract

Drought is one of the main causes of low productivity in small-grain cereals and especially barley (*Hordeum vulgare*). Stress due to drought negatively affects the physiological and biochemical processes of plants, leading to a reduction in the productivity of plants, which try to protect themselves by activating their internal defense system. The imbalance between the generation and scavenging of reactive oxygen species (ROS) leads to oxidative stress. The objective of this bibliographic work is to assess the effects of water stress on various physiological, biochemical and morphological parameters and its relationship with oxidative stress. In general, water stress conditions result in great variability in the response. Causes the production of reactive oxygen species (ROS) which causes oxidative stress.

Keyword: Barley, Drought, Water stress, Oxidative stress, Tolerance, antioxidants, ROS

ملخص

يعتبر الجفاف أحد الأسباب الرئيسية لانخفاض إنتاجية الحبوب الصغيرة وخاصة الشعير (*Hordeum vulgare*) يؤثر الإجهاد الناجم عن الجفاف سلبيًا على العمليات الفسيولوجية والكيميائية الحيوية للنباتات، مما يؤدي إلى انخفاض إنتاجيتها فتحاول حماية نفسها من خلال تنشيط نظام الدفاع الداخلي الخاص بها. يؤدي عدم التوازن وتوليد وكسح أنواع الأكسجين التفاعلية (ROS) إلى الإجهاد التأكسدي. الهدف من هذا العمل البيولوجي هو تقييم آثار الإجهاد المائي على مختلف العوامل الفسيولوجية والكيميائية الحيوية والمورفولوجيا وعلاقتها بالإجهاد التأكسدي. بشكل عام، تسبب ظروف الإجهاد المائي تباينًا كبيرًا في الاستجابة. يتسبب في إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية (ROS) التي تسبب الإجهاد التأكسدي .

الكلمات المفتاحية: الشعير الجفاف، الإجهاد المائي، الإجهاد التأكسدي، التحمل، مضادات الأكسدة، جزيئات الاكسجين التفاعلية

Liste des figures

Figure 1: Organes reproducteur de l'orge à deux rangs et de l'orge à six rangs.....	5
Figure 2: Coupe longitudinale d'un grain d'orge.....	7
Figure 3: Orge commune (<i>Hordeum-vulgare L.</i>).....	8
Figure 4: La phase levée-début tallage.....	10
Figure 5: la phase début tallage-début montée.....	11
Figure 6: Schématisation de la balance entre les ERO et les antioxydants.....	24
Figure 7: Pyramide des systèmes de défenses antioxydants.....	27
Figure 8: Formation de radicaux hydroxyles par la réaction de Haber-Weiss.....	28
Figure 9: Méthodes de détection de la génération d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) dans les plantes.....	32
Figure 10: Mesure de l'activité enzymatique du SOD chez deux variété de blé dur semis a deux niveaux de stress hydrique (24h et 48h), V1=Marton Dur ; V2=DjenahKhotifa.....	41
Figure 11: Teneurs en malondialdéhyde (MDA) dans les feuilles et les racines de deux variété de blé dur V1= Marton Dur, V2= DjenahKhotifa, soumis à deux niveaux de stress hydrique (24h et 48h).....	42

Liste des tableaux

Tableau 1: Composition biochimique de l'orge.....	9
Tableau 2: Origine des radicaux libres	25
Tableau 3: Les variétés étudiées et leurs origines.	36

List des abréviations

CAT	Catalase
ERO	Espèces Réactives à l'oxygène.
GPX	Glutathion peroxydase
GSH	Glutathion.
H₂O₂	Peroxyde d'hydrogène.
MDA	Malondialdehyde
NBT	Nitro Blue Tetrazolium
NO°	Monoxyde d'azote
O₂	Oxygène moléculaire
O₂°-	Le radical superoxyde
OH°	Le radical hydroxyle
ROS	Réactive Oxygen Species
S1	Stress niveau 1
S2	Stress niveau 2
SH	Groupement sulfhydrique
SOD	Super oxyde Dismutase
T	Témoin
TBA	Acide 2- thiobarbiturique
UV	Ultra-violet

table des matières

Remerciements	
Résumés	
Liste Des Figures	
Liste Des Tableaux	
List des Abréviations	
Introduction générale.....	1
Chapitre: 01synthèsebibliographique	
généralités sur l'orge	
1.L'histoire de l'origine de l'orge.....	5
2.Biologie de l'orge	6
3.Classification de L'orge	6
4. Description morphologique	6
4.1. Grain.....	6
4.2. La tige	7
4.3 Les feuille.....	7
4.4. Inflorescence	7
4.5. Le système racinaire	7
5. Composition biochimique et valeur nutritives de l'orge.....	8
5.1. Composition biochimique	8
5.2. Composant phénolique.....	9
6. La culture de l'orge	9
6.1. Cycle biologique de l'orge.....	9
6.1.1. Le stade végétatif	10
6.1.2. Le stade de reproduction	11
6.1.3. Le stade de Maturation du grain	12
7. Les exigences culturales	12
7.1. L'eau	12
7.2. Température	13
8. Utilisation et l'importance de l'orge	13
stress hydrique	
1.Définition de stress	15
2.Définition de stress hydrique.....	15
3.Effet de stress hydrique.....	15
3.1. Sur la photosynthèse.....	15
3.2. Sur le développement des plantes	16
3.3.Sur le rendement et ses composantes.....	16

4. Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique.....	16
4.1. Adaptation phénologique.....	17
4.2. Adaptation morphologiques	17
4.3. Adaptation physiologique	18
4.4. Adaptation biochimique.....	19
4.4.1. La teneur en chlorophylle	19
4.4.2. Ajustement osmotique.....	20
4.4.2.1. Accumulation de la proline.....	20
4.4.2.2. L'accumulation de sucres solubles.....	21
5. La relation entre stress hydrique (environnemental) et stress oxydatif.....	22
stress oxydatif	

1. Stress oxydatif.....	24
1.1. Définition de stress oxydatif	24
1.2. Le stress oxydatif et son origine	24
2. Espèces réactives de l'oxygène (ERO)	25
2.1. Définition.....	25
2.2. Les différents types d'ERO.....	26
2.2.1. Les radicaux primaires	26
2.2.2. Les radicaux secondaires	26
3. Conséquences du stress oxydatif	26
3.1. Oxydation des lipides	26
3.2. Oxydation des protéines.....	26
3.3. Oxydation d'ADN.....	26
4.Mécanismes antioxydants	27
4.1. Systèmes antioxydants enzymatiques:.....	27
4.1.1.Superoxyde-dismutase	28
4.1.2.La glutathion peroxydase.....	28
4.1.3.Catalase:	28
4.2. Systèmes antioxydants non enzymatiques.....	29
4.2.1. Oligoéléments.....	29
4.2.2. Glutathion	29
4.2.3. Vitamine E et vitamine C.....	29

Chapitre : 0 2analyse bibliographique

1.Principales techniques de détection du stress oxydatif chez les végétaux	32
2.Etude du stress hydrique	34
2.1. Paramètres physiologiques	34
2.2. Paramètres biochimiques.....	35

3.Travail pratique.....	36
3.1.Conduite et organisation de l'essai :	36
4.L'expérimentation	37
4.1. Préparation des pots et le semi	37
4.2.application du stress hydrique	37
4.3. Paramètres étudiés	37
résultats et discussion	
1. Variation des paramètres biochimiques	40
1.1. Activité enzymatique SOD.....	40
1.2. La teneur en malondialdéhyde MDA	41
Conclusion et perspectives	45
Références bibliographiques.....	48

Introduction Générale

Introduction générale

La culture des céréales est antérieure à tout manuscrit sur l'histoire de l'homme. Les graines des céréales, issues de plantes de culture telles que le froment, le riz, l'avoine et l'orge, constituent l'un des aliments de base de l'humanité depuis des milliers d'années (**Rahal et Bouziane, 2015**).

En 1929, les emblavures des céréales couvraient déjà plus de 3 millions d'hectares. Toutes les céréales principales, à l'exception du riz, étaient représentées en Algérie. Cela est dû principalement à l'ancienneté de la culture de ces plantes, à l'hybridation naturelle, aux introductions ainsi qu'au climat sec et chaud auquel sont adaptées beaucoup d'espèces de Poacées (graminées) (**Abdelguerfl et Laouar, 2000**).

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

L'orge est un aliment important dans plusieurs régions du monde telles que l'Afrique du Nord, le proche Orient, l'Asie, etc. La consommation moyenne et annuelle par personne dans ces régions varie entre 2 à 36 kg (**Zairi et al., 2016**). Les principaux facteurs dont dépendent les rendements des céréales sont l'eau et l'azote (**Mellouli et al., 2007**).

Maintenant, la culture de l'orge est développée dans le monde entier, son importance dérive de sa capacité à se développer dans des régions qui sont souvent caractérisées par la sécheresse, la basse température et la salinité. L'eau est un facteur limitant de la production céréalière, en effet, la déficience des précipitations et l'irrégularité de leur distribution limitent les rendements et accroissent la variabilité des productions (**Triki et al., 2016**).

La rareté des pluies ou des pluviosités trop espacées peuvent également induire un stress hydrique du fait de la diminution de la quantité d'eau dans le sol. La sécheresse affecte non seulement les relations hydriques des plantes par la réduction de la teneur en eau, de la turgescence et de l'eau totale, elle affecte également la fermeture stomatique, limite les échanges gazeux, réduit la transpiration et arrête les taux d'assimilation du carbone (photosynthèse) (**Seyd et al., 2012**).

Le déficit hydrique induit également un stress oxydatif avec la formation de radicaux libres. Par leur nature instable, ces formes actives d'oxygène sont très nocives pour les constituants cellulaires en particulier pour les lipides membranaires (**Tomi et al., 2014**).

Introduction Générale

En général, la résistance des végétaux aux stress environnementaux est un mécanisme complexe qui implique une variété de modifications tant morphologiques, physiologiques que biochimiques (**Zeya et al., 2019**).

Comme les plantes sont exposées à divers facteurs biotiques et abiotiques, elles possèdent un système intégré, connu sous le nom de système antioxydant, pour réguler les processus biologiques dans des conditions environnementales défavorables. Ce système antioxydant est composé d'antioxydants enzymatiques et non enzymatiques, qui agissent de manière systématique pour contrôler les niveaux de ERO dans les cellules végétales (**Sharma et Bingsong, 2019**).

L'objectif de ce travail est d'étudier la réponse oxydative chez les céréales (l'orge) engendrée par un stress hydrique, ce thème était au début un travail pratique, mais la situation sanitaire mondiale et particulière qu'a connue le monde ainsi que notre pays a fait que la serre ainsi que les labos de l'université 08mai1945 de Guelma, soient fermés en plein milieu de notre pratique, ce qui a rendu la finalisation impossible. D'où le recours à une étude purement bibliographique sur ce sujet, sur les travaux réalisés dans ce thème et les différentes techniques d'étude du stress oxydatifs chez les végétaux.

Après **l'introduction** nous proposons dans un **premier chapitre** une revue bibliographique comportant trois parties :

- La première : généralité sur l'orge. (On a tenue à présenter l'espèce même s'il n'y avait pas de pratique dessus)
- La seconde partie : stress hydrique
- Troisième partie: stress oxydatif

Le deuxième chapitre : Analyse bibliographique où l'on va exposer la méthode pour détecter le stress oxydatif

En fin une **conclusion** générale pour ce travail bibliographique sur la relation entre stress hydrique et oxydatif.

Chapitre : 01

Synthèse

Bibliographique

Généralités sur l'orge

1. L'histoire de l'origine de l'orge

L'orge cultivée est originaire de la région du Croissant fertile au Proche-Orient. Elle est issue de l'orge sauvage (*Hordeum vulgare* subsp. *spontaneum*). On collecta l'orge sauvage déjà vers 48 000 av. J.-C. Au Proche-Orient on trouve des vestiges d'orge sauvage et d'amidonner sauvage (*Triticum turgidum* subsp. *dicoccoides*) de la période vers 21 000 av. J.-C (Peer, 2013).

Les épis des céréales sauvages sont cassants et se désagrègent en parties distinctes lors du mûrissement, en commençant par le haut de l'épi. Les fleurs de l'orge sauvage s'ouvrent davantage que celle de l'orge cultivée, voici pourquoi le taux d'allogamie peut s'élever à 10%. On trouve les premières formes à rachis coriace dès env. 8000 av. J.-C. L'orge sauvage est disposée sur 6 rangs, pourtant à l'état sauvage elle ne se retrouve qu'à 2 rangs, voir Figure (1) (Peer, 2013).

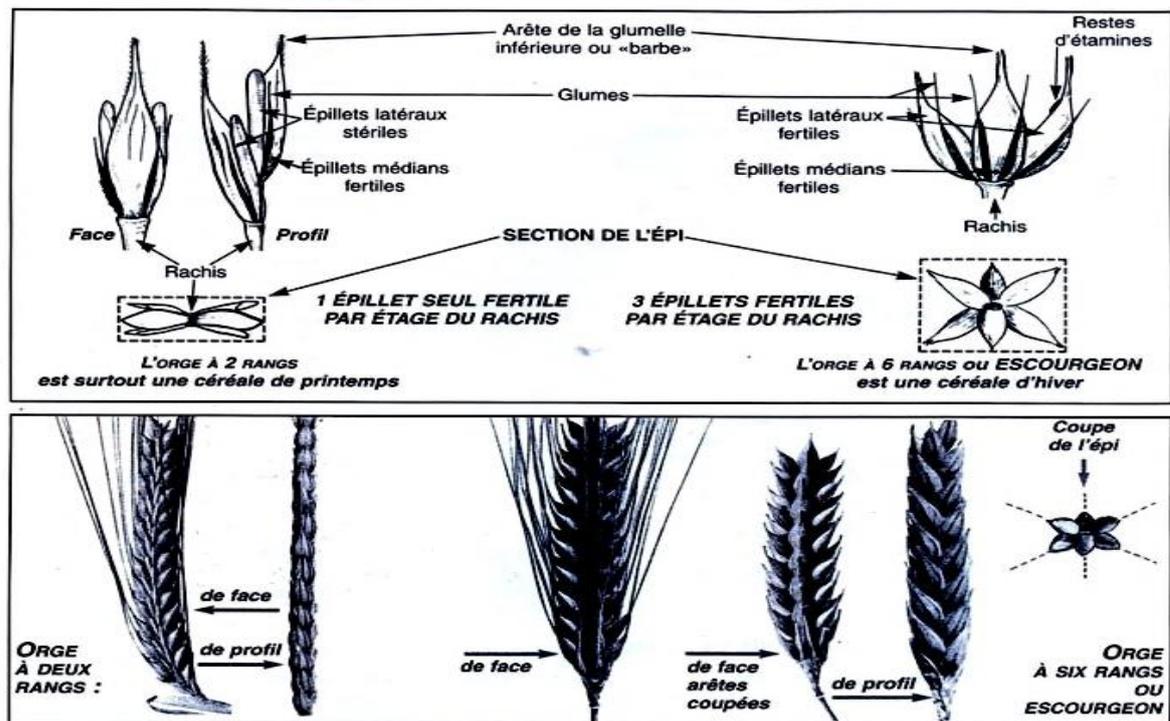


Figure 1: Organes reproducteur de l'orge à deux rangs et de l'orge à six rangs (Soltner, 1988).

L'orge cultivée à 2 rangs (*H. vulgare* subsp. *distichon*) est issue de l'orge sauvage à 2 rangs. Puis par le biais de mutations naquit l'orge cultivée à 6 rangs (*H. vulgare* subsp. *vulgare*). Les formes à 2 et 6 rangs sont génétiquement presque identiques. Deux gènes sont connus pouvant rétablir la fécondité des fleurs stériles alignées latéralement de l'orge à 2

rangs. Les formes à 2 rangs forment généralement plus de pousses que celles à 6 rangs qui tallent peu. En revanche, le chaume de la forme à 6 rangs est plus épais. (Peer, 2013).

2. Biologie de l'orge

L'orge est une graminée, herbacée, annuelle, dont le stock chromosomique est $2n=14$. Ses mécanismes végétatifs et reproducteurs, de la germination à la maturité, sont identiques à ceux du blé. Comme chez ce dernier, l'autofécondation, qui est de règle, permet la conservation de la pureté variétale (Ben Mbarek et Boubaker, 2017).

3. Classification de L'orge

L'orge appartient à la famille des graminées qui englobe environ 450 genres et 600 espèces (Missaoui, 1991) qui ont suivi la classification établie par Engler Diels en 1936 in (Mossab, 1991) l'orge cultivée appartient :

Règne : *Végétal*

Embranchement : *Spermaphytes*

Sous embranchement : *Angiosperme*

Classe : *Monocotylédones*

Ordre : *Glumales*

Famille : *Poacées*

Tribu : *Hordée*

Genre : *Hordeum*

Espèce : *Hordeum-vulgare*

4. Description morphologique

4.1. Grain

- Embryon 3.5%
- Endosperme 83%
- Péricarpe 3.3-3.5%
- Tégument séminal 1.1%
- Couche à aleurone 9-11% (Peer, 2013) comme on peut voir dans la figure(2).

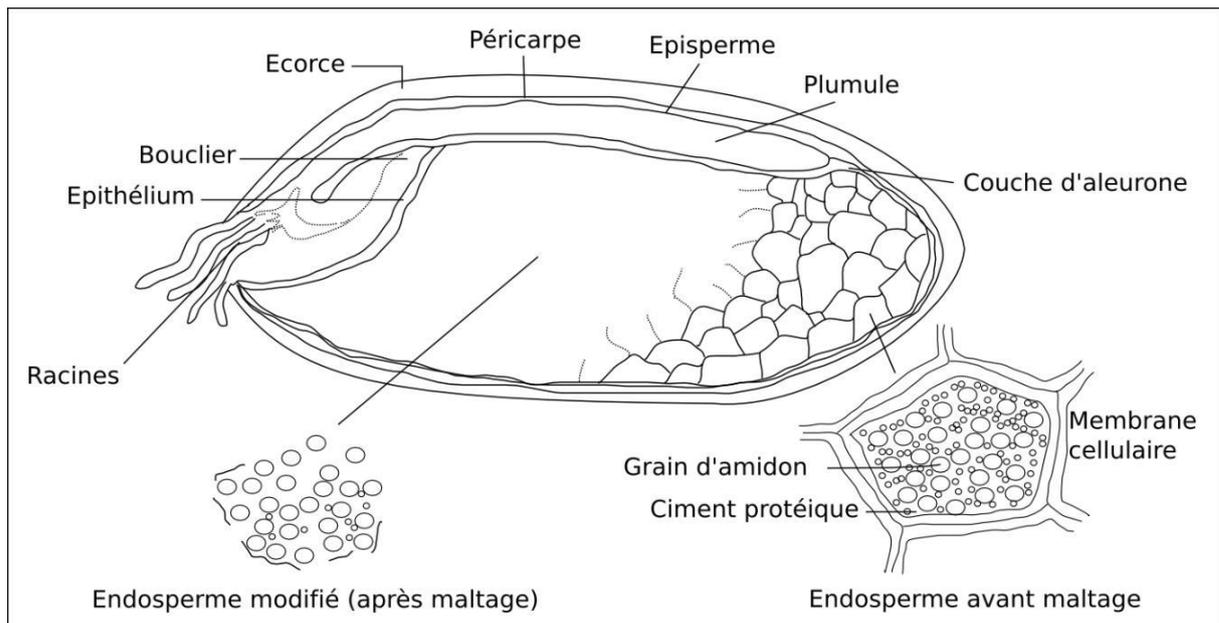


Figure 2: Coupe longitudinale d'un grain d'orge (Messid et Radja, 2016).

4.2. La tige

La tige est un chaume creux, entrecoupée de nœuds (5 à 6) (Simon, 1972) sa hauteur peut atteindre deux mètres.

4.3 Les feuille

Les feuilles sont alternes, distiques non léguées à couleur vert clair. (Mossab, 1991).

4.4. Inflorescence

C'est un épi blanc, barbu, le rachis porte sur chaque article trois épillets uniflores, un médian et deux latéraux, suivant la fertilité de ces épillets permettent de distinguer :

Les orges à deux rangs ayant un épi aplati composé de deux rangés d'épillets fertiles, un épillet fertile sur chaque axe du rachis entouré de deux épillets stériles. (Slim, 1982).

L'orge à six rangs dont tous les épillets sont fertiles, on les appelle aussi escourgeons. (Soltner, 1988).

4.5. Le système racinaire

L'orge a un système racinaire fasciculé dont la racine principale ressemble aux racines secondaires. (Benaite, 1989).



Figure 3:Orge commune (*Hordeum vulgare*L.) (Anonyme, 2009).

5. Composition biochimique et valeur nutritives de l'orge

5.1. Composition biochimique

La composition du grain est très importante, Chacune des parties constituant un grain d'orge à un rôle particulier dans le déroulement de la germination.

La composition biochimique en poids sec d'un grain d'orge est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 1:Composition biochimique de l'orge (Allosio, 1999).

Constituant biochimique	ORGE Teneur en% de poids sec
Glucides	78-85
Amidon	63-65
Saccharose	1-2
Polysaccharides solubles dans l'eau (gommes)	1-1.5
Polysaccharides solubles dans les solvants organiques (hémicelluloses)	8-10
Cellulose	4-5
Sucres réducteurs	0.1-0.2
Autres	1
Lipides	2-3
Protéines	8-11.5
Albumine	0.5
Globuline	3
Hordéine	3-4
Gluténine	3-4
Acides aminés et peptides	0.5
Acides Nucléique	0.2-0.3
Sels minéraux	2
Autres dont lignine...	5.6

5.2. Composant phénolique

La teneur des flavanols est plus élevée dans la peau des fruits puisque la lumière en stimule la biosynthèse (Allosio, 1999).

6. La culture de l'orge

6.1. Cycle biologique de l'orge

Le cycle de développement de l'orge comprend trois grandes périodes :

6.1.1. Le stade végétatif

Celle-ci comprend trois phases :

❖ **La phase semis-levée**

La germination de l'orge se traduit par la sortie des racines séminales de la coléorhize et à l'opposé, par la croissance d'un pré-feuille, la coléoptile.

Cette phase est sous la dépendance de deux groupes de facteurs :

- Facteurs intrinsèques : la valeur biologique de la semence, caractérisée par sa faculté et son énergie germinative.
- Facteurs extrinsèques : la température et l'humidité du sol (Moule, 1971).

❖ **La phase levée-début tallage**

Dès que la première feuille a percé l'extrémité de la coléoptile, celui-ci s'arrête de croître et peu à peu se dessèche. Cette première feuille fonctionnelle s'allonge, puis apparaissent quatre feuilles, voir la figure (4). Chacune d'elles est imbriquée dans la précédente, partant toutes d'une zone proche de la surface du sol et constituée de l'empilement d'un certain nombre d'entre-nœuds : le plateau de tallage. Celui-ci est formé de 4 à 5 nœuds, sa hauteur ne dépassant pas 3 à 4 mm (Moule, 1971).

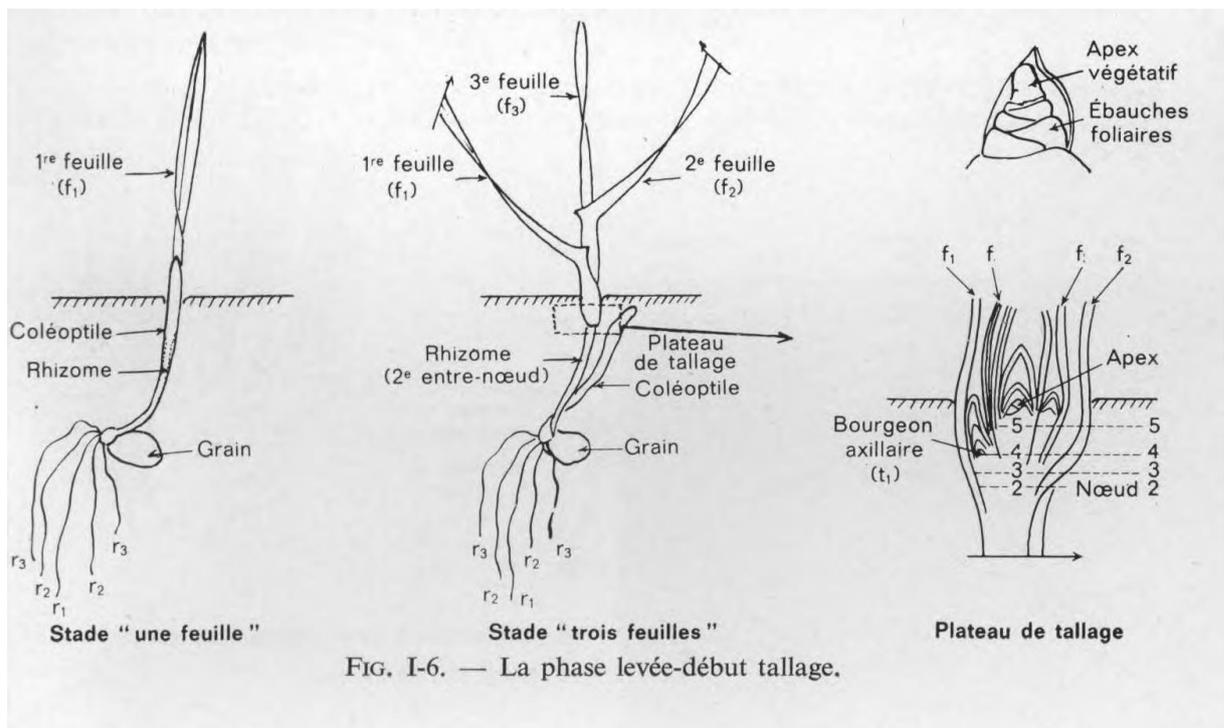


Figure 4: La phase levée-début tallage(Moule, 1971).

- ❖ **La phase B** : ce stade marque la fin de tallage et le début de la montaison (**Khaldoun, 1986**). Les entres nœuds s'écartent et commencent à s'allonger, c'est le début de la montaison (**Missaoui, 1991**).
- ❖ **Montaison- gonflement** : l'épi s'élève et continue à se former les talles insuffisamment avancées régressent (**Gillet, 1980**), ce stade s'achève lors de la différenciation des stigmates des fleurs et peut être repérable par le gonflement que fait l'épi (**Khaldoun, 1986**).
- ❖ **Epiaison - fécondation** : c'est au cours de ce stade que se termine la formation des organes floraux ouvrant la voie à la fécondation, le nombre de fleurs fécondées au cours de ce stade critique dépend de la nutrition azotée et du niveau de l'évapotranspiration.
- ❖ **Grossissement du grain** : on assiste à la croissance de l'ovaire accompagné d'une intense active photosynthèse, la croissance des feuilles et de la tige s'arrête pour que la matière organique synthétisée au niveau des feuilles s'accumule dans les grains qui restent mous et vert (grains laiteux) puis les feuilles commencent à jaunir (**Missaoui, 1991**).

6.1.3. Le stade de Maturation du grain

C'est la dernière phase du cycle de développement ; l'amidon est accumulé dans les grains qui perdent leur humidité et passent du stade rayable à l'ongle (20% d'humidité) au stade cassant sous la dent (15% à 16%) ce qui le grain mur pour la récolte (**Soltner, 1988**).

7. Les exigences culturales

Les exigences culturales de l'orge sont variables en fonction de la variété, pour cette raison certaines sont dites d'hiver (supportant le gel et plus exigeantes en eau) et d'autres de printemps (**Hanchane, 2009**).

7.1. L'eau

Les exigences de l'orge en eau sont plus réduites que celles du blé. En condition de sécheresse, l'efficacité d'utilisation de l'eau est de 7 à 8 mm/ql d'orge. La consommation en eau de l'orge est estimée à 375 mm avec un seuil minimum de 180 mm pour la production en grains. L'irrigation de la culture d'orge est marginale et n'intéresse que l'orge fourragère (**Ben Mbarek et Boubaker, 2017**).

7.2. Température

Généralement, les températures optimales pour sa croissance sont situées entre 15 et 20°C (Hanchane, 2009).

7.3. Le sol

L'orge peut végéter dans des sols calcaires alluvial, limoneux, ayant un pH de 8,1, une teneur de 0,38 de carbone organique, et où N, P et K sont disponibles (185,0 kg ha⁻¹, 15,25 kg ha⁻¹ et 265,0 kg ha⁻¹ respectivement) (Sriman *et al.*, 2018).

8. Utilisation et l'importance de l'orge

L'orge est une céréale très utilisée en alimentation animale. Beaucoup d'études montrent que l'orge est sous-évaluée comme source alimentaire du bétail. Les premières constatations montrent que l'énergie et la protéine de l'orge sont digérées plus efficacement que celles du maïs et que l'équilibre énergie/ protéine/fibre de l'orge rend ce grain très utile pour l'alimentation du bétail et de la volaille. L'orge est souvent associée dans des mélanges complexes pour ses qualités économiques et alimentaires.

Dans l'alimentation humaine, l'orge est un aliment très apprécié pouvant se conserver durant de longues périodes et transporté pour des distances importantes. Cette spéculation joue un rôle déterminant dans le comportement des marchés de l'ensemble des aliments du bétail (Bounagab, 2013).

Stress hydrique

1. Définition de stress

La définition du stress chez les plantes apparaît avec des significations différentes en biologie, qui convergent principalement en attribuant le stress à n'importe quel facteur environnemental défavorable pour une plante (**Levitt, 1980**). Les stress environnementaux tels que le déficit hydrique, les hautes températures et d'autres, affectent la croissance et le rendement des plantes. Cependant, les plantes ont développé des stratégies d'adaptation pour répondre à ces changements en ajustant leurs systèmes métaboliques. En conséquence, la capacité d'une plante à survivre à un facteur défavorable est appelée la résistance ou la tolérance au stress (**Tsimilli et al., 1998**).

2. Définition de stress hydrique

Le stress hydrique constitue un important facteur limitant la production des céréales. Il affecte tous les aspects de croissance. Il se traduit chez la plante par une série de modifications qui touchent les caractères morpho- physiologiques, biochimiques, génétiques et même les niveaux d'expression des gènes associés à la sécheresse. Les modifications moléculaires s'expriment au niveau de la plante et particulièrement au niveau des feuilles, par une nette accumulation d'osmoticums, tels que la proline, la glycine bêtaïne, les sucres solubles, le potassium et les nitrates afin de garder le potentiel de turgescence aussi élevé que possible pour maintenir le potentiel osmotique (**Chaib et al., 2015**).

3. Effet de stress hydrique

La croissance des plantes en période de sécheresse est influencée par une modification de la photosynthèse, de la respiration, de la translocation, de l'absorption d'ions, des glucides, du métabolisme des nutriments et des hormones (**Seyed et al., 2012**).

3.1. Sur la photosynthèse

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

hydrique, et liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire est supposée dépendre à la fois de la fermeture des stomates, avec pour conséquence une diminution de la conductance à la diffusion du CO₂, d'une limitation biochimique du chloroplaste pour fixer le CO₂(**Maury et al., 2011**).

3.2. Sur le développement des plantes

La sécheresse, en tant que stress abiotique, est de nature multidimensionnelle et affecte les plantes à différents niveaux de leur organisation. En fait, en cas de sécheresse prolongée, de nombreuses plantes se déshydratent et meurent. Le stress hydrique des plantes réduit le potentiel hydrique et la turgescence de la cellule végétale, ce qui élève les concentrations des solutés dans le cytosol et les matrices extracellulaires. En conséquence, l'élargissement cellulaire diminue, ce qui entraîne une inhibition de la croissance et un échec de la reproduction. Ceci est suivi par une accumulation d'acide abscisique (ABA) et d'osmolytes compatibles comme la proline, qui provoquent un flétrissement. À ce stade, la surproduction d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et la formation de composés piégeant les radicaux tels que l'ascorbate et le glutathion aggravent encore l'influence néfaste (**Sayed et al., 2012**).

3.3. Sur le rendement et ses composantes

Le rendement en grains est la résultante de diverses composantes qui sont déterminées à différentes périodes du cycle de la plante (**Day et al., 1978**). Chez les céréales, le rendement en grains dépend du génotype, de l'environnement et de la disponibilité en éléments minéraux du sol (**Nemmar, 1983**). Selon (**Debaeke et al., 1996**), le déficit hydrique précoce, au cours de la montaison, réduit le nombre d'épis et le nombre de grains par épi. Le poids moyen du grain, quant à lui, est affecté par le déficit hydrique de la post floraison, qui accélère la sénescence foliaire et réduit la durée de remplissage. Provoquant ainsi l'échaudage. (**Benbelkacem et Kellou, 2001**). Mentionnent que sous conditions pluviales des hautes plaines orientales, la durée de remplissage et par conséquent le poids du grain atteignent rarement leurs maximales, induisant une baisse du rendement (**Abbassenne et al., 1998**).

4. Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu. La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et, du point de vue agronomique, par l'obtention d'un

rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (**Hsissou, 1994**). La résistance à la sécheresse est liée à la capacité d'une variété à développer un nombre élevé de mécanismes d'adaptation et non pas à la présence d'un mécanisme donné, elle est la résultante de nombreuses modifications phénologiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques, reflétant différents types d'adaptation (esquive, évitement, et tolérance) (**Hayek et al., 2000 ; Passioura, 2004**).

4.1. Adaptation phénologique

La stratégie appliquée en amélioration variétale, pour réduire les effets des stress, consiste à raccourcir la durée du cycle de la variété. La phénologie rythme le développement de la plante et ajuste le cycle végétatif de manière à l'assortir aux conditions optimales de croissance de l'environnement de production. Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique. La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement de la sécheresse de fin de cycle (**Ben Naceur et al., 1999**). Par l'évitement de la déshydratation des tissus en maintenant un potentiel hydrique peu variable, à l'aide d'un système racinaire profond et le contrôle des pertes par transpiration. Ainsi que par une tolérance remarquable de l'activité physiologique (**Hayek et al., 2000**). Une croissance rapide en début du cycle améliore l'utilisation des pluies hivernales et permet l'obtention d'une biomasse élevée à maturité (**Cantero et al., 1995 ; Turner, 1979**). Note que l'amélioration des rendements en conditions sèches est due, pour sa plus grande part, à la précocité. Celle-ci serait responsable de 40 à 60% de la variabilité du rendement. D'après les résultats des essais de (**Dekkaki et al., 2000**), il apparaît qu'une longue période de croissance et une épiaison précoce améliorent le rendement du blé dur. La précocité de l'épiaison est efficacement utilisée comme critère de sélection pour améliorer les productions des zones sèches (**Ali Dib, 1992 ; Ben Salem et al., 1997**).

4.2. Adaptations morphologiques

La stratégie de l'évitement permet à la plante de maintenir un potentiel hydrique élevé. L'évitement consiste à empêcher que la plante, soumise à des conditions hydriques défavorables, de subir un stress hydrique sévère. Ceci est obtenu par une réduction de la transpiration s'effectuant par la cuticule et les stomates incomplètement fermés (**Belhassen et al., 1995**). Une cuticule cireuse et épaisse est un avantage marqué dans la réduction des pertes

d'eau de la surface du limbe foliaire. Elle devient un mécanisme de survie très important sous conditions peu favorables à la réalisation d'un niveau de rendement acceptable (**Slama et al., 2005**). L'évitement du déficit hydrique peut se traduire par des modifications morphologiques qui augmentent l'absorption d'eau. La croissance racinaire est souvent un bon indicateur de la capacité de la plante à s'adapter à la sécheresse. Les variétés adaptées possèdent plus de racines primaires et un grand volume racinaire (**Johnson et al., 1989**). Les cultivars de blé à système racinaire extensif exploitent un grand volume de sol, absorbent une grande quantité d'eau, donnant un haut rendement. Les caractéristiques du système racinaire ne jouent leur rôle dans la résistance à la sécheresse que si les racines sont bien développées, avant l'avènement du déficit hydrique (**Sarda et al., 1992**). Observent qu'en présence du déficit hydrique, il y a diminution de la surface foliaire et du nombre de talles tendent à minimiser les pertes en eau en réduisant la transpiration (**Slama et al., 2005**). Avec un effet dépressif sur la photosynthèse nette (**Sarda et al., 1992**). L'enroulement du limbe foliaire diminue la surface foliaire réceptrice de l'énergie lumineuse et permet à la plante de réduire sa transpiration. Toutefois, ce phénomène s'accompagne aussi d'une réduction de la photosynthèse, il n'a donc d'intérêt qu'en présence de déficit hydrique sévère. (**Slama et al., 2005**). La glaucescence, la pilosité des feuilles, la couleur des feuilles ou le ratio des chlorophylles a et b et la température de la feuille sont des caractéristiques indicatrices de la résistance au stress abiotiques (**Slama et al., 2005**).

4.3. Adaptation physiologique

La stratégie de la tolérance est mise en œuvre par les plantes grâce à l'abaissement du potentiel hydrique qui maintient la turgescence (**Sorrells et al., 2000**).

Les mécanismes intervenant dans la tolérance assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire. La réduction des pertes en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes au stress. Cette diminution de la transpiration engendre une réduction de la photosynthèse. Les génotypes qui ont la capacité photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le stress présentent une efficacité de l'utilisation de l'eau élevée et une plus grande capacité de survie. (**Araus et al., 2002**). L'adaptation à des milieux aux régimes hydrique et thermique variables est en partie associée à l'ajustement osmotique (**Richards et al., 1997**). L'ajustement osmotique constitue le processus majeur permettant à la cellule de maintenir sa turgescence sous contrainte hydrique (**Zhang et al., 1999**).

L'ajustement osmotique est réalisé grâce à une accumulation des solutés (principalement vacuolaire) conduisant à un maintien du potentiel de turgescence. Les solutés responsables de la régulation osmotique sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés (proline, glycine-bétaine), des sucres solubles et certains constituants inorganiques (**Richards *et al.*, 1997**). L'ABA joue un rôle de médiateur dans les réponses au stress hydrique, principalement dans les mouvements stomatiques. Des travaux effectués au niveau moléculaire sur les effets de l'ABA et du stress hydrique confortent l'hypothèse selon laquelle cette hormone joue un rôle clé dans la réponse au stress hydrique. (**Cattivelli *et al.*, 1995**). L'ABA intervient dans la stimulation de la croissance racinaire, la réduction de la surface foliaire, la diminution de la radiation absorbée, l'abscission des feuilles et la fermeture stomatique (**Cattivelli *et al.*, 1995**). Ces mécanismes ont des effets bénéfiques sur le plan de l'économie en eau, mais accélèrent la sénescence et inhibent la photosynthèse et la croissance, ce qui contribue à réduire le rendement (**EL Jaafari *et al.*, 1995**). L'identification de géotypes capables de maintenir une photosynthèse active sous contrainte hydrique repose sur une réduction des mécanismes contraignants induits par l'acide abscissique (ABA). L'efficacité d'utilisation de l'eau, définie comme la production de la biomasse par unité d'eau consommée, est un important caractère de tolérance à la sécheresse. (**Richards *et al.*, 2002**). L'efficacité de l'utilisation de l'eau dépend toutefois non seulement des caractéristiques biologiques propres à l'espèce, mais aussi de la durée de la saison de culture, de la fertilisation, du rapport partie racinaire sur partie aérienne et de facteurs climatiques tels que le déficit de saturation de l'air (**Angus et Herwaarden, 2001**).

4.4. Adaptation biochimique

4.4.1. La teneur en chlorophylle

La diminution de la photosynthèse, qui fait suite à la réduction de la teneur relative en eau et du potentiel hydrique foliaire, est causée par la réduction de la pénétration du CO₂. La diminution de la photosynthèse nette peut être attribuée à la diminution de la concentration interne du CO₂ sans que la capacité photosynthétique des tissus de la feuille ne soit endommagée (**El-jaafari et Paul, 1993**) ; (**Bousba *et al.*, 2009**), indiquent qu'une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur sous stress hydrique (**Tahri *et al.*, 1997**). Montrent que l'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et

b). Ainsi la variété qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et vice versa (**Tahri et al., 1997**).

4.4.2. Ajustement osmotique

La tolérance est la stratégie qui permet à la plante d'assurer ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique (**Temagoult, 2009**). L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique (**El Midaoui et al., 2007**). L'ajustement osmotique peut aussi jouer un rôle important en aidant des feuilles partiellement flétries à redevenir turgescentes lorsque l'apport d'eau reprend. En aidant la feuille à maintenir sa turgescence, l'ajustement osmotique permet aux plantes de garder leurs stomates ouverts et de prélever du CO₂ pour effectuer leur photosynthèse dans des conditions de stress hydriques modérés (**Hopkins, 2003**). Il peut intervenir à tous les stades du développement (**Monneveux et This, 1997**). Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs (**El Midaoui et al., 2007**). Les solutés responsables de la régulation osmotique sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés (proline, glycine-bétaïne), des sucres solubles et certains constituants inorganiques (**Richards et al., 1997**). La fonction principale des solutés compatibles est d'empêcher la perte d'eau pour maintenir la turgescence cellulaire et à maintenir le gradient de reprise en eau dans la cellule. Ces accumulations de métabolite dans les cellules conduisent à une augmentation du potentiel osmotique et ont finalement abouti à une plus grande capacité d'absorption d'eau par les racines et l'économie d'eau dans les cellules (**Seyed et al., 2012**). L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse (**Monneveux et al., 1997**).

4.4.2.1. Accumulation de la proline

Parmi les acides aminés pouvant être accumulés, la proline représente des manifestations les plus remarquables des stress hydriques et osmotiques (**Singh et al., 1973**). La proline est utilisée comme critère de sélection pour la tolérance au stress chez l'orge, c'est l'un des solutés compatibles le plus fréquemment accumulé en réponse à des contraintes environnementales variées et joue un rôle important dans la tolérance des plantes (**Ben Rejeb et al., 2012**). L'accumulation de proline est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez les plantes pour limiter les effets du stress hydrique. Elle est liée à l'osmorégulation cytoplasmique (**Tahri et al., 1997**). L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires : stimulation de sa

synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines. La proline est synthétisée selon deux voies distinctes, via le glutamate et l'ornithine (**Neffar, 2013**). La chaîne de réaction commence par la réduction du glutamate en glutamy-5-semialdéhyde. Ce composé se cyclise spontanément et forme l'acide pyrroline-5-carboxylique qui est réduit ensuite en proline. La proline peut être issue aussi de l'ornithine, précurseur de l'acide pyrroline-2-carboxylique, transformé ensuite en proline. Son accumulation dans les feuilles de plantes qui souffrent d'un manque d'eau a été décrite très anciennement (**Cornic, 2008**). On pense que l'accumulation se fait dans le cytoplasme où sa concentration atteint parfois 230 à 250 mM. Elle peut à cette concentration participer effectivement à l'ajustement osmotique de la plante (**Samars et al., 1995**). Un déficit hydrique plus grave amplifie davantage l'accumulation de la proline dans les tissus foliaires, atteignant pratiquement le double de la quantité normale (**Hireche, 2006**). Outre son rôle osmotique, la proline semble aussi avoir un rôle dans l'enroulement foliaire, constituant un mécanisme de limitation de la transpiration chez les céréales, qui serait lié à l'accumulation d'acide abscissique (ABA) au niveau des feuilles. Elle pourrait en outre jouer plusieurs rôles dans le métabolisme intracellulaire, dans la protection des membranes et des systèmes enzymatiques, et favoriserait la reprise après réhydratation (**Lepoivre, 2003**). Plusieurs sélectionneurs et physiologistes ont utilisé la capacité de son accumulation dans le criblage de génotypes résistants au déficit hydrique (**Benlarabi et Monneveux, 1988**).

4.4.2.2. L'accumulation de sucres solubles

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante (**Henchi, 1987**). Le potentiel osmotique peut être maintenu pour un stress hydrique de faible ou moyenne intensité, par ajustement osmotique.

Les sucres peuvent servir de composés solubles compatibles pour cet ajustement osmotique (**Dubos, 2001**). Ils permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines (**Darbyshire, 1974**). Généralement, on pense que l'accumulation de sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse de réserves (en particulier, d'amidon) mais aussi une modification du métabolisme carboné, la dégradation de polysaccharides et une réduction de l'utilisation de carbohydrates plus importante que la réduction de la photosynthèse en conditions de déficit hydrique (**Lepoivre, 2003**). De nombreuses études ont mis en évidence l'accumulation de sucres solubles lors de la dessiccation. Une idée principale en ressort : différents sucres

solubles peuvent être présents dans des tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation (**Dubos, 2001**). La teneur en sucres solubles des feuilles des plants stressés augmente régulièrement et d'une manière significative en fonction de la diminution de la teneur relative en eau, les sucres sont considérés par plusieurs auteurs comme de bons osmorégulateurs (**Kameli et Losel, 1995**). Ils peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes à la sécheresse (**Morgan, 1984 ; Zhang et al., 1999**).

5. La relation entre stress hydrique (environnemental) et stress oxydatif

Une conséquence du stress hydrique est l'apparition d'un stress oxydatif qui se définit comme le résultat d'un déséquilibre entre la balance des espèces réactives d'oxygènes (ERO) et les systèmes de défense (antioxydants), avec comme conséquence, l'apparition de dégâts souvent irréversibles pour la cellule. Un des mécanismes de défense est le développement d'un système de défense antioxydant, qui inclut les enzymes antioxydants dont le superoxyde-dismutase (SOD), la catalase (CAT), le gaïacol peroxydase (GPX), l'ascorbate peroxydase, etc. L'autre système antioxydant non enzymatique inclue le glutathion, l' α -tocophérol, la vitamine C, les caroténoïdes et les composés phénoliques. (**Abdellaoui et al., 2016**).

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

Lors d'un stress salin ou hydrique, l'inhibition de la photosynthèse, et plus précisément la fuite d'électrons due la diminution de la fixation du CO₂, entraîne une forte accumulation d'espèces réactives de l'oxygène (ERO), et les peroxydases (POD) qui sont des enzymes jouant un rôle important dans le métabolisme et la physiologie de la plante. Elles sont présentes dans tous les tissus des végétaux et sont impliquées dans les réponses des plantes aux infections et aux stress abiotiques (**Benkaddour, 2014**). Le stress hydrique conduit à un stress oxydatif par production des espèces oxygènes réactives particulièrement le radical superoxyde et le peroxyde d'hydrogène (**Zarrad et al., 2009**). Chez le blé, le déficit hydrique affecte les phénomènes stomatiques et les non stomatiques de la photosynthèse à la conductance stomatique. (**Abousouan et Planchon, 1985**)

Stress Oxydatif

1. stress oxydatif

1.1. Définition de stress oxydatif

Le stress oxydant se définit par un déséquilibre entre la production d'espèces radicalaires (ou réactives) de l'oxygène (ERO) et les capacités cellulaires antioxydantes voire Figure (6). Les ERO ont longtemps été considérées comme des sous-produits toxiques (Camille et Mireille, 2011).

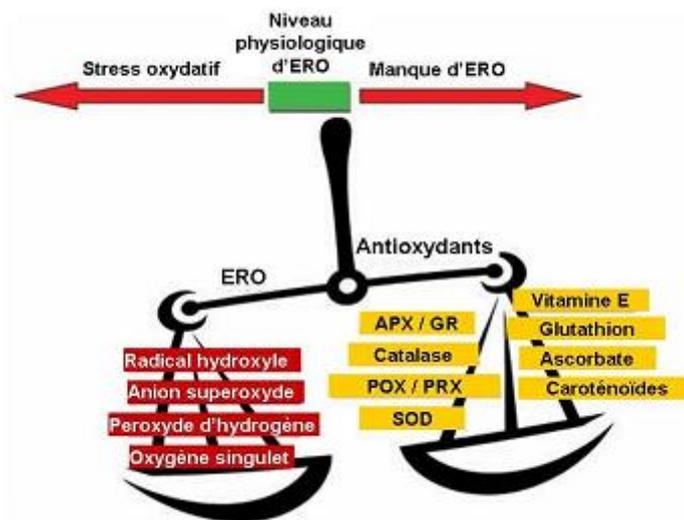


Figure 6: Schématisation de la balance entre les ERO et les antioxydants (Ait yahia et Zemmoura, 2014).

1.2. Le stress oxydatif et son origine

Les stress environnementaux, comprenant les stress hydrique et salin provoquent l'apparition d'un stress oxydatif ; c'est-à-dire l'accumulation d'espèces réactives de l'oxygène (ERO). (Smirnof, 1998). Elles sont produites pendant le métabolisme régulier mais leur production est drastiquement stimulée si les plantes sont exposées au stress comme des fortes intensités lumineuses, des faibles températures ou à la sécheresse. L'oxygène est à l'origine d'espèces réactives de l'oxygène (ERO), des molécules ayant des effets à la fois bénéfiques et délétères conduisant à la mort cellulaire. Pour se protéger de cette toxicité, et pour permettre aux ERO d'intervenir dans la réponse physiologique, les plantes ont développé des mécanismes contrôlant l'accumulation de l'ERO (Droge, 2002).

On connaît plusieurs sources d'ERO dans les différents compartiments de la cellule végétale, elles sont produites lors d'activités métaboliques telles que la photosynthèse et la respiration, et en réponse aux stress environnementaux (Curtin *et al.*, 2002).

2. Espèces réactives de l'oxygène (ERO)

2.1. Définition

- ✓ **L'oxygène** : Est un élément essentiel pour les organismes multicellulaires parce qu'il permet de produire de l'énergie en oxydant de la matière organique. Mais nos cellules convertissent une partie de cet oxygène en métabolites toxiques : les radicaux libres organiques (**Zibouche et Grimes, 2016**).
- ✓ **Les radicaux libres ou ERO** : Sont des espèces chimiques (atomes ou molécules) qui possèdent un électron célibataire (ou électron non apparié) sur leur couche externe. Leur principal danger vient des dommages qu'ils peuvent provoquer lorsqu'ils réagissent avec des composants cellulaires importants tels que l'ADN ou la membrane cellulaire, avec risque de multiplication anormale des cellules, entraînant un dysfonctionnement ou une mort cellulaire, un cancer (**Zibouche et Grimes, 2016**).

Tableau 2: Origine des radicaux libres (**Zibouche et Grimes, 2016**)

L'origine des radicaux libre	
Endogènes	Exogènes
NADPH oxydase, peroxysomes	Toxiques environnementaux
Chaine respiratoire mitochondriale	Radiations ionisantes et UV
CytochromeP450Xanthineoxydase,	Champs électroniques
Cyclo-oxygénases.	Xénobiotiques pro-oxydants, Cytokines.

2.2. Les différents types d'ERO

2.2.1. Les radicaux primaires

Constituent un ensemble restreint de composés radicalaires, directement dérivées de l'oxygène par des réductions à un électron tels l'anion superoxyde (O_2°) et le radical hydroxyle (OH°), ou de l'azote tel le monoxyde d'azote (NO°) (**Bertrand, 2008**).

2.2.2. Les radicaux secondaires

Les radicaux secondaires se forment par réaction des radicaux primaires sur les composés biochimiques de la cellule. Contrairement aux ERO primaires, produites de façon régulière et en quantité importante par les cellules, les ERO secondaires sont seulement formées dans des conditions particulières (**Bertrand, 2008**).

3. Conséquences du stress oxydatif

3.1. Oxydation des lipides

Les ERO peuvent attaquer les lipides et plus particulièrement les résidus d'acides gras polyinsaturés des phospholipides facilement oxydables. Ceci conduit à une réaction en chaîne de peroxydase lipidique qui modifie la fluidité et la perméabilité de la membrane et peut aussi altérer le fonctionnement des protéines membranaires (**Koechlin, 2006**).

3.2. Oxydation des protéines

Les protéines sont sensibles aux attaques radicalaires surtout celles qui comportent un groupement sulfhydryle (SH) et les ponts disulfures. C'est le cas de nombreuses enzymes cellulaires et protéines de transport qui vont ainsi être oxydées et inactivées. Les protéines modifiées par oxydation perdent leurs propriétés biologiques et deviennent beaucoup plus sensibles à l'action des protéases et notamment du protéasome (**Friguet, 2003 ; Garait, 2006**).

3.3. Oxydation d'ADN

Bien que l'ADN soit la mémoire de toute la composition biochimique des êtres vivants, il s'agit d'une molécule très sensible à l'attaque par les ERO (espèces réactives oxygénées), ces derniers réagissent avec les bases purines et pyrimidines ou encore au niveau du désoxyribose, conduisant à leur oxydation ainsi qu'à des coupures mono et double brin de

l'ADN (Favier, 2003). Ces lésions des acides nucléiques sont susceptibles d'entraîner des mutations ou d'altérer l'expression des gènes. L'un des marqueurs d'une attaque oxydative des acides nucléiques est la présence de 8-hydroxy-guanine (8-OHG) (Koechlin, 2006).

4. Mécanismes antioxydants

Peut être considérée comme antioxydant 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). L'organisme est déterminé d'un ensemble de systèmes de défenses antioxydants très efficaces afin de diminuer la concentration des espèces oxydantes dans l'organisme. Les antioxydants sont des systèmes enzymatiques ou non-enzymatiques (Mateos *et al*, 2001). Comme on peut voir dans la figure (7).

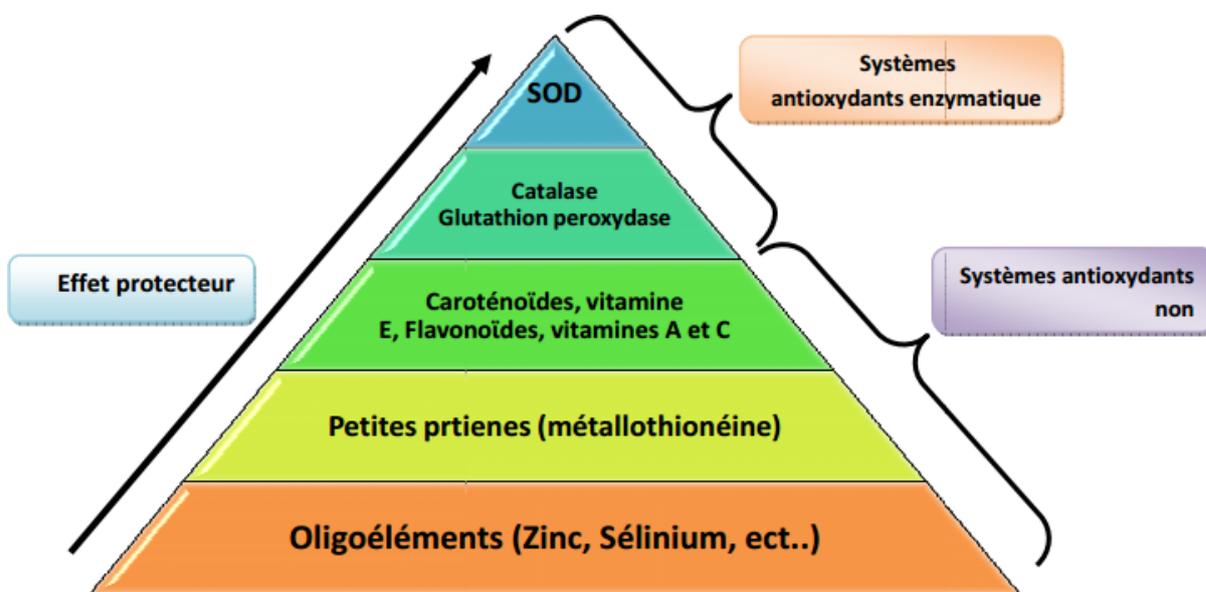


Figure 7: Pyramide des systèmes de défenses antioxydants (Bnchersallah, 2015).

4.1. Systèmes antioxydants enzymatiques

Les principaux systèmes enzymatiques antioxydants les plus efficaces chez les mammifères ainsi que chez les plantes sont la superoxyde dismutase, la catalase et le glutathion peroxydase (Zibouche et Grimes, 2016).

4.1.1. Superoxyde-dismutase

Les superoxyde-dismutases (SOD) jouent un rôle central dans la défense contre les ERO. Elles éliminent, par une réaction de dismutation, l'ion superoxyde, formant à partir de deux superoxydes une molécule d'oxygène et une molécule de peroxyde d'hydrogène. Cette enzyme permet ainsi de diminuer le risque de formation de radical hydroxyle généré à partir du superoxyde au cours de la réaction de Haber-Weiss catalysée par des ions métalliques++ comme le fer ou le cuivre le voir figure (8) (**Ramel, 2009**).

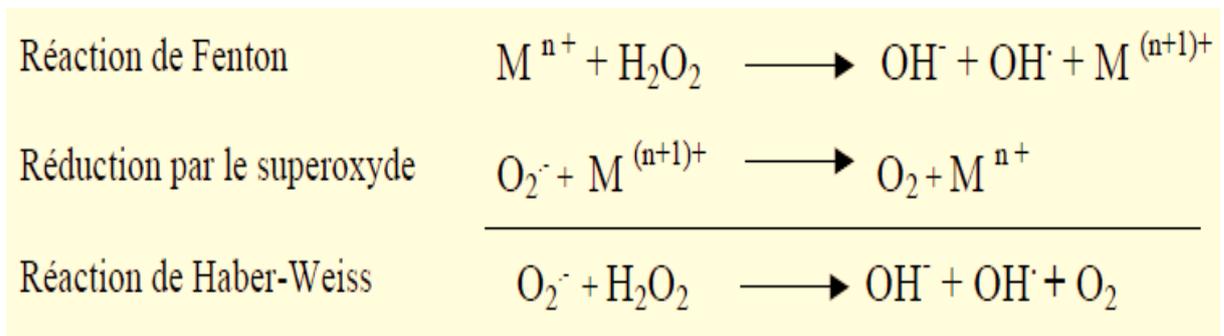


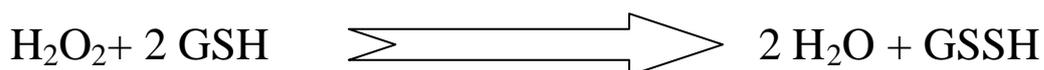
Figure 8: Formation de radicaux hydroxyles par la réaction de Haber-Weiss (**Ramel, 2009**).

4.1.2. La glutathion peroxydase

La glutathion peroxydase (GSH- Px) est une enzyme formée de quatre sous-unités contenant chacune un atome de sélénium incorporé dans une molécule de sélénocystéine La GSH- Px a un rôle important dans la réduction du H₂O₂ en présence de glutathion réduit (GSH) et protège ainsi les membranes et les protéines cellulaires contre le stress oxydatif(**Zibouche et Grimes, 2016**).

Cette enzyme a un rôle clé dans les systèmes de défense enzymatiques et réduit les peroxydes organiques en leurs alcools correspondants (**Zibouche et Grimes, 2016**).

Glutathione-peroxydase



4.1.3. Catalase

La catalase (CAT) est une enzyme importante dans la protection face au stress oxydant chez tous les organismes aérobies. Elle catalyse, de façon extrêmement rapide, la dismutation du peroxyde d'hydrogène en oxygène et en eau, protégeant ainsi les cellules des effets

oxydants causés par une augmentation de H₂O₂. Les catalases sont les seules enzymes capables de dégrader le H₂O₂ sans molécule réductrice, limitant ainsi la consommation d'énergie. Comme dans le cas des SOD, de nombreuses isoformes de CAT sont retrouvées chez les plantes, contrairement aux animaux qui souvent en présentent qu'une seule forme (Guan et Scandalios, 1996).

4.2. Systèmes antioxydants non enzymatiques

Contrairement aux enzymes antioxydants, la plupart de ces composants ne sont pas synthétisés par l'organisme et doivent être apportés par l'alimentation. Dans cette catégorie d'antioxydant nous retrouvons les oligoéléments, la glutathion réduit (GSH), l'ubiquinone, le cytochrome c et les vitamines E et C (Blandine, 2006).

4.2.1. 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 antioxydants 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 l'organisme et sous leur forme réduite, peuvent avoir une action prooxydante (réaction de Fenton, d'Haber-Weiss) (Blandine, 2006).

4.2.2. Glutathion

Le glutathion réduit (GSH), réduit le peroxyde d'hydrogène et/ou les peroxydes organiques grâce à la réaction catalysée par le glutathion peroxydase (GPX). Il peut aussi réduire les radicaux formés par l'oxydation des vitamines E et C, baissant ainsi les niveaux de peroxydation lipidique (Power et Lennon, 1999 ; Packer *et al.*, 1997). Le rapport glutathion réduit/glutathion oxydé (GSH/GSSG) est souvent utilisé comme un marqueur du stress oxydant car plus le flux d'H₂O₂ est important, plus le glutathion réduit est consommé et le glutathion oxydé augmenté (Jill *et al.*, 1992).

4.2.3. Vitamine E et vitamine C

Les vitamines E (α -tocophérol) et C (acide ascorbique) semblent être des plus importants dans la lutte contre le stress oxydant. La vitamine E étant liposoluble, elle se fixe aux membranes et peut ainsi séquestrer les radicaux libres empêchant la propagation des

réactions de peroxydation lipidique. La vitamine C, hydrosoluble, se trouve dans le cytosol et dans le fluide extracellulaire ; elle peut capter directement l'O₂^{•-} et l'OH[•]. Elle peut aussi réduire le radical α -tocophérol et ainsi permettre une meilleure efficacité de la vitamine E (Evans, 2000 ; Packer *et al.*, 1997).

Chapitre : 0 2

Analyse

Bibliographique

1. Principales techniques de détection du stress oxydatif chez les végétaux

De nombreuses méthodes sont utilisées pour détecter l'accumulation d'ERO. Elles sont basées sur la coloration histochimique, la fluorescence, par résonance paramagnétique électronique (EPR) ou capteurs du ERO voire (figure 9) (Lahmann *et al.*, 2015).

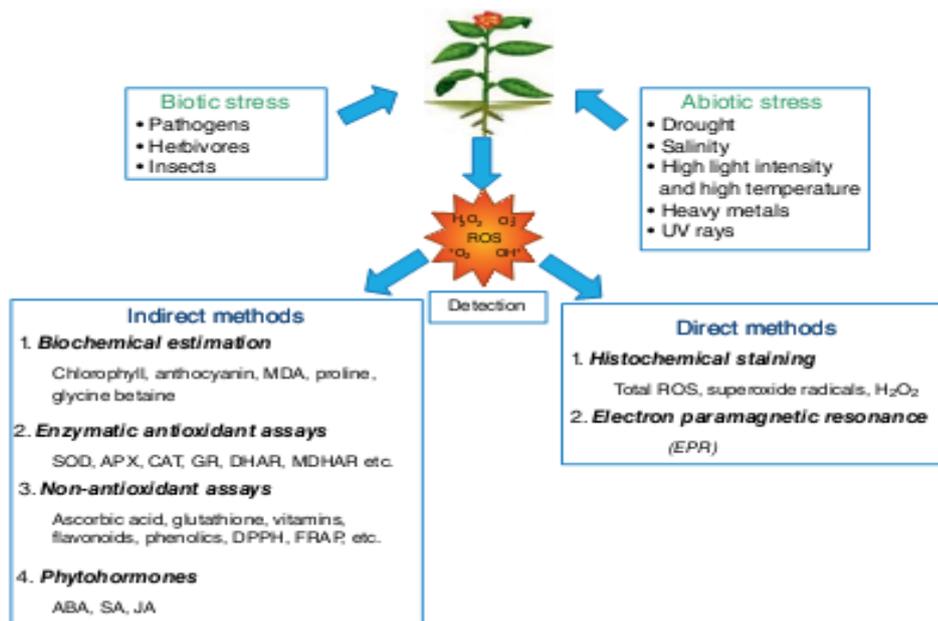


Figure 9: Méthodes de détection de la génération d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) dans les plantes. (Venkidasamy *et al.*, 2019).

❖ Spectrophotométrie

Les activités enzymatiques sont évaluées par spectrophotométrie, en suivant l'évolution de l'absorbance de milieu réactionnel due à l'oxydation de leur cosubstrat (ascorbate pour l'APX, gaïacol pour le gaïacol peroxydase GPOX, NADPH pour la GR) ou la réduction du substrat (H_2O_2 pour la CAT). L'évaluation de l'activité SOD est différente. Le milieu réactionnel contient une molécule photo sensibilisatrice (la riboflavine) et une molécule capable d'être réduite par $O_2^{\cdot-}$ (le NitroBleu de Tétrazolium). L'éclairage intense du milieu réactionnel induit l'oxydation de la riboflavine qui cède un électron au dioxygène pour former un anion superoxyde interagissant avec le NBT (Bertrand, 2008).

La détection spectrophotométrique du malonedialdéhyde (MDA) par le test à l'acide thiobarbiturique (TBA) est la méthode la plus ancienne et la plus populaire pour mesurer la

peroxydation lipidique. Cependant, la MDA reste un indic épeure présentatif de la présence d'une peroxydation lipidique (**Benouarth et Ghanem, 2017**).

❖ Coloration histochimique

Les échantillons de feuilles et de racines sont découpés en lamelles (200 μ m) à l'aide d'un microtome. Ces lamelles sont très rapidement déposées sur une lame de microscope et colorées, à froid et à l'obscurité, pendant cinq minutes, soit avec une solution de NBT (0,5 mM) pour détecter les anions superoxydes, soit avec une solution d'iodure de potassium (0,5 M) et d'amidon (4 % m/v) pour détecter le peroxyde d'hydrogène (**Bertrand, 2008**).

❖ Chimiluminescence

Pour déterminer la production d'ERO, plusieurs types d'agents chimiques peuvent être utilisés notamment la lucigénine, le luminol et l'isoluminol. Le luminol (5-amino-2,3-dihydro-1,4-phthalazinedione) a été utilisé pour détecter les métabolites actifs de l'oxygène par chimiluminescence (**Bertrand, 2008**).

❖ Fluorescence

Méthodes dépendantes de la fluorescence où les sondes sensibles aux oxydants fournissent une fluorescence améliorée dans des conditions de génération de stress oxydatif (**Ankush et al., 2019**).

Dansyl-2,2, 5,5-tétraméthyl-2,5-dihydro1 H -pyrrole (DanePy) est une sonde de fluorescence ainsi qu'une sonde de résonance de spin électronique (ESR) spécifique pour la détection de l'oxygène singlet. La quantité de l'oxygène singlet présente dans le mélange de réaction est estimée par une diminution de la fluorescence initiale de DanePy. Pour la localisation dans les tissus de la plante, l'infiltration est réalisée soit par des segments de feuilles flottants, soit par la fixation des racines dans la solution DanePy (**Zulfugarovet al., 2011**).

❖ Résonance paramagnétique électronique

La spectroscopie de Résonance Paramagnétique Electronique (RPE) est une méthode de spectroscopie sous champ magnétique qui permet la détection directe des 30molécules paramagnétiques, c'est-à-dire possédant au moins un électron célibataire. Cette méthode peut donc s'appliquer à l'étude des ERO (**Cong Lu, 2012**).

❖ Electrochimique

Les techniques électrochimiques reposent sur la possibilité d'oxyder/réduire la molécule d'intérêt, convertissant ainsi une information chimique (nature de l'espèce et concentration) en information électrique (courant à un potentiel donné). Ainsi, elles offrent la possibilité d'une détection extracellulaire sans contact et avec une résolution spatiale et cinétique en temps réel (ms), comme dans le cas de la synapse artificielle (**Cong Lu, 2012**).

2. Etude du stress hydrique

2.1. Paramètres physiologiques

Teneur en eau des feuilles

La quantité d'eau que contiennent les feuilles de blé est calculée à partir de leur poids frais (PF) déterminé juste après leur prélèvement, et de leur poids sec (PS) déterminée après séchage à l'étuve à 105°C (**Harrièche, 2004**). La teneur moyenne en eau est calculée selon la formule de Monneveux et Nemmar (1986) : **TEF (%) = (PF –PS)/PF x 100**

Dosage des chlorophylles

La méthode de Holden (1975) pour l'extraction des chlorophylles est la plus utilisée, elle consiste en une macération du végétal dans de l'acétone. Le traitement des échantillons se fait comme suit :

On pèse 1g de feuilles de blé coupées en petits morceaux et broyées dans un mortier avec 25 ml d'acétone à 80% et une pincée de bicarbonate de calcium. Après le broyage total, la solution est ensuite filtrée et mise dans des boîtes noires afin d'éviter l'oxydation des chlorophylles par la lumière.

La lecture se fait aux deux longueurs d'onde 645nm et 663nm, après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin d'acétone à 80%. Les teneurs en chlorophylles totales, sont exprimés en mg/g de PF. Les valeurs des chlorophylles sont calculer selon les équations ci-dessous (**Yaiche, 2017**).

$$\text{Chl a} = 12,70 \cdot \text{DO}(663) - 2,69 \cdot \text{DO}(645)$$

$$\text{Chl b} = 22,90 \cdot \text{DO}(645) - 4,60 \cdot \text{DO}(663)$$

$$\text{Chl (a+b)} = 8,02 \cdot \text{DO}(663) + 20,2 \cdot \text{DO}(645)$$

2.2. Parameters biochimiques

❖ Détermination des concentrations des protéines totales

La méthode colorimétrique de Bradford (1976) est la méthode classique pour quantifier les protéines, par comparaison avec une gamme étalon réalisée avec du sérum albumine de Bœuf (BSA, Sigma). Les absorbances sont lues à une longueur d'onde de 595 nm (Alayat, 2015).

❖ Détermination des concentrations de la proline

La technique de dosage de la proline la plus utilisée est celle de Troll et Lindsey (1955), modifiée par Dreier et Goring (1974).

Mettre 0,1 g de feuilles du blé dans des tubes à essai et ajouter 2 ml de Méthanol à 40%. Les tubes sont portés à ébullition au bain-marie à 85 °C pendant 60 min. Après refroidissement, 1 ml de la solution est prélevé de chaque tube et mis dans de nouveaux tubes auxquels, on ajoute 1 ml d'acide acétique, 1ml d'un mélange contenant ; (120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide orthophosphorique) et 25mg de ninhydrine. Les tubes sont reportés au bain marie pendant 30 min, jusqu'à ce que la solution vire au rose. Après refroidissement, ajouter 5ml de Toluène et une pincée de Na₂SO₄. Après agitation au vortex deux phases apparaissent : une phase supérieure (qui contient la proline) et une phase inférieure (ne contient pas de la proline). L'absorbance est lue au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 528 nm. La proline foliaire est quantifiée d'après une courbe de référence, dont l'équation de la droite de régression est déterminée (Yaiche, 2017).

❖ Détermination des concentrations des sucres solubles totaux

Les oses totaux sont dosés selon Dubois et al. (1956). L'absorbance est mesurée à 485 nm. Les concentrations des sucres sont déterminées en référence à une gamme étalon de glucose (Alayat, 2015).

❖ Détermination des concentrations de lipide

Les lipides totaux sont dosés selon la méthode Goldsworthy *et al.*, (1972). Chaque échantillon constitué de 0.5g de matière fraîche foliaire, découpée et macérée dans 10ml de l'acide trichloroacétique (TCA) (20%). Après broyage et filtration dans des tubes à essai, 1ml de l'extrait est prélevé et centrifugé à 5000 t/min pendant 10min. On verse le surnageant et on garde, dans le même tube, le culot qui contient les lipides. On ajoute à ce dernier 1ml du

Chapitre 02: Analyse Bibliographique

mélange Ether/Chloroforme (1/1), puis on procède à une deuxième centrifugation (5000 t/min pendant 10min) qui donne deux phases : un culot (contenant les protéines) et un surnageant (contenant les lipides). On prélève 100µl du surnageant auquel on ajoute 1ml de l'acide sulfurique et on met, après agitation, les tubes dans un bain Marie à 100°C pendant 10min. Après refroidissement, on prélève encore une fois, 200µl de l'extrait, auquel on ajoute 2.5ml du mélange sulfo-phospho-vanillinique à 85% (0.38g Vanilline + 195ml acide orthophosphorique + 55ml H₂O). Cette réaction développe une couleur rose. Ainsi, la lecture spectrophotométrique est réalisée à une longueur d'onde 530nm (Yaiche, 2017) .

3. Travail pratique

Au début des travaux, nous avons choisis l'orge comme matériel végétal, mais avec les conditions de santé, et vue l'impossibilité de finir la pratique nous avons fait l'analyse d'un travail qui avait un objectif similaire avec le nôtre, donc des expériences déjà achevées, et en l'absence d'expériences effectuées sur l'orge, nous avons dû prendre les résultats d'expériences effectuées dans un travail fait sur le blé dur par (Ait yahia et Zemmoura, 2014).

L'étude a porté sur deux variétés de blé dur (*TriticumduruDesf*) d'origine locale et introduite. Les semences utilisées sont répertoriées selon le catalogue officiel de l'ITGC de la station expérimentale d'El Khroub, Constantine. (Ait yahia et Zemmoura, 2014). (Tableau 3).

Tableau 3: Les variétés étudiées et leurs origines.(Ait yahia et Zemmoura, 2014).

Variétés	Code	Origine
DjenahKhetifa	DK	Algérie (ITGC).
Marton dur	MD	Amélioré

3.1. Conduite et organisation de l'essai :

Deux expérimentations contrôlées ont été menées, la première sous serre et la deuxième en chambre de culture (culture hydroponique). Ces deux essais ont été réalisés au niveau du

laboratoire de Génétique Biochimie et Biotechnologies Végétales (GBBV) à Chaabet El Rsas, Université Constantine1.

4. L'expérimentation

4.1. Préparation des pots et le semi

Les semences ont été désinfectées dans une solution d'eau de javel à 10% puis rincés 3 fois avec de l'eau distillée, le repiquage été effectué le 23 janvier 2014 dans des bacs de germinations sur un papier absorbant pendant 10 jours dans des conditions ambiantes : température variante entre 20-25°C et à l'obscurité. Les semences germées ont été ensuite repiquées dans des pots. Chaque pot contient un mélange de sol / sable avec des proportions.

4.2. Application du stress hydrique

Les pots ont été placés sous serre, ils sont irrigués régulièrement 3 fois par semaine jusqu'à obtention du stade troisième feuille. Les plantes ont été soumises à trois régimes hydriques à raison de trois répétitions pour chaque traitement.

- Témoin (T) : les plantules sont irriguées à la capacité au champ.
- Stress niveau 1 (S1) : stress appliqué avec arrêt d'irrigation pendant 24h
- Stress niveau 2 (S2) : stress appliqué avec arrêta d'irrigation pendant 44h

4.3. Paramètres étudiés

Les paramètres choisis dans cette petite analyse sont ceux reliés à l'étude du stress oxydatif.

a. Mesure de l'activité enzymatique SOD

L'extraction a été réalisée avec 50 à 100mg de feuille et racine dans l'azote liquide, puis broyées mécaniquement à l'aide d'un mortier, ensuite les tubes sont conservés à -20° afin d'empêché la dégradation des enzymes jusqu'à utilisation.

Les feuilles et racines sont récupérées et mis dans une solution tampon d'extraction Tris-HCL PH =7.8, puis refroidie à 4°C. L'homogénat est centrifugé à froid pendant 15minutes à 10.000 rpm. Le surnageant ainsi obtenu est utilisé en tant que source de superoxyde dismutase.

Chapitre 02: Analyse Bibliographique

L'activité superoxyde dismutase (SOD) est déterminée en utilisant la méthode de Beauchamp et Fridovich (1971), qui mesure par spectrophotométrie à 560 nm l'inhibition de la réduction photochimique du Nitro Bleu de Tétrazolium (NBT). Une unité d'activité SOD est définie comme étant la quantité d'enzyme nécessaire pour une inhibition de 50% du taux de réduction du NBT. Le milieu réactionnel est constitué de :

- Solution tampon de phosphate de potassium 0.067M , ph=7,8 (ml) .
- Solution d'EDTA disodique (annexe.02) 0.1 M, ph=7.8 (ml).
- Extrait enzymatique : liquide de culture.
- Solution de Nitro Bleu Tertrazolium(NBT) 1,5 mM.
- Solution de riboflavine 0,12 mM.

L'échantillon et le témoin sont exposés à l'illumination, 5 minutes exactement, devant une lampe à néon, à une distance de 10 cm. On procède à la lecture des extinctions (absorbances) de l'échantillon et du témoin, à 560 nm, comparées à celles de l'eau distillée.

b. Dosage du malonedialdéhyde (MDA)

Les feuilles et racines sont mises dans une solution tampon d'extraction TCA 1% sous haute. L'homogénat est centrifugé à froid, 5min à 10.000 rpm.

Le surnageant ainsi obtenu est utilisé en tant que source de MDA.

La mesure de la concentration des MDA est déterminée en prenant 4ml de TCA à 20% TBA 0,5%. Puis on ajoute 1 ml de surnageant, le tout est placé pendant 30min dans un bain marie 95%. Pour arrêter la réaction, les tubes sont placés dans la glace puis centrifuger à 10.000 rpm pendant 10 min. L'absorbance est mesurée par un spectrophotomètre à 532 nm puis à 600 nm.

Résultats et discussion

Les données traitées dans le cadre de cette étude concernent les paramètres biochimiques (l'activité enzymatique) cité in travail de (Ait yahia et Zemmoura, 2014).

1. Variation des paramètres biochimiques

1.1. Activité enzymatique SOD

Le superoxyde dismutase est une métallo enzyme produite de façon endogène dans toutes les cellules aérobies. Elle catalyse la dismutation de l'anion superoxyde en oxygène et peroxyde d'hydrogène.

Dans ce travail, l'activité du SOD varie d'une variété à une autre et d'un organe à un autre. L'analyse de l'activité de cette enzyme montre que cette dernière est stimulées dès l'installation du stress hydrique (24h) chez les deux variétés étudiées , cette activité atteint son maximum à 24 h puis elle diminue en 48h, cela laisse suggérer que l'accumulation de ERO intracellulaires en situation de stress environnemental conduit à l'activation de mécanismes de défense, par augmentation d'activités enzymatiques anti oxydantes, notamment la SOD, qui est reconnue comme la première ligne de défense contre les ERO.

Cependant, au niveau des feuilles on remarque que la valeur maximale est enregistrée chez le génotype locale Djnah Khotifa avec une activité de 5.72 U/g/min en 24h, et une activité de 3.2 U/g/min en 48h, alors que la valeur minimale est enregistrée chez le génotype Marton Dur qui marque une activité de l'ordre de 3.27 U/g/min en 24h, et 1.3 U/g/min en 48h, voir Figure(10).

Au niveau des racines les deux variétés marquent des valeurs proches en 24h variant de 5.47 U/g/min à 5.7 U/g/min. En 48h les valeurs varient de 1.99 U/g/min à 3.2 U/g/min.

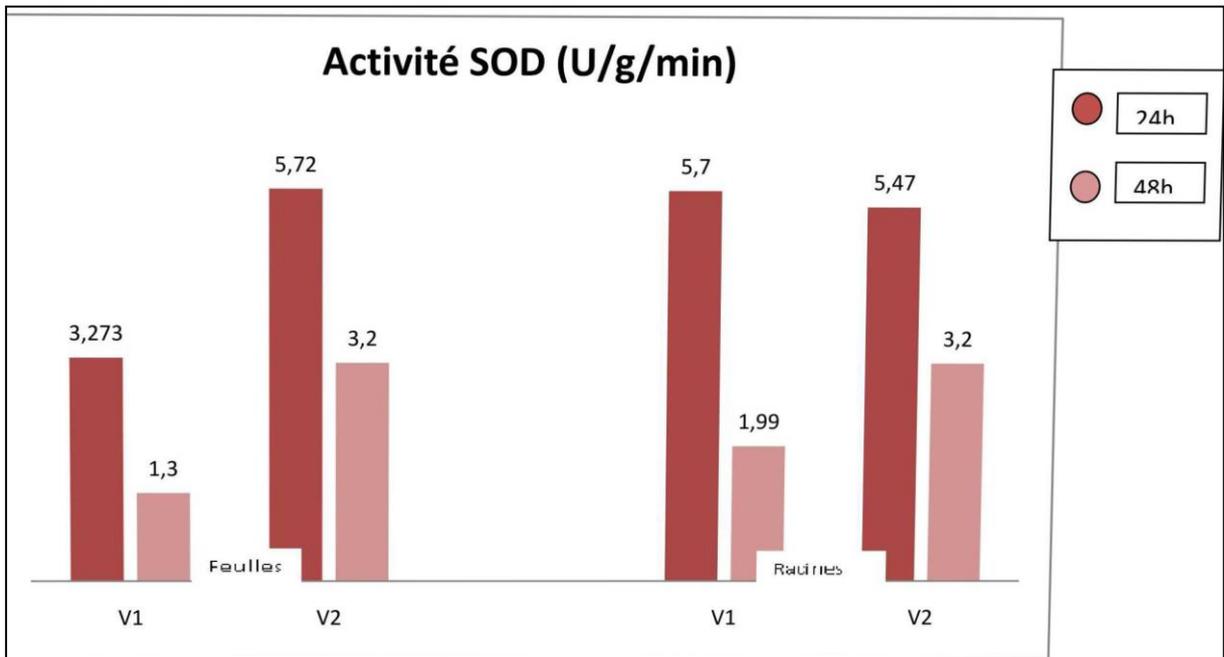


Figure 10: Mesure de l'activité enzymatique du SOD chez deux variétés de blé dur, semis à deux niveaux de stress hydrique (24h et 48h), V1=Marton Dur ; V2=Djenah Khotifa. (Ait yahia et Zemmoura, 2014).

Dans ce travail on remarque que l'activité du SOD est plus importante dans les racines des deux variétés comparativement aux feuilles, cela peut être expliqué par l'installation du manque d'eau au niveau de la partie racinaire. Ces constatations sont en accord avec ceux rapportées par Schützendübel *et al.*, (2001) qui ont montré une importante activité de cette enzyme dans la partie racinaire (Ait yahia et Zemmoura, 2014).

Avant l'application du stress hydrique ainsi qu'au premier niveau de stress (24h), on constate que l'activité de la SOD diminue chez les Témoins, on remarque une augmentation légère avant l'application du stress hydrique et une augmentation remarquable après le premier niveau du stress, cette dernière peut s'expliquer par l'activation de mécanismes de défense par l'augmentation de l'activité enzymatique anti oxydantes notamment la SOD provoquée par l'accumulation des ERO (Benghersallah, 2015).

1.2. La teneur en malondialdéhyde MDA

Lors d'un stress oxydatif le MDA est formé à partir d'une auto oxydation et d'une dégradation des acides gras polyinsaturés dans les cellules, afin d'estimer la peroxydation des lipides dans les membranes et le système biologique on procède par le dosage du MDA par spectrophotomètre.

La teneur en MDA varie d'une variété à une autre et d'un organe à un autre.

La figure (11) montre qu'au niveau foliaire, l'accumulation de MDA varie selon le stress et la variété, en effet, le stress augmente la teneur en MDA qui est noté chez les deux génotypes étudiés, Marton Dur et Djnah Khotifa, cette accumulation est bien marquée chez la variété Djnah Khotifa qui atteint une valeur de 72 mM /gpf en 24h, et une valeur de 119 mM/gpf en 48h. Tandis que la variété Marton Dur présente des valeurs minimales qui donne une valeur de 31mM /gpf en 24h, et une valeur de 65mM/gpf en 48h.

Au niveau racinaire, la figure (11) montre une légère augmentation de la teneur MDA chez la variété Djnah Khotifa de 14.5 mM/gpf sous stress de 24h, la quantité de MDA ne montre pas de variation par rapport au témoin chez le deuxième génotype Marton Dur ; par contre après 48h de stress les deux variétés montrent une augmentation de MDA qui est de l'ordre de :Djnah Khotifa 32 mM/gpf et Marton Dur 24,34 mM/gpf .

Dans ce travail la variété Djanh Khotifa présente une accumulation plus importante de la production du MDA par rapport à la variété Marton Dur.

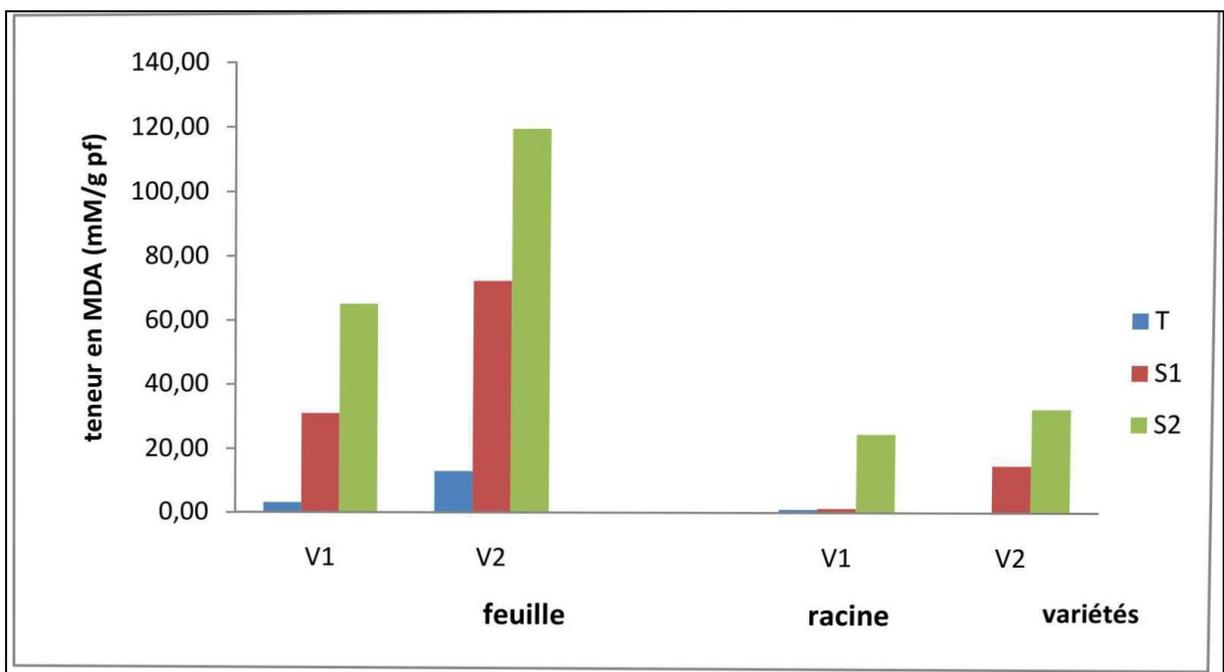


Figure 11: Teneurs en malondialdéhyde (MDA) dans les feuilles et les racines de deux variétés de blé dur V1= Marton Dur, V2= Djnah Khotifa, soumis à deux niveaux de stress hydrique (24h et 48h). (Ait yahia et Zemmoura, 2014).

En conclusion, l'application du stress hydrique induit la production du MDA au niveau des organes et quel que soit le génotype étudié, la teneur en ce métabolites est plus importante au niveau des feuilles.

Il a été admis pendant longtemps que les MDA jouaient un rôle d'indicateur de stress abiotique par conséquent il peut être utilisé comme bio marqueur du stress oxydatif (**Ladhar-Chaabouniet al., 2007 ; Funes et al., 2006**). Comparativement à la littérature les stress environnementaux provoquent une accumulation de MDA. Nous avons remarqué selon ces résultats que les concentrations du MDA au niveau des racines sont plus importantes au niveau racinaire, qu'au niveau des feuilles des plantes des deux céréales. Ceci peut témoigner de l'installation d'un stress oxydant au niveau de la partie racinaire des plantes. L'ampleur de la lipoper oxydation semble être en relation avec l'accumulation préférentielle des ions métalliques dans cet organe (**Dixit et al., 2001; Mishra et al., 2006**). Les résultats confirment cette hypothèse qui décèlent des taux très élevés de MDA équivaut à cinq fois la valeur du témoin prouvant ainsi l'ampleur du stress induit (**Yaiche, 2007**).

Conclusion et perspective

Conclusion et perspective

La tolérance à la sécheresse des plantes est une particularité physiologique à multiples facettes. Les travaux bibliographiques effectués dans cette étude ont porté sur l'adaptation des céréales aux conditions contraignantes de l'environnement qui nécessite des modifications morphologiques, métaboliques et moléculaires dont les réponses oxydatives. Ces changements doivent aider à la fois à minimiser les effets nocifs des stress et permettre à la plante de survivre.

D'après les résultats observés, le stress causé par le déficit hydrique, engendre des désordres relatifs à la croissance des céréales, limitent sérieusement la croissance des plantes ainsi que leur productivité. La réponse des plantes aux variations de stress hydrique, varie selon le type de stress et les caractéristiques de la plante.

Les stress environnementaux conduisent à l'accumulation de ERO à l'intérieure des plantes, provoquant un stress oxydatif. Ces altérations sont plus importantes dans les racines, comparés aux feuilles qui sont traitées sous différents niveaux de stress hydrique.

Le système racinaire semble être plus affecté par le stress oxydatif. Ceci pourrait être expliqué par l'accumulation et la répartition des ERO au sein de la plante. En effet les ERO sont accumulés préférentiellement dans les racines qui montrent une activité du superoxyde dismutase plus élevée par rapport aux feuilles.

Les mécanismes de défense des plantes des céréales n'ont pas pu réguler les concentrations des ERO produits par le stress appliqué. Ceci indique que parfois les enzymes antioxydants ne sont pas un système de défense suffisant contre la production drastique des ERO. Afin de réduire les dégâts causés par les ERO, les défenses anti oxydatives des végétaux comprennent plusieurs enzymes et molécules antioxydantes.

L'induction des activités enzymatiques antioxydants est stimulée par le système de défense antioxydant pour atténuer les dommages oxydatifs engendrés par le stress hydrique, ce qui indique une meilleure tolérance des plantes des céréales au stress. En outre, l'activation des enzymes antioxydants est nécessaire pour réduire l'excès des ERO induit, en diminuant et enrégulant la production de radicaux libres afin d'atténuer et d'éviter les dommages oxydatifs dans les tissus des plantes des blés et de l'orge.

La dismutation de l'anion superoxyde (O_2^-) engendre une accumulation du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). La détoxification de cette molécule peut être envisagée par plusieurs enzymes (La catalase (CAT) localisée au niveau des peroxysomes et des mitochondries).

Une conséquence du stress hydrique est l'apparition d'un stress oxydatif qui se définit comme le résultat d'un déséquilibre entre la balance des espèces réactives d'oxygènes (ERO) et les systèmes de défense (antioxydants), le mécanisme de défense est le développement d'un système de défense antioxydant enzymatique et non enzymatique.

Au terme de cette étude, plusieurs points importants restent à préciser. Il serait en effet intéressant de compléter et confirmer ces résultats par une étude réalisée sur d'autres céréales dont l'orge qui était l'espèce choisie pour ce travail, pour mieux évaluer sa tolérance au stress hydrique et ses réponses oxydatives.

Référence
bibliographie

Référence bibliographie

- Abbassenne F, Bouzerzour H et Hachemi L.** 1998. Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum Desf.*) en zone semi-aride. Ann. Agron. INA. N°18, p.24 -36.
- Abdelguerfl et Laouar M.** 2000. Les ressources génétiques des blés en Algérie passé présent et avenir. In blé enjeux et stratégie, actes du 1^{er} symposium international sur la filière blé, OAIC, Alger . p. 133-148.
- Abdellaoui R, Bouralleb F, Hadded Z,** 2016. Etude de quelques critères adaptatifs de *stipa lagascae* vis-à-vis du déficit hydrique .journal of new sciences agriculture and biotechnology, IABC(21),1350-1359.
- Aboussouan-seropain C, Planchon C.** 1985. Réponse de la photosynthèse de deux variétés de blé à un déficit hydrique foliaire. Agronomie, 5(7), p. 639-644.
- Ait yahia etzammora H.** 2014. Etude de l'effet d'un stress oxydatif et le système défensif enzymatique chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*). Université coenstantine1. p.34-44
- Ali Dib T, Monneveux P, et Araus J.**1992. Adaptation à la sécheresse et notion d'idiotype chez le blé dur. II : caractères physiologiques d'adaptation. Agronomie, 12,p. 381-393.
- Allosio O,** 1999. Caractérisation de la transformation de l'orge en malt par des méthodes de spectroscopie vibrationnelle, thèse INPL, spécialité : Biotechnologies et Industries Alimentaires, Nancy.
- Alayat A.** 2015. Etude de l'impact toxicologique de certains agents chimiques sur la qualité des céréales : cas du blé et de l'orge. Université badji mokhtar-annaba. p 82-100.
- Angus J, Van Herwaarden V.** 2001. Increasing water use and water-use efficiency in dryland wheat. Agron. J, 93, p. 290–298.
- Ankush P, Paval P et Mika T.** Editorial : reactive oxygen species (ROS) detection method in biological system. pub 2019. Doi: 10.3389/ fphys.p. 1.
- Anonyme,** 2009. Orge commune. http://fr.wikipedia.org/wiki/Orge_commune
- Araus J, Slafer G , Reynolds M , Royo C.** 2002. Plant breeding and water relations in C3 cereals: what should we breed for Annals of Botany, 89, p.925-940.

Belhassen E, This D, Monneveux Ph. 1995. L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. Synthèse. Cahier Agriculture N° 4, p. 251 -261.

Ben mbarek K, Boubaker M. 2017. Manual de grandes cultures. Les céréales. Mauritius : Edition universitaires européennes, p. 195-196 .

Ben Naceur M, Nailly M et Selmi M. 1999.Effet d'un déficit hydrique, survenant à différents stades de développement du blé, sur l'humidité du sol, la physiologie de la plante et sur les composantes du rendement. MEDIT, 2, p .53-60.

Ben Rejeb K, Abdelly C et Savouré A.2012.La proline, un acide aminé multifonctionnel impliqué dans l'adaptation des plantes aux contraintes environnementales. Biologie Aujourd'hui, 206 (4), p. 291-299.

Ben Salem M, Boussen H, et Slama A. 1997.Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF/UREF), Orsay. Sécheresse,2,p.75-83.

Benaïtes. 1989. Essais de compartiment de cinq variété de vexe (*Vicia sativa* L) 5CS.3CS chelif. Tidjedrett à l'irrigue, dans la station expérimentale d'Ain Bennaoui (W.BISKRA).Mémoire. Ing. Agro. Saha. I.T.A.S. Ouargla, p. 45 .

Benbelkacem A et Kellou K. 2001. Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) cultivées en Algérie. Options méditerranéennes N° 6, p. 105 -110.

Bendarradji L, Hadji N, Kellou K, Benniou R et Brini F. 2016 Effet du NaCl et PEG 6000 sur le comportement morfo physiologique et biochimique des variétés de blé dur et tendre. Revue Agriculteur, N°1,p.278-286.

Benghersallah N. 2015. Effet du stress oxydatif sur différentes variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) et sur leurs systèmes défensifs. Constantin. Université des Frères Mentouri Constantine. p26-34.

Benjelloun M, Rais CH, Wahid N, Elghadraoui L, Alaoui Mhamdi M. 2013 Evaluation de la tolérance de *Myrtuscommunis* L. au stress hydrique au stade germinatif. Bulletin de l'institut scientifique, Rabat, section science de la vie, N°35, p.19-26.

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

Benlarabi M et Monneveux P.1988.Etude comparée du comportement en situation de déficit hydrique de deux variétés algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) adaptées à la sécheresse. C.RA cad. Agric. France., 74 (5), p. 73-83.

Bennaceur M, Nailly M, Selimi M. 1999. Effet d'un déficit hydrique, survenant a différents stade de développement du blé sur l'humidité du sol, la physiologie de la plante et sur les composantes du rendement. Médit, N°2/99, P.53-60.

Benouareth R et Ghanem R. 2018.Etude comparative de la variabilité interspécifique: morph-phénologique et évaluation de l'activité antioxydante et l'activité biologique chez *Triticum durum*, *Triticumaestivum* et *Hordeum vulgare*. Université des Frères Mentouri Constantine. p. 38-70.

Bensari M, Camés J et Viala G. 1990.Répartition du carbone fixé par photosynthèse entre l'amidon et le saccharose dans la feuille de soja. Influence d'un déficit hydrique. Plant Physiol. Biochem, 28, p. 17-26.

Berka, S, et Aid, F. 2009.Réponses physiologiques des plants d'Arganiaspinosa (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. Sécheresse, 20 (3) , p. 296-302.

Bertrand P. 2008. Implicatipon du stress oxydant dans la toxicité du plomb sur une plante modèle, *Vicia faba*.Théses de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse; 297 pt.17et 20p.27p52-.57p

Blandine G. 2006. Le stress oxydant induit par voie métabolique (régime alimentaires) ou par vois gazeuse (hyperoxie) et effet de la glisodine. france. université joseph fourier –Grenoble 1, p. 23.

Bounagab K. 2013. La rayure réticulée de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans le Nord-Ouest Algérien : importance, morphologie et pouvoir pathogène chez *Pyrenophora teres*. Recherche de moyens de lutte. université d'Oran. p.22.

Bousba R, Ykhlef N et Djekoun A. 2009. Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *World Journal of Agricultural Sciences* 5, 5, p. 609 -616

Camille M, Mireille S. 2011. Espèces réactives de l'oxygène et stress oxydant. Université Lyon 1, EA 41-69, Laboratoire de recherche dermatologique, pavillon R, Hôpital Édouard Herriot, 69437 Lyon Cedex 03, France. P. 405. <http://www.medecinesciences.org> ou <http://dx.doi.org/10.1051/medsci/2011274017>.

Canterro-Martinez C, Villar J. et Romagosa I et Fereres E. 1995. Growth and yield responses of two contrasting barley cultivars in a Mediterranean environment. *Eur. J. Agron.*, 4, p. 317-323.

Cattivelli C, Grosi M, Portesi A, Rizza Fet Stanca AM. 1995. Relation ship among the modifications of gene expression induced by ABA, drought and gold stress in barley. In : *Reproductive Biology and Plant Breeding. XIIIth EUCARPIA Congress 6-11 juillet 1992, Angers, France.*

Cong Lu. 2012. Analyse microélectrochimique du stress oxydant à l'échelle de la cellule unique : application aux cellules cancéreuses du sein. *Chimie analytique. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI*, p.12.

Cornic G. 2008. Effet de la contrainte hydrique sur la photosynthèse foliaire: De l'utilisation expérimental des relations A/Ci et ACc, article, p. 36 .

Chaib C, Benlaribi M, Hazmoun T, Accumulation d'osmoticums chez le blé dur (*triticum durum* Def.) Sous stress hydrique. *European scientific journal* august 2015 edition vol.11, No.24- ISSN1857-7431.

Curtin J.F. 2002. Donovan M., Cotter T.G.: Regulation and measurement of oxidative stress in apoptosis. *J. Immunom methods*. 265, p. 49-70.

Darbyshire B. 1974. The function of the carbohydrate units of tree fungal enzymes in their resistance to dehydration. *Plant Physiol.*, 54, p. 717-721.

Day W, Legg B, French B, Lohnston A, Lawlor D et Jeffers W. 1978 A drought experiment using mobile shelters : The effect of drought on barley yield. *J. Agric. Sci. Camb.* N° 91, p. 599 -623.

DChen. 2004. Green tea and tea polyphenols in cancer prevention, *Front Biosci*, vol. 9, n° 2618.

Debaeke P, Cabelguenne M, Casals M et Fuech J. 1996. Élaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. II. Mise au point et test d'un modèle de simulation de la culture de blé d'hiver en conditions d'alimentation hydrique et azotée variées: Epie phase-BI. Elsevier, INRA, *Agronomie: Agronomie and Environnement* N° 16, p. 25 -46.

Dekkaki M, Amssa M et Qariani L. 2000. Identification des critères agro-physiologiques d'adaptation du blé dur aux basses températures et à la sécheresse. CIHEAM. *Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens*, 40,1,p245-249.

Dixit V, Pandey V, Shyam R. 2001. Differential oxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum* L. Cv. Azad). *J. Exp. Bot.* 52, p. 1101-1109.

Djarmoun A. La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Revue nature et technologie* N : 01 ,2009 , P. 45-53.

Droge W. 2002. Free radicals in the physiological control of cell function. *Cellularphysiol .Rev.* 82, p. 47.

Dubos, C. 2001. Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat en biologie Forestière, Université Henri Poincaré, Nancy I, p. 225.

El Jaafari S et Paul R. 1993. Accumulation foliaire de proline et résistance à la sécheresse chez le blé (*Triticum aestivum* L). *Arch Int Physiol Biochem Biophys* 101, B8

EL Jaafri S, Lepoivre Ph, Semal J. 1995. Implication de l'acide abscissique dans la résistance du blé à la sécheresse. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris, 1, p. 148-148.

- El Midaoui M, Benbella M, Aït Houssa A, Ibriz, M., et Talouizte A.** 2007. Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.), *Revue HTE*, N°136, p. 29-34.
- Eryilmaz F** 2006. The relationships between salt stress and anthocyanin content in higher plants. *biotechnol and biothechnolEq*, p. 47.
- Evans W.** 2000. Vitamin E, vitamin C, and exercise. *Am J Clin Nutr* 72, p. 647S-652S.
- Favier A.** 2003. Le stress oxydant. intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité chimique*, p. 108-115.
- Friguet B.** 2003. Le vieillissement moléculaire et cellulaire et ses futurs enjeux. *L'actualité chimique*, p. 103-107.
- Funes V Alhamâ J, Navas J, I-npez-Barea J, Peinado J.** 2006. Ecoroxicologicâletrects of métal pollution in two mollusk species from the Spanish South Atlantic littoral. *Environmental Pollution* 139, p. 214-23.
- Garait B.** 2006. Le stress oxydant induit par voie métabolique gazeuse et effet de la glisodin. Thèse doctorat, université Joseph Fourier, p. 22-23.
- Gillet.** 1980. Les graminées fourragères Description. Fonctionnement application à la culture de l'herbe ED. Gauthier. Villars. Paris, p. 306.
- Gomes-Junior R. A, Moldes C, Delite F, Pompeu G, Gratao P, Mazzafera P, Lea, Azevedo R.** 2006. Antioxidant metabolism of coffee cell suspension cultures in response to cadmium. *Chemosphere* 65, p. 1330-1337.
- Guan L, Scandalios J,** 1996. Molecular evolution of maize catalases and their relationship to other eukaryotic and prokaryotic catalases, *Journal of Molecular Evolution* 42, p. 570-579.
- Halliwell B et Whiteman B.** 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), p. 231-255.

Hanchane M.2009: Estimation des risques climatiques en fonction de la date de semis de l'orge au Maroc. Précipitations et cultures céréalières dans le Centre-ouest du Maroc. In: Méditerranée, 88 (1), p . 51-58.

Hayek T, Ben Salem M et Zid E. 2000. Mécanisme ou stratégie de résistance à la sécheresse : Cas du blé, de l'orge et du triticale. CIHEAM-IAMZ, Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens, 40, p. 287-290.

Henchi B. 1987.Effets des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysiologie de Plantago alba L. Thèse de doctorat d'État, univ Tunis.

Hireche Y. 2006. Réponse de la luzerne (Medicago sativa L) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Mémoire de magister, Département d'Agronomie. Université EL-Hadj Lakhdar, Batna. p. 83.

Hopkins W. 2003 .Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck, Bruscelles, p.61-476.

Hsissou D. 1994. Sélection In vitro et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thèse de doctorat. Univ. Catholique de Louvain.

Jill F et Mitchell E. 1992 Glutathione and antioxidant enzymes in skeletal muscle: effects of fiber type and exercise intensity. J Appl Physiol 73, p1854-1859.

Johnson J , Box J. Manandhar J, Bamseur, E. et Cunfer, B.M. 1989.Breeding for rooting potential under stress conditions in: physiology breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments. Collo. N° 55, éd. INRA, Paris, p. 307 -317.

Jonard P. 1951. Les blés tendres (Triticum vulgare V : II) cultivés en France.

Khaldoun A. 1986. Contribution à l'étude du comportement de l'orge (Hordeum vulgare L) en double exploitation fourragère / grain. Mémoire DAA. ENSA – Montpebier (France).76 P.

Kameli A et Losel D. 1995. Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. J. Plant Physiol, 145, p. 363-366.

Koechlin-Ramonatxo C. 2006. Nutrition Clinique and metabolism, 20, p. 165-177.

- Ladhar-Chaabouni R, Gargoun R, Hamza-Chaffai A.** 2007. Effect of cadmium on some biomarkers in the clam *Ruditapes decussata*: metallothionein quantification by using two techniques. *Int J Environ Pollut* 10, p.593-601.
- Lahmann S, Serrano M, L'haridon F, Tjamos S, Pierre J.** 2015. reactive oxygen species and plant resistance to fungal pathogens. published in *phytochemistry* 112 :54-62.
- Lepoivre P.** 2003. *Phytopathologie: Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte.* De Boeck Supérieur, p. 27-28.
- Levitt, J.** 1980. *Responses of plants to environmental stresses.* Academic Presse, New York.
- Liu Y, Wang X, Zeng G, Qu D, Gu J, Zhou M, Chai L.** 2007. Cadmium-induced oxidative stress and response of the ascorbate-glutathione cycle in *Beckmannia (L.) Gaud.* *Chemosphere* 69, p. 99-107.
- Maksymiec, W.** 2007. Signaling responses in plants to heavy metals. *Acta Physiol. Plant* 29, p. 177-187.
- Mateos R, Espartero, Trujillo, Rios J, Leon-Camacho M., Alcuia F, Cert A, Agric J.** 2001. *Food Chemistry*, 49, p. 2285.
- Maury P, Langlade N, Grieu P, Rengel D, Sarrafi A, Debaeke P, Vincourt P.** 2011. *Écophysiologie et génétique de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol.* *Innovations Agronomiques*, N°14. p.123-138.
- Mellouli H, Ben Naceur M, El flah M, El Gharbi M, Kaabia M, Nahdi H, Slafer G.** *Efficience de l'utilisation de l'eau chez le blé et l'orge sous différents régimes hydriques et de fertilisation azotée dans des conditions subhumides de Tunisie.* 2007.. Vol 1. P. 179-189.
- Messid N, Radja H.** 2016. *Essai de panification avec un améliorant biologique –farine de malte–.* Boumerdes : université M'hamedbougara. p.7.
- Mishra S, Srivastava S, Tripathi R, Govindarajan R, Kuriakose S, Prasad M.** 2006. *Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in Bacopa monnieri L..* *Plant Physiol. Biochem.* 44; 25-37. *mitochondrial hydrogen-peroxide.* *FEBS Letters* 42, p. 68-72.

- Mishra S, Srivastava S, Tripathi R, Govindarajan R, Kuriakose S, Prasad, M.** 2006. Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in BacopamonnierL..Plant Physiol. Bioch. 44; 25-37.mitochondrial hydrogen-peroxide. FebsLetters 42, p.68-72.
- Mishra S, Srivastava S, Tripathi R. Govindarajan R. Kuriakose S. Prasad M.** 2006. Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in BacopamonnierL..Plant Physiol. Bioch. 44; 25-37.mitochondrial hydrogen-peroxide. FebsLetters 42, p . 68-72.
- Missaoui Y.** 1991. Evolution de la salinité en fonction des dosse d'irrigation à l'I.T.D.A.S de Biskra Mémoire Ing –Agro Saha- infsas.Ouargla .p. 79 .
- Monneveux P, et This D.** 1997.La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés. Sécheresse, 8,p .29-37.
- Morgan J. M.** 1984.Osmoregulation and water stress in higher plants. AnnualReview of Plant Physiology, 35, p .299–319.
- Mossab M.** 1991.culture à double fin avec la filière blé OAIC. P. 213-220.
- Moule C.** 1971. Phytotechnie spéciale. Tome II. Céréales: Ed La Maison rustique, Paris, France,p. 235 .
- 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 d'orge (*Hordeum vulgare*) soumis à la sécheresse. Thèse doctorat en Sciences, Université Sétif. P. 86.
- Nemmar M.** 1983. Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez les variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) évolution des teneurs en proline au cours de cycle de développement. Thèse de Doctorat, ENSAN. p. 142 .
- Packer L, Tritschler H et Wessel K.** 1997. Neuroprotection by the metabolic antioxidant alpha-lipoicacid.FreeRadicBiol Med 22, p.359-378.
- Passioura J.** 2004.Increasing crop productivity when water is scarce : From breeding to field management In : Proceedings of the 4th International Crop Science Congress “New directions for a diverse planet” Brisbane, Australia.p.12.www.regional.org-au/au/cs.

- Peer S.** 2013. Plantes cultivées en suisse-L'orge-. Suisse. Verein für alpine Kulturpflanzen, Alvaneu, septembre 2013, p. 14-16.
- Pereira G, Molina S, Lea P et Azevedo R,** 2002. Activity of antioxidant enzymes in response to cadmium in *Crotalaria juncea*. *Plant and Soil*, 239, p. 123-132.
- Powers S et Lennon S.** 1999. Analysis of cellular responses to free radicals: focus on exercise and skeletal muscle. *Proc Nutr Soc* 58, p. 1025-1033.
- Rahal-Bouzian H.** 2015. L'orge en Algérie passé, présent et importance pour la sécurité alimentaire face, aux nouveaux défis. *recherche agronomique N* : 27.
- Ramel F,** 2009. Implication des sucres solubles dans les réponses aux stress xénobiotique et oxydatif chez *Arabidopsis thaliana* [thèse]. L'Université de Rennes 1, p. 307.
- Rentel M, Knight M.** 2004 Oxidative stress-induced calcium signaling in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 135, p. 1471-1479.
- Richards R, Rebetzke G, Condon A, Van Herwaarden A.** 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci*, 42, p. 111-21.
- Richards R, Rebetzke G, Van Herwaarden A, Duggan B, Condon A.** 1997. Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture*, 36, p. 254-66.
- Samars Y, Bressan R, Csonka L, Garcia-Rios M, Paino D'Urzo, M., & Rhodes, D.** 1995. Proline accumulation during drought and salinity. In : *Environment and plant metabolism*, Smirnoff N, ed. Bios scientific publisher, Oxford.
- Sarda X, Vansyt G, Touth D, Casse-Delbart F. et Lamaze T.** 1992. Les signaux racinaires de la régulation stomatique in: tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne, diversité génétique et amélioration variétale. *Collo. N° 64*, éd. INRA, Paris, p. 75 -82.
- Seyed Y, Mosharraf M. et Ismail M.** 2012. *Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses*, Water Stress, Prof. Ismail Md. Mofizur Rahman (Ed.), ISBN, p. 978-953-307-963-9, In Tech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/water-stress/water-stress-in-plants-causes-effects-and-responses.2p>

- Sharma A, Bingsong Z.** 2019. Melation mediated regulation of drought stress physiological and molecular aspects. Laboratoire de subtropical silviculture, hejiang, université Hangzhou; china.
- Simon M.** 1972. Identification et classification des variétés d'orge cultivées en France Ed. Sel. Versailles, p. 200 .
- Singh T, Paleg L, et Aspinall D.** 1973. Nitrogen metabolism and growth in barley plant during water stress. Aust. J. Biol. Sci., 26, p. 45-56
- Slama A, Ben Salem M, Ben Naceur M. et Zid E.** 2005. Les céréals en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Science et Changements planétaires / Sécheresse Vol. 16, N° 3, p. 225 - 229.
- Slim H.** 1982. Etude compartiment de l'orge (*Hordeum vulgare* L) en double exploitation fourragère grain. Mémoire Ing. Agro. I.N.A – Tunisie .p. 124 .
- Smirnoff N.** 1998. Plant resistance to environmental stress. Current Opinion in Biotechnology (2), p. 214-215.
- Soltner D.** 1979. Les grandes productions végétales. 10^{ème} Ed, p. 427 .
- Soltner D.** 1988. Les basses de production végétale. Les collections sciences techniques agricole. 16^{ème}, Ed. p. 464 .
- Sorrells M, Diab A, Nachit M.** 2000. Comparative genetics of droughttolerance. Options méditerranéennes série A (Séminaires méditerranéens), 40, p. 19 p. 1-201.
- Sriman N , Ankit T, Vinay K , Ghanshyam V .** 2018. Effect of nitrogen levels and its time of application on growth parameters of barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry: 7(1),p. 333-338.
- Tahri E, Belabed A, Sadki K.** 1997. Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Bulletin de l'Institut Scientifique. Rebat, 21,p. 81-89 .

Temagoult M. 2009. Analyse de la variabilité de la réponse au stress hydrique chez des lignées recombinantes de Tournefortia (Helianthus annuus L.). Mémoire de magistère. Univ. Mentouri. Constantine. P.106.

Tomi M, Barris S et Aid F.2014. effet de stress hydrique sur l'accumulation de proline et de MDA chez deux variétés de colza (brassic napus L). Bulletin de l'institut scientifique, rabat section de la vie, 2014, N: 36, P.17-24.

Triki T, Guasmi F, Boussora F, BEN Mohamed M, Ben Ali S, Guasmi A, Yahia H, Nagaz K, étude de la composition phénolique et des propriétés antioxydantes d'extrait des feuilles de cinq variétés d'orge (Hordeum vulgare L) soumises à un stress hydrique (PEG 6000). N :43. 2016.

Tsimilli-Michael M, Pêcheux R, Strasser.1998. Vitality and stress adaptation of the symbionts of coral reef and temperate foraminifers probed in hospite by the fluorescence kinetics O-J-I-P. Archs. Sci. Genève 51, p .205-240.

Turner N. 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In: "stress physiology in crop plants", (H.W. Musselnd et, R.C Staples, ed, Wiley,(interscience) New York, p 343-372.

Venkidasamy B, Karthikeyan M, et Ramalingam S. Methods/Protocols for Determination of Oxidative Stress in Crop Plants.2020. ee discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/341815675>.p.422.

Yannarelli G, Fernández-Alvarez A, Santa-Cruz D, Tomaro M. 2006. Glutathione reductase activity and isoforms in leaves and roots of wheat plants subjected to cadmium stress. Phytochemistry.

Yaiche F, 2017, Stratégies de défense observées chez le blé comme réponse à l'induction d'un stress oxydatif. Université badji mokhtar – annaba. p. 80-81.

Zairi M, bouchentouf S, Hadjam N, Benali M, Hamou M, Labdi M.2016. revue agriculture. Numéros spécial 1.p.162-173.

Zerrad W, Maataoui B ,Hilali S, El Antri S, Laza S, Hmyene A. 2009.The effect of hydric stress upon the synthesis of four isoenzymes of two varieties of durum wheat. Scientific study end Reseach, vol3 , p. 53-259.

Zeya K, Réponses physiologiques et biochimiques au deficit hydrique du soja (Glycine Max L)Merillinoculate par brady rhizobiumjaponicum .vol, 13, 2019, P.54-66.

Zhang J, Nguyen H, Blum A. 1999.Geneticanalysis of osmotic adjustment in crop plants.J. Exp. Bot, 50, p. 291-302.

Zibouche M et Grimes C. 2016.Contribution à l'étude des flavonoïdes et de l'activité antioxydant de l'orge : *Hordeum vulgare*. Constantine. University des Frères Mentouri Constantine. P. 25.

Zulfugarov S, Trovu A, Hong kim J, et Hwan lee C. Detection of Reactive Oxygen Species in Higher Plants.Journal in Plant Biology· December 201. DOI: 10.1007/s12374-011-9177-4.