

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 : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière: Sciences Biologiques

Spécialité: Biologie moléculaire et cellulaire

Département : Biologie

Thème

Etude de comportement biochimique (stress oxydatif) chez des variétés de blé dur exposé aux stress hydrique

Présenté par :

- Zaalani Mohamed-Tahar
- Kadjadja Issam

Devant le jury composé de :

Président : Mesbah A.	(MCB)	Université de Guelma
Examineur : Baali S.	(MAA)	Université de Guelma
Encadreur : Benbelkacem S.	(MAA)	Université de Guelma

Juin 2023

Remerciements

Nous tenons à remercier tout d'abord notre encadrant Mme Benbelkacem S professeur à l'université du 08 mai Guelma 1945 d'avoir eu la gentillesse et la patience, de nous assister tout au long de ce travail, de nous prodiguer son aide, son encouragement et ses conseils afin que nous puissions terminer à bien notre travail.

Nos remerciements s'adressent également A :

Madame Mesbah A. Maître de conférences à l'Université du 08 mai 1945 qui nous fait l'honneur de présider le jury et de juger ce travail.

Et à Monsieur Baali S. Maître de conférences à l'Université du 08 mai 1945 d'avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Nous remercions également le responsable de l'animalerie et de la Serre de la Faculté des Sciences de la Nature et de la vie et de la Terre et de l'Univers de l'Université du 08 mai 1945.

Nous tenons aussi à remercier l'ensemble des enseignants de la spécialité «BMC» pour avoir consacré leur temps et leur savoir-faire afin de nous faire bénéficier de la meilleure formation.

Un grand merci à nos amis, pour leur complicité et pour leur amitié.

Dédicaces

*Avant tout, je dois remercier Dieu le
tout puissant qui m'a donné l'envie et la
force pour mener à terme ce travail*

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, je
dédie le fruit de ce modeste travail :*

*À Mon père **Sebtí** et ma mère **Noura** Aucune dédicace ne
saurait exprimer mon respect, mon amour et ma
considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour
mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout
le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance
et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.*

*À mon frère **kháiredíne** et mes sœurs **khawla ;kenza** et **Aya**
et mon neveu **Mídou***

*J'offre les plus grandes salutations à mon frère **Tarek**, que
Dieu ait pitié de lui*

*À Toute ma famille pour leur soutien tout
au long de mon parcours universitaire*

À Mes enseignants et professeurs tout

au long de mes études À mes chères

*amies **Oussama ; Amal***

À tous les membres de ma promotion.

Sans oublier tous ceux qui connue pré ou loin.

Mohamed- Tahar

Dédicaces

*Avant tout, je dois remercier Dieu le tout puissant qui m'a
donné l'envie et la force pour mener à terme ce travail*

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, je
dédie le fruit de ce modeste travail :*

*À Mon père Khmessi et ma mère Meriem Aucune dédicace
ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma
considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour
mon instruction et mon bien-être .Je vous remercie pour tout
le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance
et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.*

À mon frère karim et mon neveu daya

*À Toute ma famille pour leur soutien tout
au long de mon parcours universitaire*

*À Mes enseignants et professeurs tout
au long de*

À tous les membres de ma promotion.

Sans oublier tous ceux qui connue pré ou loin.

Issam

Résumé

Le blé est l'une des céréales les plus importantes en termes de consommation humaine dans de nombreux pays du monde. Il est cultivé principalement dans les pays du bassin Méditerranéen à climat arides et semi-arides.

L'objectif de ce travail est l'étude de l'influence du stress abiotique (stress hydrique) sur les comportements de deux variétés de blé : Palesio et Core. Une durée d'expérience de 65 jours, où des paramètres biochimiques ont été étudiés sous quatre niveaux d'irrigation (100, 37.5, 18.75 et 12.5 %). Quatre paramètres ont été dosés : teneurs en chlorophylle, dosage des sucres totaux, de la proline et enfin l'activité du superoxyde dismutase (SOD). Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique impliqué, et selon les niveaux d'irrigation, a provoqué des fluctuations en chlorophylles (a et b) ; a augmenté le taux des sucres totaux dans les feuilles, a provoqué une accumulation de proline. Et enfin l'étude du paramètre enzymatique de superoxyde dismutase montre une activité anti oxydante dû au stress niveau des racines et des feuilles.

Les résultats obtenus montrent de façons générales des fluctuations aux différents niveaux de stress hydriques appliqués, en conclusion le stress appliqué, provoque les mêmes réponses chez les deux variétés étudiées mais à des degrés différents.

Mots clés : Palesio, Core, stress hydrique, Paramètres biochimiques, stress oxydatif.

Abstract

Wheat is one of the most important cereals in terms of human consumption in many countries around the world. It is cultivated mainly in the Mediterranean countries basin in arid and semi-arid climates.

This work aims to study the influence of abiotic stress (hydic stress) on the behaviors of two wheat varieties: Palesio and Core. A duration of experience of 65 days, where biochemical parameters were studied under four levels of irrigation (100, 37.5, 18.75 and 12.5%). Four parameters were applied: chlorophyll content, assay of total sugars, proline and finally the activity of superoxide dismutase (SOD). The results obtained show that the water stress involved, depending on the irrigation levels, caused fluctuations in chlorophylls (a and b); increased the level of total sugars in the leaves, caused a proline accumulation. And finally, the study of the enzymatic parameter of superoxide dismutase shows antioxidant activity due to stress level of roots and leaves. The results obtained generally show fluctuations at the different levels of applied water stress, in conclusion the applied stress, causes the same responses in the two varieties studied but to different degrees.

Keywords: Palesio, Core, water stress, Biochemical parameters, oxidative stress.

الملخص

القمح هو واحد من أهم الحبوب المستهلكة في العديد من البلدان حول العالم. يتم زراعته بشكل رئيسي في البلدان المحيطة للبحر الأبيض المتوسط والتي تتمتع بمناخ جاف وشبه جاف.

هدف هذا العمل هو دراسة تأثير الاجهاد المائي (الجفاف) على سلوك صنفين من القمح:

تمت التجربة لمدة 65 يوما. حيث تم دراسة مؤشرات بيوكيميائية تحت أربع كميات من الري Palesio, Core

(100 و 37.5 و 18.75 و 12.5). تمت دراسة أربعة مؤشرات: كميات الكلوروفيل و مستويات السكريات الكلية، و البرولين و اخيرا (peroxyde dismutase)(SOD)نشاط مركب .

أظهرت النتائج المتحصل عليها ان الاجهاد المائي المطبق وفقا لمستويات الري، تسبب في تقلبات في مستويات الكلوروفيل (أ, ب) زيادة في مستويات السكريات الكلية في الأوراق, تراكم البرولين , وأخيرا أظهرت دراسة مؤشر مركب (peroxyde dismutase) نشاطا مضادا للأكسدة نتيجة الاجهاد المائي على مستوى الجذور والاوراق.

اجمالا، أظهرت النتائج تقلبات عامة في مستويات الاجهاد المائي المطبقة. وفي الختام، تشير النتائج الى استجابات مشابهة في السلالتين المدروسة ولكن بدرجات مختلفة.

الكلمات المفتاحية

الاجهاد المائي, المؤشرات البيوكيميائية, التوتر الأكسدة , palesio ,core

Sommaire

Introduction	1
<i>Chapitre I: Données Bibliographiques</i>	
1-Historique et origine du blé dur.....	3
2 -Importance et production du blé dur	3
2-1 Dans le monde.....	3
2-2En Algérie	5
3-Description morphologique du blé.....	5
3-1 Appareil végétatif.....	5
3-2 Système racinaire	6
3-3 Système aérien.....	6
3-4 Appareil reproducteur	6
3-5 Grain de blé	7
4-Variétés et catégories de blé.....	8
4-1 Les blés tendres	8
4-2 Les blés durs.....	8
4-3 Les blés mitadins.....	9
5-Le stress hydrique	9
5-1 Définition de stress hydrique.....	9
5-2 Effet du stress hydrique sur la plante	9
5-3 Effet du stress hydrique sur la photosynthèse	10
5-4 Effet du stress hydrique sur le rendement du blé dur.....	10
6-Le stress oxydatif et son origine.....	11
6-1 Définition stress oxydatif	11
6-2 Conséquences du stress oxydatif :.....	13

6-2-1 La peroxydation lipidique (LPO).....	13
6-2-2 Oxydation des protéines.....	14
6-2-3 Oxydation d'ADN.....	14
6-2-4 Dommages de l'ADN.....	15
7-Les espèces réactives de l'oxygène.....	15
7-1 La formation des espèces réactives de l'oxygène.....	16
7-2 Les radicaux libres.....	16
7-3 Les types de radicaux libres.....	16
7-4 Sources des radicaux libres.....	17
A- Les sources endogènes.....	18

Chapitre II: Matériel et Méthodes

1- Matériel végétal.....	22
2- Caractéristiques des variétés utilisées.....	22
3- Conduite et suivis des essais.....	24
4-Expérimentation 01 :(Application du stress hydrique sous serre).....	24
4-1 Mise en place du dispositif expérimental.....	25
4-2 Préparation des pots et le semi.....	25
4-3 Application du stress hydrique.....	25
4-4 Paramètres étudiés.....	27
4-4-1 Dosage des Pigments Chlorophylliens.....	27
4-4-2 Dosage des sucres solubles.....	27
4-4-3 Dosage de la proline.....	28
4-4-1-4 Dosage de l'activité du superoxyde dismutase (Test au bleu de méthylène).....	28

Chapitre III: Résultats et Discussion

1-Paramètres biochimiques.....	30
1-1 Dosage des Pigments Chlorophylliens.....	30
Discussion :	32
1-2-Dosages des sucres solubles	33
1-3-Dosage de la proline.....	35
Conclusion :.....	46
Référence bibliographique.....	47

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristique morpho- physiologie de la variété Core (SIS Societa Italiana Sementi).....	23
Tableau 2: Caractéristique morpho- physiologie de la variété Palesio (SIS Societa Italiana Sementi).....	23
Tableau 3 : Plan expérimental.....	25

Liste des figures

Fig 1: Origine et diffusion du blé (Source : Bonjean., 2001).....	3
Fig 2: production céréalière ente 2012-2023.(FAO , 2023)	4
Fig 3 : Morphologie du blé [1].	6
Fig 4: Fleurs et graine (caryopse) de blé (Heiser, 1990).	7
Fig 5: Anatomie du grain de blé (Fredot, 2005)	8
Fig 6: le stress oxydatifs [2]	12
Figure 7: Dommages oxydatifs (Sergent et al., 2001).	13
Figure 8: Neutralisation d'un radical libre par un antioxydant (Carange, 2010).	16
Fig 9: Classification des radicaux libres (El-Bahr, 2013).	17
Fig 10: Origine extra- et intracellulaire des radicaux libres dérivés de l'oxygène. XO : xanthine oxydase ; P-450 : cytochrome P-450 (Afonso et al.,2007).	18
Fig 11 : Le transport d'électrons dans la chaîne respiratoire mitochondriale et la.....	19
Fig 12: Structure et fonctions des peroxysomes [3].....	20
Figure 13: un modèle montrant la formation des espèces réactives de l'oxygène dans le chloroplaste [4]	21
Fig 14: Les 2 variétés de blé ((photographie))	22
Figure 16: Plante blé dur variétés Core et Palesio (photographie).....	26
Figure 17: Variation de la teneur en chlorophylle a chez la variété de blé Core étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique.....	30
Figure 18: Variation de la teneur en chlorophylle a chez la variété de blé Palesio étudiée...	31
Figure 19: Variation de la teneur en chlorophylle b chez la variété de blé Core étudiée sen fonction de l'intensité du stress hydrique.....	31
Figure 20: Variation de la teneur en chlorophylle b chez la variété de blé Palesio étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique.....	32
Figure 21: Variation de la teneur des sucres solubles chez la variété Core étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique.	33

Figure 22: Variation de la teneur des sucres solubles chez la variété Palesio étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique	34
Figure 23: Variation de la teneur de la proline chez La variété Core étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique	35
Figure 24: Variation de la teneur de la proline chez la variété Palesio étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique	36
Figure 25: Variation de la teneur de SOD dans les feuilles chez la variété Core étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique	38
Figure 26: Variation de la teneur de SOD dans les racines chez la variété Core étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique	38
Figure 27: Variation de la teneur en SOD dans les feuilles chez la variété Palesio étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique	39
Figure 28: Variation de la teneur de SOD dans les racines chez la variété Palesio étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique	40

Liste des abréviations :

ADN	Acide Désoxyribonucléique
ARN	Acide Ribonucléique
°C	Degré Celsius
C	Core
Chl a	Chlorophyll a
Chl b	Chlorophyll b
CTE	Chaîne de transport des électrons
EOA	Espèces oxygénées activées
ERA	Espèces réactives de l'azote
ERO	Espèces réactive d'oxygène
FAO	Food and Agriculture Organization
H⁺	Proton
H₂O₂	Peroxyde d'hydrogène
LPO	La peroxydation lipidique
Mm	Milli mole
Mt	Million de tonne
NADP⁻	Nicotinamide Adénine Di nucléotide phosphate
O₂	Oxygène
O²⁻	Anion superoxide
P	Palesio
PBS	Phosphate buffer salin
POD	Peroxydases
PS	Photosynthétique

PSI	Photosystème I
PSII	Photosystème II
R	Répétition
ROS	Reactive Oxygen Species
SIS	Societa Italiana Sementi
SOD	Superoxyde Dismutase
U M	Micro mole
USDA	Département américain de l'agriculture

Introduction

Introduction

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Elles sont considérées comme une principale source de la nutrition humaine et animale (**Slama et al., 2005**),

Les céréales sont des espèces généralement cultivées pour leur grain, dont l'albumenamylicé, réduit en farine, est consommable par l'homme ou par les animaux domestiques. Les graines de céréales constituent, depuis toujours, la principale ressource alimentaire. Dans la plupart des cas, la production des céréales est assurée par une seule récolte dans l'année alors que la consommation est prolongée toute au long de l'année, d'où la nécessité du stockage.

La plupart des céréales appartiennent à la famille des Graminées (ou Poacées). Ce sont: le blé, l'orge, l'avoine, le seigle, le maïs, le riz, le millet, le sorgho. Les unes appartiennent à la sous-famille des Festucoïdées : blé, orge, avoine, seigle ; les autres à la sous-famille des Panicoïdées : maïs, riz, sorgho, millet. Enfin, une céréale, le sarrasin appartient à une autre famille, celle des Polygonacées. (**Bonnet, 1936**).

Le blé est la culture céréalière la plus produite dans le monde et se classe au deuxième rang après le riz en tant que source alimentaire pour les populations humaines. Il contribue à environ 15% de leurs besoins énergétiques. (**Bajji, 1999**).

L'Algérie accorde une grande importance au blé en termes de consommation et de production, car il est considéré comme une céréale de base dans l'alimentation quotidienne de nombreux Algériens (**FAO, 2017**).

Les conséquences du stress hydrique sont essentiellement une diminution de la croissance ainsi qu'une réduction de l'activité photosynthétique, affectant ainsi le rendement et provoquant la mort de la plante si le stress perdure. Le déficit hydrique induit également un stress oxydatif avec la formation de radicaux libres dans le chloroplaste et Mitochondrie, La peroxydation lipidique (LPO), Oxydation d'ADN, Dommages de l'ADN et Oxydation des protéines (**Toumi et al., 2014**).

Le stress oxydant correspond à un déséquilibre entre la génération d'espèces oxygénées activées (EOA) et les défenses antioxydantes de l'organisme, en faveur des premières (**Haleng et al., 2007**). La majorité de ces espèces réactives de l'oxygène (ERO) sont générées par l'activation de molécules d'oxygène. L'excitation de O₂ entraîne ainsi la formation d'ERO

comme l'oxygène singulet (1O_2). Les radicaux libres superoxydes ($O_2^{\cdot-}$), les radicaux hydroxyles (OH^{\cdot}) et les molécules comme le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et l'ozone (O_3) sont d'autres ERO très dommageables pour les organismes vivants (**Mittler, 2002**).

Le blé dur est sensible au stress hydrique, qui peut entraîner une diminution de la croissance, de la production de biomasse et de la qualité des récoltes. Le stress hydrique peut également induire un stress oxydatif dans les cellules du blé dur, conduisant à des dommages cellulaires et à des altérations du métabolisme. (**El-Beltagi et Mohamed, 2013**)

L'objectif de ce travail est l'étude du comportement biochimique, et stress oxydatif chez deux variétés de blé, dû au stress abiotiques (stress hydrique).

L'étude est présentée en trois chapitres essentiels qui sont précédés par une introduction.

Le 1er chapitre, est consacré à la revue bibliographique pour une présentation de l'espèce étudiée, l'influence des contraintes abiotiques sur son développement ainsi que du stress oxydatif.

Le 2ème chapitre, s'intéresse au matériel et aux méthodes utilisées afin de cerner les paramètres biochimiques.

Le 3ème chapitre, traitera les principaux résultats obtenus, avec une petite discussion

Et enfin la conclusion du travail avec quelques perspectives.

Chapitre I

Données Bibliographiques

1-Historique et origine du blé dur

Le blé dur (*Triticum durum*) est une espèce tétraploïde qui existe depuis la nuit des temps, avec le riz et le maïs, à la base de l'alimentation de la population mondiale. (Yves et De Buyser, 2000). C'est l'une des premières espèces végétales à être domestiquées par l'homme (il y a 7 000 à 10 000 ans), elle pousse dans le croissant fertile qui englobe la Palestine, la Syrie, l'Irak et une grande partie de l'Iran (Croston et Williams, 1981). Des Preuves de la culture du blé remontant au 7e millénaire av. ont été trouvés sur des sites archéologiques du Moyen-Orient voisin comme le montre la (Figure 01) (Harlan, 1975).

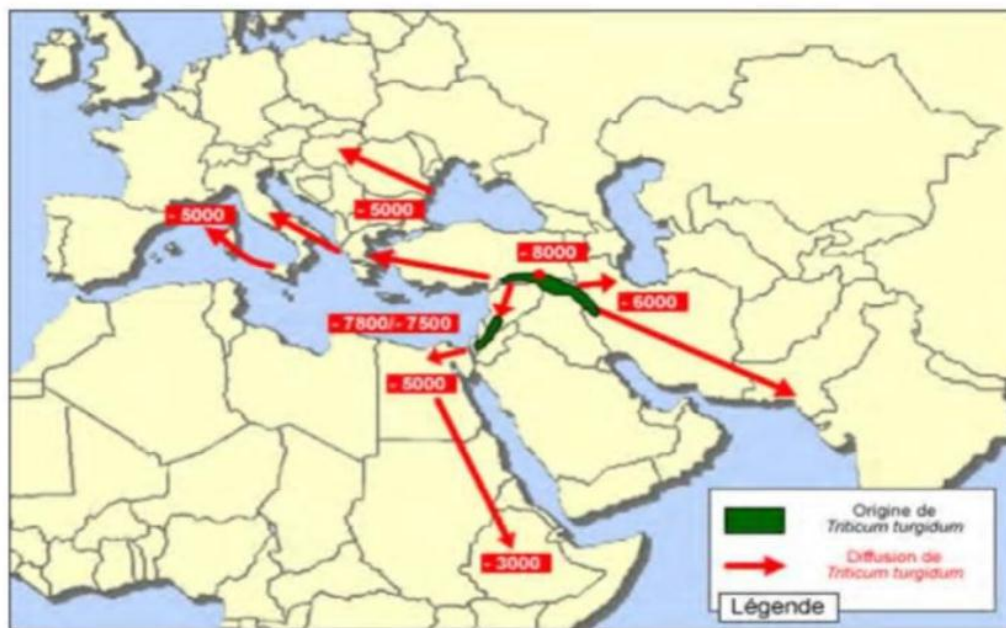


Fig 1: Origine et diffusion du blé (Source : Bonjean., 2001).

Le genre *Triticum*, qui contient de nombreuses espèces différentes, comprend le groupe des tétraploïdes, trois espèces actuelles représentent les aliments de base de toutes les populations humaines, le blé (*Triticum* L.), le riz (*Oriza* L.) et le maïs (*Zeamays* L.), semblent tous avoir un ancêtre commun et comprennent tous les gènes qui ont été dispersés à travers le monde. (Yves et De Buyser, 2000).

2 -Importance et production du blé dur

2-1 Dans le monde

Cinq pays dans le monde fournissent à eux seuls la moitié de la fabrication mondiale. Ainsi, de 2003 à 2007, l'Union européenne, la Chine, l'Inde, les Etats-Unis et la Russie ont produit en moyenne 397 millions de tonnes de blé. Aux côtés de ces grands producteurs, il

existe un groupe de huit pays, dont le Canada, le Pakistan, l'Australie, la Turquie, l'Argentine, l'Iran, l'Ukraine et le Kazakhstan, dont la production annuelle de blé varie de 10 à 30 millions de tonnes et représente environ un quart (23 %) de la production mondiale de blé. Environ 93 % de la production mondiale de blé est produite par ces deux groupes de pays combinés.

Le marché mondial du blé compte un nombre relativement restreint de pays exportateurs, mais de nombreux autres pays sont demandeurs. Cependant, quinze grands pays achètent au moins 2 millions de tonnes de blé par an, ce qui représente environ la moitié des importations mondiales. Parmi ceux-ci, six importateurs importants peuvent être identifiés dont les quantités annuelles d'importation dépassent 5 millions de tonnes : l'Égypte, l'Union européenne, le Brésil, le Japon, l'Algérie et l'Indonésie.

Les dernières prévisions de la FAO au sujet de la production mondiale de blé en 2023 sont restées quasiment inchangées par rapport aux chiffres précédents publiés en avril. La production mondiale en 2023 devrait atteindre son deuxième plus haut niveau jamais enregistré, à savoir 785 millions de tonnes. voir **(figure 02)**

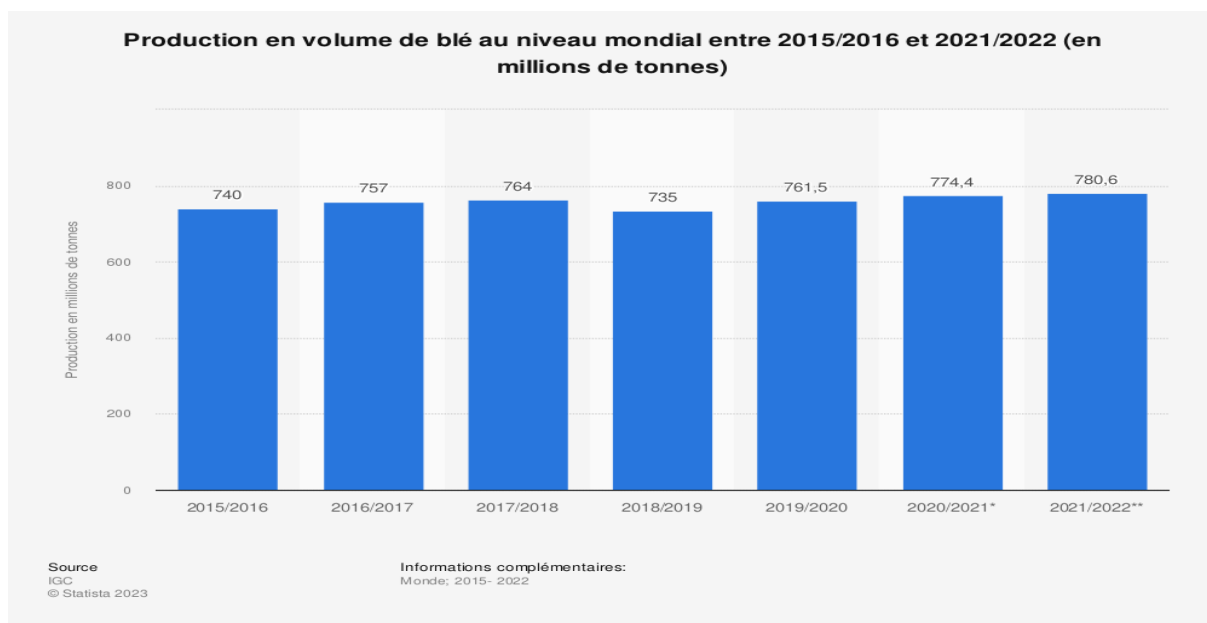


Fig 2: production de blé ente 2015-2023. [1]

2-2 En Algérie

La culture du blé dur (*Triticum durum*, Desf.) est une tradition ancienne en Algérie. Elle opère sur un vaste territoire allant du subhumide aux hauts plateaux arides et occupe plus de la moitié des emblavures céréalières annuelles. Pour produire 24 millions de quintaux de blé dur sur 1,34 million d'hectares en 2012, soit un rendement moyen de 18 quintaux par hectare, les emblavements étaient bien en deçà du rendement moyen de l'Union européenne de 29 quintaux par hectare pour la même année. (**Madr, 2012**).

En Algérie, la récolte de blé est prévue pour s'établir à 3,3 millions de tonnes en 2022/2023. C'est ce qu'indique le Département américain de l'agriculture (USDA) dans son dernier rapport publié, le 30 septembre 2022 sur les céréales en ce qui concerne les pays d'Afrique du Nord.

Le volume escompté marquerait une hausse de 38 % par rapport au stock de 2,4 millions de tonnes récolté au cours de la campagne précédente alors même que la superficie emblavée devrait stagner à 2 millions d'hectares.

Cette embellie s'explique notamment par un retour à la normale des conditions météorologiques après la longue période de sécheresse survenue un an plus tôt. L'USDA s'attend d'ailleurs à une amélioration du rendement qui devrait passer à 1,5 tonne/hectare contre 1,2 tonne/ha précédemment.

Malgré ces perspectives, le pays reste encore loin de son pic de production de 4 millions de tonnes de blé atteint en 2018/2019.

En Algérie, les besoins de consommation de blé tournent autour de 11 millions de tonnes par an. Dans le pays, les importations de céréales ont coûté environ 2,25 milliards \$ en 2021, soit le quart de la facture totale des importations alimentaires selon l'USDA. (**FAO, 2023**)

3-Description morphologique du blé

3-1 Appareil végétatif

Un plant de blé est composé d'un appareil végétatif et un appareil reproducteur

Voir **Figure 03**)

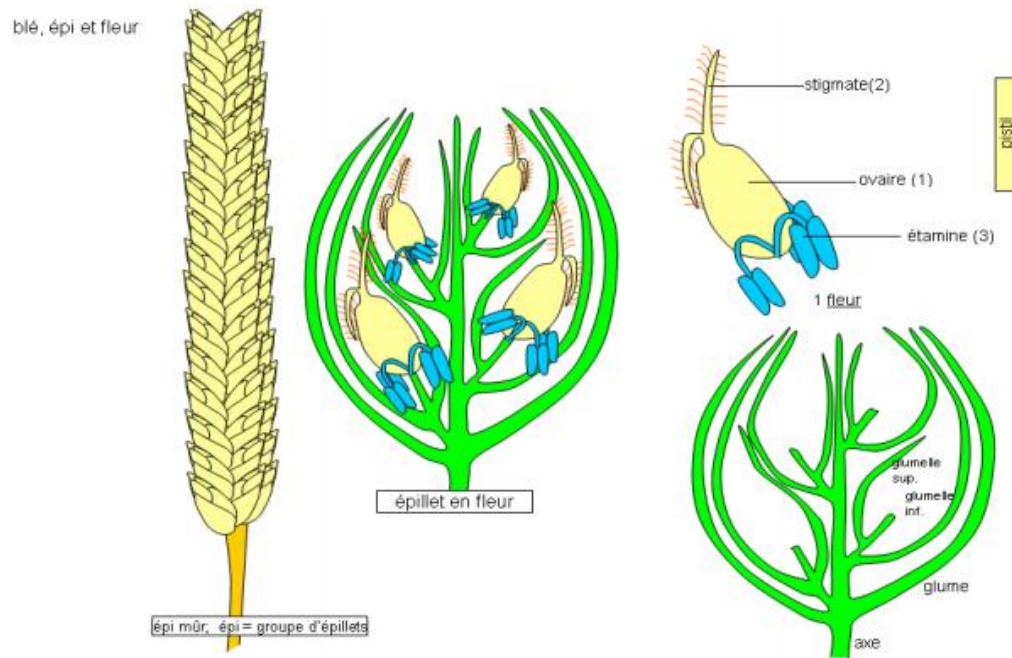


Fig 3 : Morphologie du blé [1].

3-2 Système racinaire

C'est un système racinaire fasciculé. En développement, maintenant. Selon (**Belaid, 1996**), deux systèmes interviennent : le système séminal racinaire, qui est le système primaire qui opère de la germination au tallage, et le système coronaire racinaire, qui apparaît au stade tallage.

3-3 Système aérien

Selon (**Belaid, 1996**), la tige est cylindrique et divisée en segments. La tige principale, connue sous le nom de "maître brin", et un certain nombre de tiges secondaires, appelées "talls", qui émergent de la base de la plante (**Gate, 1995**). Les feuilles sont divisées en deux moitiés, la supérieure et l'inférieure, par des nervures parallèles.

3-4 Appareil reproducteur

Le blé est une plante autogame. L'épi est issu du bourgeon du plateau de tallage dès la fin de tallage, il commence à s'élever dans la tige à mesure que celle-ci s'allonge, ce qui constitue la montaison. Lorsque le développement de la tige est terminé elle apparaît enveloppée dans la dernière feuille et après quelques jours c'est l'épiaison. (**Passioura J, 2004**).

L'épi comporte une tige pleine ou rachis coudée et étranglée à intervalles régulière et portant alternativement à droite et à gauche un épillet. L'épillet ne comporte pas de pédoncule, il est attaché directement sur le rachis. Les épillets se recouvrent étroitement les uns des autres-chaque épillet contient plusieurs fleurs plus au moins complètement développés, de la même façon, on trouve encore deux ou trois fleurs complètement développées (Passioura J, 2004).

La fleur est très petite et sans éclat visible, la fécondation a lieu avant l'épanouissement de la fleur, c'est -à-dire avant l'apparition des anthères à l'extérieur voir (Figure.04).

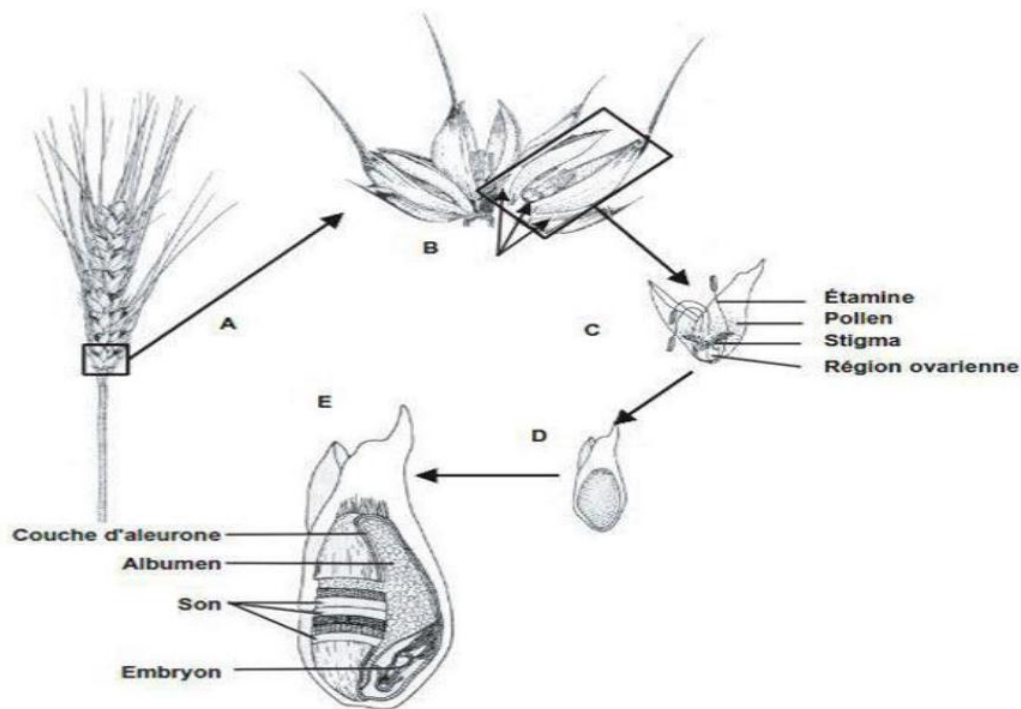


Fig 4: Fleurs et graine (caryopse) de blé (Heiser, 1990).

- A. Epi composé de plusieurs épillets possédant plusieurs fleurs ; B. Epillet à trois fleurs ;
C. Composantes d'une fleur ; D. Jeune caryopse ; E. Fruit mature (caryopse)

3-5 Grain de blé

Sur le plan morphologique, le grain est ovoïde, de couleur blanche à brune, avec un sillon sur la face ventrale. Sa longueur varie de 6,5 à 8,5 mm et son diamètre varie de 3 à 4mm. Histologiquement, le grain de blé dur est composé de trois types de tissus différents : l'albumine (80 %), les enveloppes (17 %) et le germe (3 % du poids du grain). (Fredot, 2005) voir (Figure 05)

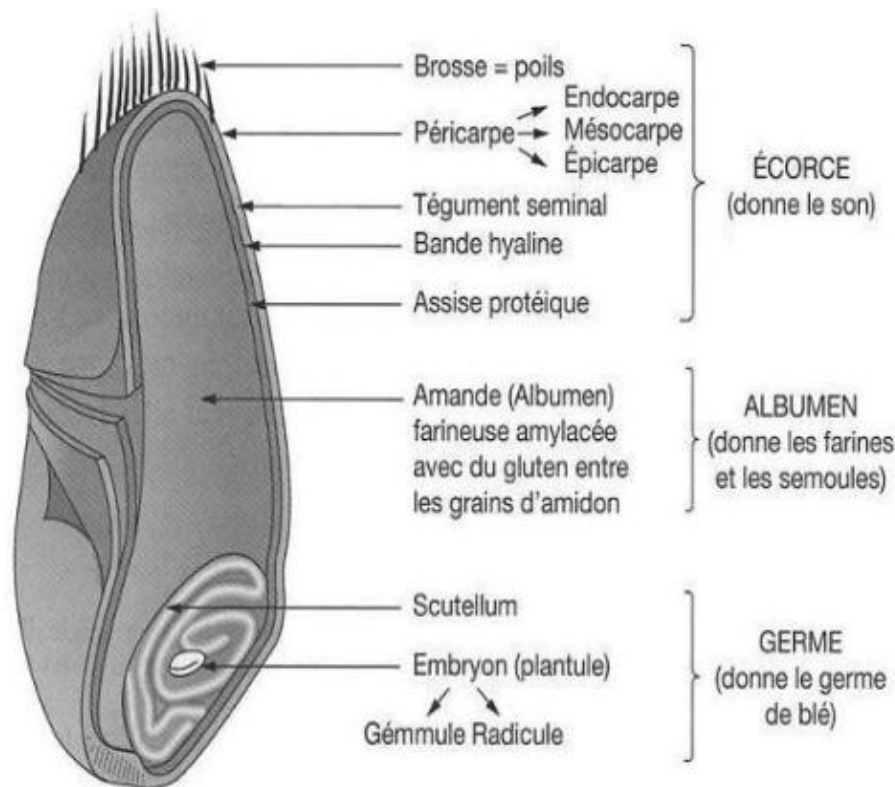


Fig 5: Anatomie du grain de blé (Fredot, 2005)

4-Variétés et catégories de blé

Il existe un large éventail de variétés de blé. Toutes les différentes variétés de blé peuvent être classées en trois grandes catégories

4-1 Les blés tendres

Les grains des blés sont arrondis, les enveloppes sont épaisses, sans transparence. Ils se prêtent particulièrement bien à la mouture ; en effet, lors du passage entre les cylindres, les enveloppes s'aplatissent et s'ouvrent sans se broyer, libérant l'amande et donnant une très forte proportion de son. Les blés tendres permettent d'obtenir une farine de bonne qualité, contenant environ 8 à 10 % de gluten, ayant de bonnes aptitudes pour la panification .par exemple : *Triticumaestivum*. (Abecassis, 1993).

4-2 Les blés durs

Cette catégorie de blé est cultivée dans les pays de climat chaud et sec. Les grains de blés durs sont allongés, souvent même pointus, les enveloppes sont assez minces et légèrement translucides. Ils donnent moins de son que les blés tendres et la farine obtenue, bien que

contenant plus de gluten (12 à 14 %), se prêtent moins bien à la panification .par exemple : *Triticum durum*. (Abecassis, 1993).

4-3 Les blés mitadins

Ces blés ont des caractéristiques et des qualités intermédiaires entre les blés tendres et les blés durs. Les grains sont plus plats que les grains de blé tendre et moins longs que ceux du blé dur. Les enveloppes assez résistantes sont d'une épaisseur moyenne. Contenant du gluten de très bonne qualité, les blés mitadins sont parfois employés comme des blés de force, mélangés à des blés tendres, ce qui donne des farines de très bonne qualité pour la panification. Par exemple : *Triticum turgidum ssp durum* (Abecassis, 1993).

5-Le stress hydrique

5-1 Définition de stress hydrique

Les risques liés au déficit hydrique sont de plus en plus fréquents et persistants, c'est une contrainte constante pour l'agriculture dans de nombreux pays de climat méditerranéen. Ils entraînent des pertes de rendement dans de nombreuses régions. En raison des changements climatiques causés par l'effet de serre (Witcombe , 2009)

Le stress hydrique peut être défini comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement. Il est important de noter que la réserve d'eau utile pour la plante correspond à la quantité d'eau présente dans le sol et accessible par son système racinaire. Selon (Passioura, 2004), le déficit hydrique se réfère à la situation où les plantes subissent une réduction de leur croissance et de leur production en raison d'un apport d'eau insuffisant.

5-2 Effet du stress hydrique sur la plante

Tous les processus de la plante sont affectés par un déficit hydrique, que ce soit le métabolisme, l'organogenèse (production d'organe par les méristèmes) et la morphogenèse (phénomène de différenciation et de croissance aboutissant à des organes matures) (Ney, 2006). Ainsi, un déficit hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa production par rapport au potentiel du génotype, Un déficit hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (Slama et al., 2005). Déficit hydrique induit aussi un déficit de la nutrition minérale (azotée et phosphatée) qui est dû principalement à des réductions de flux d'éléments

vers les racines ce qui a pour conséquence une réduction de la croissance des plants (Son et al., 2011).

5-3 Effet du stress hydrique 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).

L'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse est fortement affectée lors un déficit hydrique, est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire et dépend à la fois de la fermeture des stomates. (Maury et al., 2011). 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'ERO, et les peroxydases (POD) ; sont des enzymes qui jouent 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). En effet (Zarrad et al., 2009) montrent que le stress hydrique conduit à un stress oxydatif par production des espèces oxygènes réactives particulièrement le radical superoxyde et le peroxyde d'hydrogène.

5-4 Effet du stress hydrique sur le rendement du blé dur

Le rendement en grains chez le blé dépend fortement du nombre de grains par épi, du poids de grains par épi et du nombre d'épis par m². L'effet du déficit hydrique sur ces composantes, et par conséquent sur le rendement, dépend du stade au cours duquel ce déficit survient. Ainsi, un déficit hydrique à la montaison se traduit par la chute du nombre d'épis par m² la régression intense des talles et/ou la baisse du nombre de grains par épi (notamment par augmentation du taux d'avortement des épillets et l'induction de stérilité mâle) (Slama et al., 2005). Le stress hydrique provoque une diminution de l'indice foliaire et de la matière sèche.

Par ailleurs, la diminution de l'indice foliaire connaît son maximum à la floraison tandis que la réduction maximale de la matière sèche a lieu à la formation des grains.

Les rendements en grains et en biomasse sont fortement dépendants du niveau de stress hydrique dans le sol ; cela tend à conforter le fait que plus l'intensité du stress est forte, plus la chute de rendement est importante (**Karam et al., 2002**).

Face au déficit-de l'alimentation hydrique des cultures, la solution généralement retenue il y a une dizaine d'années était l'irrigation, du moins en culture intensive ; dans les autres cas, le risque de chute de rendement était considéré comme inévitable (**Reyniers et Jacquot, 1978**).

6-Le stress oxydatif et son origine

6-1 Définition stress oxydatif

Le terme "stress oxydatif" a plusieurs significations. Tout d'abord, il désigne l'état physiologique dans lequel la perte d'électrons (oxydation) dépasse l'acquisition d'électrons (réduction), entraînant des dommages chimiques oxydatifs aux composés cellulaires. Le stress oxydatif est donc associé à un déséquilibre sévère et à long terme de la réduction/oxydation, dû à un manque d'électrons. Deuxièmement, il s'agit d'un facteur de stress associé à plusieurs types de stress d'origine biotique ou abiotique, qui endommage les cellules et déclenche des réactions de signalisation et de défense. Ces deux définitions sont liées et peuvent être combinées (**Demidchik, 2014**)

L'accumulation d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) fait référence à l'augmentation de ces composés dans les plantes. Selon **SMIRNOFF (1993)**, ces substances sont générées lors du métabolisme normal des plantes, mais leur production est considérablement augmentée en cas de stress, tels que des niveaux lumineux élevés, des températures basses ou une sécheresse, comme l'explique (**W.Droge ,2002**).

Il est important de noter que la production accrue d'ERO est une conséquence du stress environnemental et non une caractéristique régulière du métabolisme des plantes. (**W.Droge ,2002**).

L'oxygène joue un rôle crucial en tant que source d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) dans les cellules végétales. Ces molécules ont des effets à la fois bénéfiques et délétères, pouvant conduire à la mort cellulaire. Les plantes ont développé des mécanismes de protection contre cette toxicité, tout en permettant aux ERO de participer aux réponses physiologiques. Plusieurs sources d'ERO sont présentes dans les différents compartiments cellulaires végétaux, et leur accumulation est régulée par des mécanismes spécifiques. (**W. Droge ,2002**)

Les EAO sont produites lors d'activités métaboliques telles que la photosynthèse et la respiration, et en réponse aux stress environnementaux. (Curtin, 2002).

La principale source est la chaîne de transporteurs des électrons de la machinerie photosynthétique (PS).

Au niveau du PSI, le transfert sur le dioxygène d'un électron provenant des transporteurs d'électrons produit l' $O_2^{\cdot -}$. A partir de cette première espèce formée, d'autres EAO sont produites. Cette réaction évite que les transporteurs d'électrons de la chaîne ne soient trop réduits, limitant ainsi le phénomène de photo inhibition.

Cependant, dans les conditions des stress environnementaux, la production d'EAO lors de la photosynthèse devient néfaste pour la cellule. Au niveau de la mitochondrie, les transporteurs d'électron de la chaîne respiratoire sont également susceptibles de céder un électron au dioxygène pour former $O_2^{\cdot -}$. Ces réactions dites d'auto-oxydation des complexes d'électrons de la chaîne respiratoire permettraient de dissiper un excès d'électrons. Le peroxydase est également une source d'EAO. Lors de la photo respiration, le ribulose 1.5 bisphosphate carboxylase/oxygénase peut utiliser le dioxygène pour produire deux glycolate à partir du le ribulose 1.5 bisphosphate. Le glycolate est alors transporté depuis le chloroplaste jusqu'au peroxydase. La glycolate peroxydase produit alors le peroxyde d'hydrogène en transformant le glycolate en glyxylate. Dans cet organelle la B acide gras oxydase et la xanthine oxydase sont également des enzymes produisant respectivement H_2O_2 et $O_2^{\cdot -}$. (Mittler, 2004) voir (figure 06)

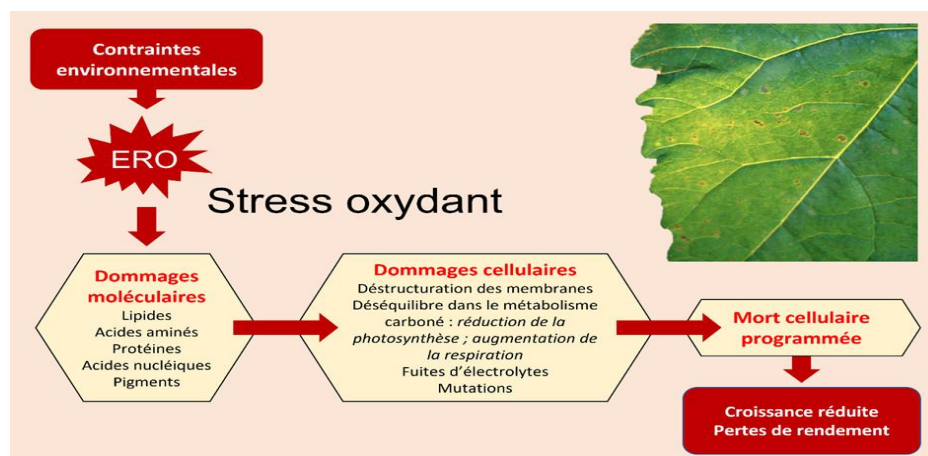


Fig 6:le stress oxydatifs [2]

6-2 Conséquences du stress oxydatif :

Le stress oxydatif se traduit par des dommages oxydatifs de l'ensemble des Constituants cellulaires : les lipides avec une perturbation des membranes cellulaires, les protéines avec l'altération des récepteurs et des enzymes, les acides nucléiques avec un risque de mutation, voir (figure 07) (Sergent et al., 2001).

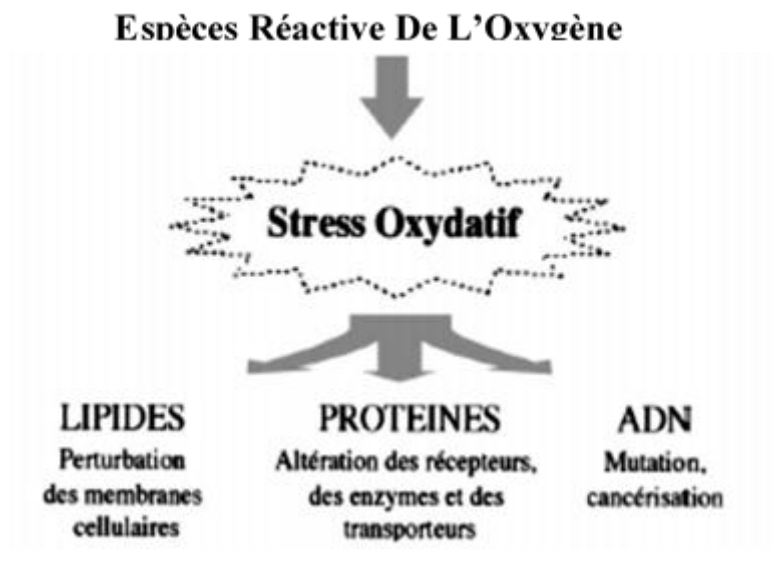


Fig 7: Dommages oxydatifs (Sergent et al., 2001).

6-2-1 La peroxydation lipidique (LPO)

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

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

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

- Des dommages aux protéines membranaires.
- Une diminution de la fluidité de membrane.

- Une augmentation de la charge négative de la surface permettant aux phospholipides les échanges entre les deux moitiés de la bicouche lipidique.

Observe ainsi une inactivation des récepteurs, des enzymes et des canaux ionique et normalement une augmentation de la perméabilité de la membrane à substances que ne la traversent normalement que par canaux spécifique (**Gill et Tutega, 2010**).

L'ensemble du processus de LPO comporte trois étapes distinctes : l'initiation, la propagation et la terminaison (**Fam et Morrow, 2003**).

6-2-2 Oxydation des protéines

Les acides aminés, à la fois libres et dans les protéines, sont la cible de dommages oxydatifs (**Burton et Jauniaux, 2011**).

Les protéines les plus sensibles aux attaques radicalaires sont surtout celles qui comportent un groupement sulfhydryle (**Leverve et al., 2001**).

L'oxydation des protéines peut provoquer une fragmentation au niveau des résidus d'acides aminés, la formation de liaisons croisées protéine-protéine et l'oxydation du squelette protéique qui conduit finalement à une perte de fonction. Ces réactions entraînent une altération des protéines structurales ou une altération des fonctions enzymatique (**Finaud et al., 2006**).

Les modifications des structures primaire, secondaire et tertiaire des protéines par les EOA sont à la base de la formation de dérivés protéiques carbonylés via plusieurs mécanismes incluant la fragmentation et l'oxydation des acides aminés (**Pincemail et al.1999**).

Ces réactions d'oxydation, fréquemment influencées par les cations métalliques comme le Cu^{2+} et le Fe^{2+} , peuvent être classées en deux catégories :

1°) celles qui cassent les liaisons peptidiques

2°) les modifications des peptides par l'addition de produits issue de la peroxydation lipidique. Ces changements sont tels qu'ils conduisent à une modification structurale des protéines dont les conséquences sont majeures (perte de fonction catalytique, augmentation de la sensibilité aux protéases.) (**Ait Yahia et Zemmoura, 2014**).

6-2-3 Oxydation d'ADN

L'ADN est le matériel génétique de la cellule et tout dommage à l'ADN peut entraîner des changements dans les protéines codées, ce qui peut entraîner des dysfonctionnements ou

une inactivation complète des protéines codées (**Sharma et al., 2012**). La molécule ADN constitue une cible cellulaire importante pour les attaques radicalaires (**Leverve et al., 2001**).

L'ADN mitochondrial est particulièrement vulnérable à une attaque par les ERO, en raison de sa proximité aux complexes. Les dommages de l'ADN mitochondrial sont vastes, même dans les conditions normales, et les mutations se produisent cinq à dix fois plus que le taux observé dans l'ADN nucléaire. L'ADN est attaqué principalement par les radicaux OH, et une variété de produits peuvent être générés par des réactions avec les bases de l'ADN ou les sucres désoxyribose (**Burton et al., 2011**).

6-2-4 Dommage de l'ADN

Les ERO peuvent causer la suppression des bases, la formation des dimères de pyrimidine, la rupture des brins d'ADN, les modifications des bases par leur alkylation et leur oxydation (**Tuteja et al., 2009**).

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

7-Les espèces réactives de l'oxygène

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) sont des dérivés de l'oxygène qui possèdent des électrons dans un état énergétique instable et hautement réactif. Elles constituent la principale classe d'espèces réactives produites dans les organismes vivants et sont la principale cause du stress oxydatif (**Valko et al., 2007**). Parfois appelées espèces oxygénées actives (EOA), elles englobent à la fois les dérivés radicalaires de l'oxygène et d'autres composés non radicalaires à forte réactivité (**Asada, 2000 ; Edreva, 2005**). Il est parfois fait référence à certaines espèces réactives de l'azote (ERA) car elles contiennent un atome d'oxygène et présentent des caractéristiques similaires aux ERO en termes de radicalité, d'oxydation et de régulation par l'organisme vis-à-vis du stress oxydatif (**Smirnoff, 2005**).

7-1 La formation des espèces réactives de l'oxygène

Les végétaux produisent différentes variétés d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) à des états physiologiques. Lorsqu'ils sont confrontés à un stress oxydatif, toutes les ERO ne sont pas également réactives, leur réactivité dépendant de la nature spécifique du radical. On peut distinguer plusieurs types de radicaux formés chez les végétaux

- ❖ Anion superoxyde ($O_2^{\circ\ominus}$)
- ❖ Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2)
- ❖ Radical hydroxyle ($HO^{\circ\ominus}$) (Smirnoff, 2005)

7-2 Les radicaux libres

Les radicaux libres sont des espèces chimiques qui existent indépendamment et contiennent des électrons non appariés. Parmi ces radicaux, on trouve le radical superoxyde ($O_2^{\circ\ominus}$), le radical perhydroxyle (HO_2^{\bullet}), le radical hydroxyle ($\bullet OH$), le radical peroxyde (RO_2^{\bullet}) et le radical alcoxyle (RO^{\bullet}). Certains radicaux libres ne contiennent pas d'atomes d'oxygène, tels que les métaux de transition ou les radicaux centrés sur le carbone. Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) favorisent le stress oxydatif en oxydant les composés cellulaires voir (Figure 08)

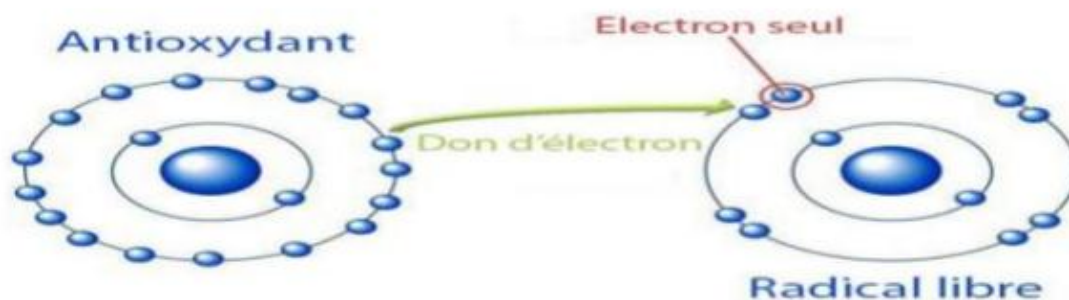


Fig 8: Neutralisation d'un radical libre par un antioxydant (Carange, 2010).

7-3 Les type de radicaux libres

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) peuvent être classées en deux catégories : les radicaux centrés sur l'oxygène et les radicaux non centrés sur l'oxygène. Les radicaux centrés sur l'oxygène comprennent l'anion superoxyde ($O_2^{\bullet-}$), le radical hydroxyle (OH^{\bullet}), le radical alcoxyle (RO^{\bullet}) et le radical peroxyde (ROO^{\bullet}). D'autre part, les radicaux non centrés sur l'oxygène incluent le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et le singlet oxygène (1O_2). Il existe

également d'autres espèces réactives, telles que les espèces azotées, notamment l'oxyde nitrique ($\text{NO}\cdot$), le dioxyde nitrique ($\text{NO}_2\cdot$) et le peroxydinitrite (OONO^-) (Lee et al., 2004). Dans les systèmes biologiques, les ERO sont généralement associés aux radicaux libres, tandis que l'oxygène moléculaire (O_2) et le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) sont considérés comme des composés non radicalaires. Voir (Figure 09), (El-Bahr, 2013).

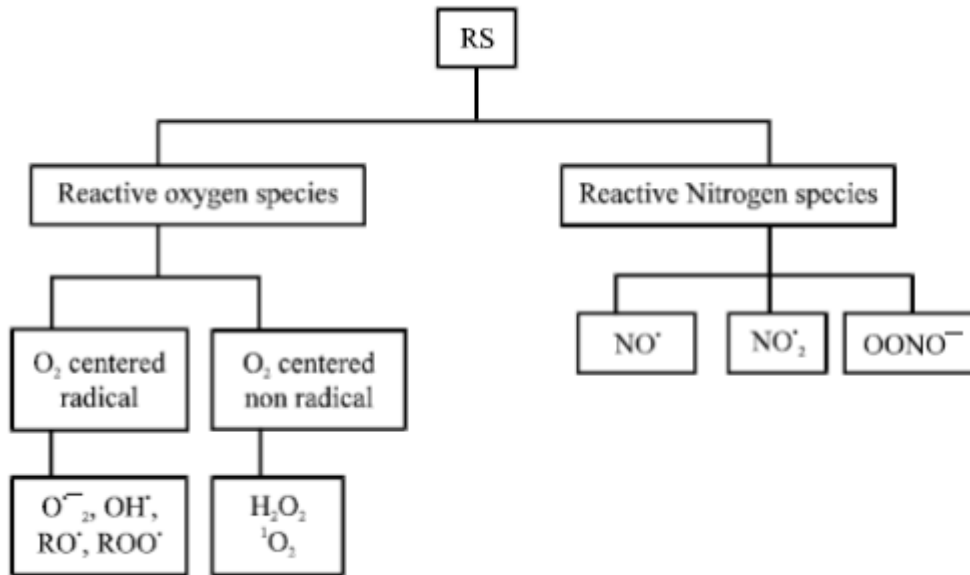


Fig 9: Classification des radicaux libres (El-Bahr, 2013).

7-4 Sources des radicaux libres

Le ERO peut être produit à partir de cellules endogènes ou sources exogènes (Phaniendra et al., 2014) Comme on peut voir dans la (Figure 10)

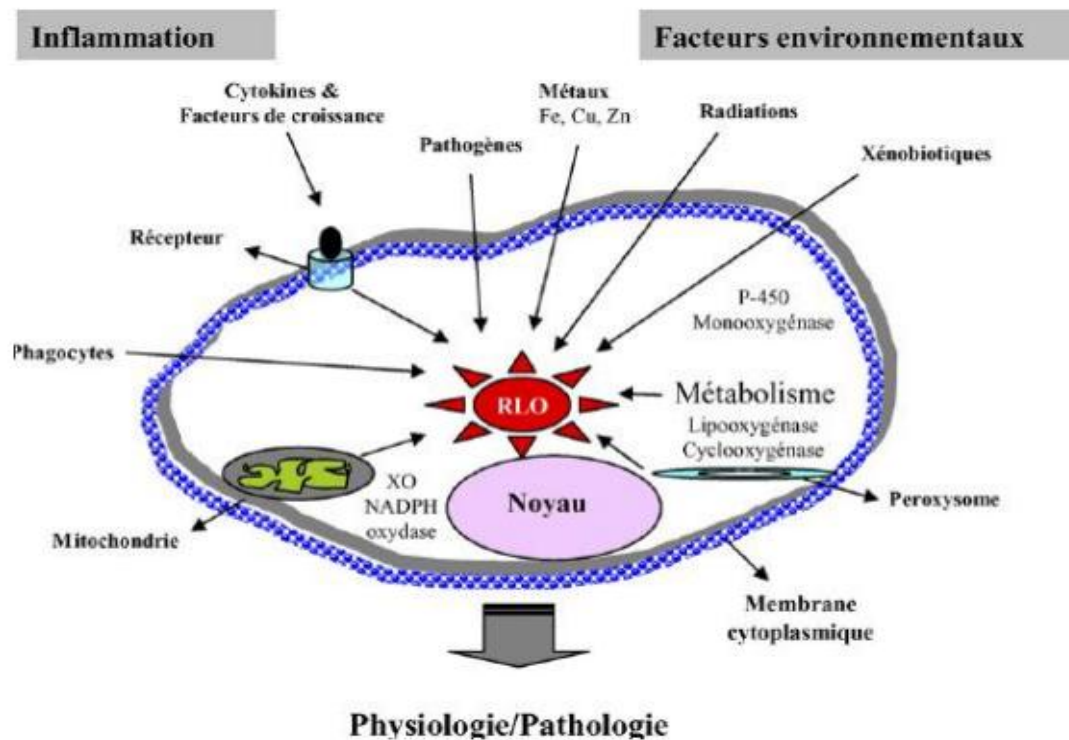


Fig 10: Origine extra- et intracellulaire des radicaux libres dérivés de l'oxygène. XO : xanthine oxydase ; P-450 : cytochrome P-450 (Afonso et al., 2007).

A- Les sources endogènes

Différents organes cellulaires, tels que les mitochondries, les peroxysomes et le réticulum endoplasmique, sont des sources endogènes d'ERO. Ces organes présentent une consommation d'oxygène élevée, ce qui favorise la production de ERO (Phaniendra et al., 2014)

- Mitochondrie

La mitochondrie joue un rôle crucial dans la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) au sein de la cellule. Environ 80% de l'anion superoxyde, un type d'ERO, est généré par la chaîne respiratoire mitochondriale dans les cellules non phagocytaires (Carrière et al., 2006).

Ces ERO mitochondriales sont étroitement liées au fonctionnement de la chaîne respiratoire et agissent comme des capteurs environnementaux, permettant aux cellules de s'adapter aux fluctuations de leur environnement (Carrière et al., 2006). Lors de la production d'adénosine triphosphate (ATP) et d'eau par les mitochondries, de faibles concentrations

d'oxygène sont produites, ce qui entraîne la formation précoce de radicaux libres de l'oxygène (AbdalDayem et al., 2017).

Les complexes I et III de la chaîne respiratoire mitochondriale sont des sites de production d'anion superoxyde, où environ 1 à 2% du flux d'électrons est dérivé vers la réduction de l'oxygène moléculaire (Bucher, 2019).

La chaîne respiratoire mitochondriale fonctionne de la manière suivante : les complexes I et II peuvent recevoir des électrons du NADPH et de l'acide succinique respectivement, puis les transférer à la coenzyme Q (CoQ) tout en pompant simultanément des protons. Ensuite, le complexe III transfère les électrons de la CoQ au cytochrome C (Cyt c). Enfin, le complexe IV transfère les électrons à l'oxygène, produisant de l'eau. Ce processus génère un gradient de protons, qui favorise la synthèse d'ATP. Cependant, si le complexe III ne peut pas recevoir d'électrons de la CoQ, les électrons peuvent être acceptés par l'oxygène, ce qui entraîne la production d'ERO et un stress oxydatif voir(figure 11)(Li et al., 2017)

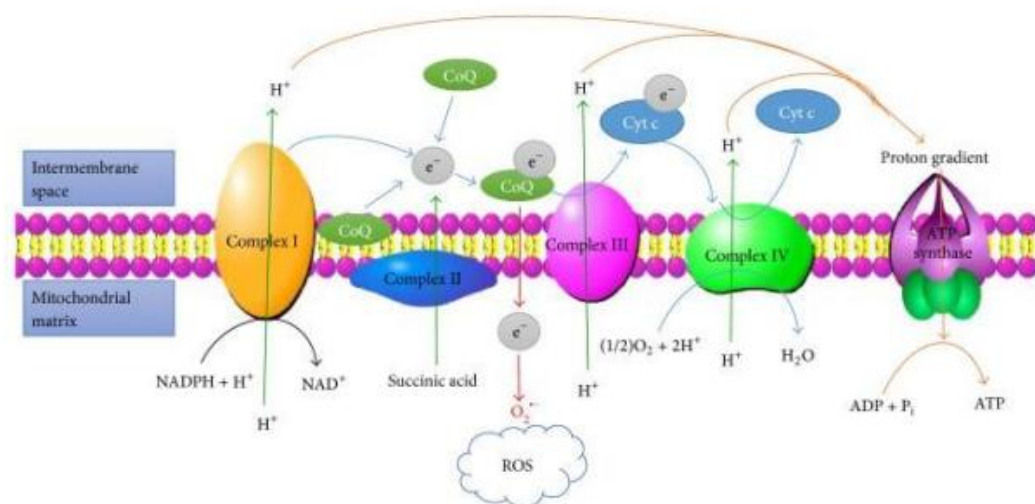


Fig 11 : Le transport d'électrons dans la chaîne respiratoire mitochondriale et la production de ROS (Li et al., 2017)

- Peroxysomes

Les peroxysomes sont des organites qui présentent une structure similaire à celle des lysosomes, mais de taille plus petite (Tortora et Derrickson, 2016).

Ils contiennent des enzymes qui catalysent l'oxydation de substrats organiques spécifiques (R) en enlevant des atomes d'hydrogène en présence de dioxygène : $RH_2 + O_2 \rightarrow R' + H_2O_2$ (Desassis et Laboussset-Piquet, 2009).

La peroxydation, une réaction dans laquelle le peroxyde d'hydrogène oxyde d'autres substrats grâce à l'enzyme catalase, se produit également dans les peroxysomes : $H_2O_2 + R'H_2 \rightarrow R' + 2H_2O$ (Desassis et Laboussset-Piquet, 2009). Une autre source de radicaux oxygène est la β -oxydation peroxysomale des acides gras, qui génère du H_2O_2 comme sous-produit (Beckman et Ames, 1998).

Les peroxysomes possèdent des concentrations élevées de catalase, et il n'est donc pas clair si les fuites de H_2O_2 des peroxysomes contribuent de manière significative au stress oxydant (Beckman et Ames, 1998), voir (figure 12)

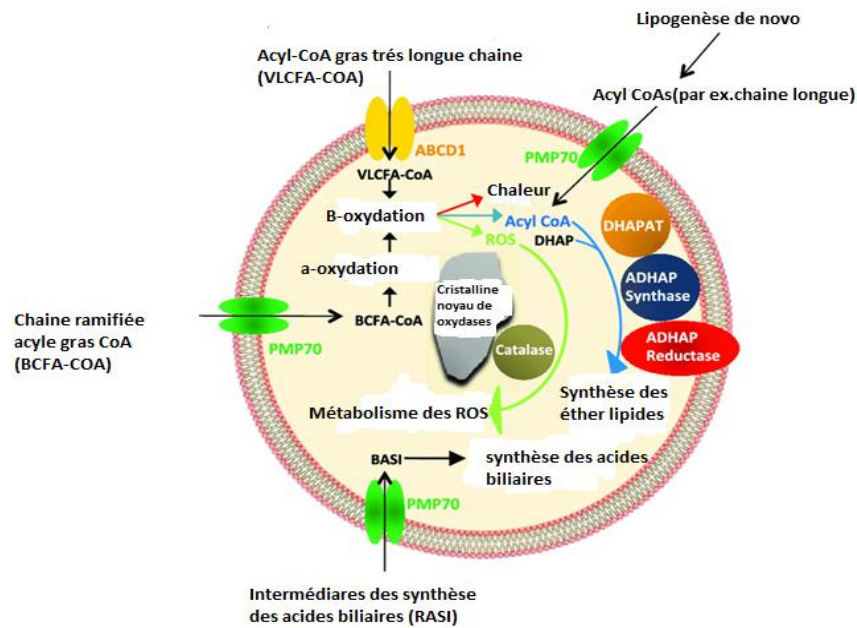


Fig 12: Structure et fonctions des peroxysomes [3]

- Chloroplastes

Les chloroplastes sont les organites où se déroule la photosynthèse chez les plantes supérieures et les algues. Ils sont composés d'un système membranaire hautement organisé appelé les thylakoïdes. La présence de centres réactionnels de production des espèces réactives de l'oxygène (ERO) tels que le triplet de chlorophylle dans la chaîne de transport des électrons (CTE) des photosystèmes I et II fait des chloroplastes un site majeur de production des ERO (O_2^- , $1O_2$ et H_2O_2) (Benhamdi, 2014).

La majorité des ERO est généralement produite dans les chloroplastes (Asada, 1999).

La CTE des thylakoïdes du chloroplaste est considérée comme la principale source d'ERO chez les plantes supérieures (**Ivanov et Khorobrykh, 2003**).

Le photosystème I (PSI) est une source primaire de génération d' $O_2^{\cdot-}$. Pendant la photosynthèse, l' O_2 est continuellement réduit en $O_2^{\cdot-}$ par le PSI, et l' $O_2^{\cdot-}$ est rapidement converti en H_2O_2 et O_2 par la Cu-Zn-SOD liée au PSI. Le photosystème II (PSII) est un important générateur de l' O_2 . Pendant la photosynthèse, l'oxygène à l'état fondamental (3O_2) est continuellement excité en 1O_2 par la chlorophylle excitée en état triplet ($^3P_680^*$) dans le centre réactionnel du PSII (**Lu et Yao, 2018**). Voir (**figure 13**)

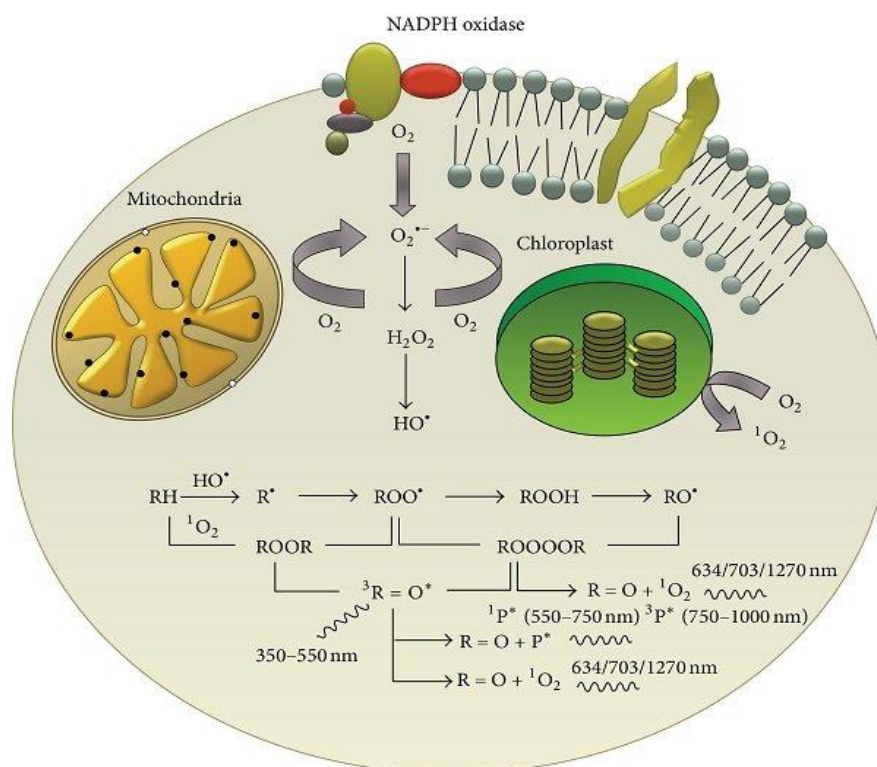


Fig 13: un modèle montrant la formation des espèces réactives de l'oxygène dans le chloroplaste [4]

-Autres sources des radicaux libres dans la cellule

Il existe d'autres sources importantes de production des ERO dans les plantes, telles que les réactions de désintoxication catalysées par le cytochrome P450 dans les cytoplasmes et dans le réticulum endoplasmique et les réactions de réduction catalysées par l'oxalate oxydase et l'amine oxydases dans l'apoplaste des cellules végétales (**Gill et Tuteja, 2010**).

B- Les sources exogènes Sources externes telles que l'exposition aux rayons X, à l'ozone, aux polluants atmosphériques et aux produits chimiques industriels (**Lobo et al., 2010**).

Chapitre II
Matériel et Méthodes

1- Matériel végétal

Au début de l'expérience trois variétés de blé dur ont été choisies pour cette étude : Palesio, Core et Mimmo.

La variété de blé Mimmo n'a pas germé, c'est pour quoi elle a été écartée.

Sources des graines :

Les graines ont été procurées par la SRPV de El Taref.

Ce sont des variétés destinées à résister aux maladies fongiques.



Fig 14: Les 2 variétés de blé ((photographie))

2- Caractéristiques des variétés utilisées

Les caractéristiques des variétés utilisées sont regroupées dans les tableaux suivants :

Tableau 1:Caractéristique morpho- physiologie de la variété Core (SIS Societa Italiana Sementi)

Caractéristiques morpho-physiques	
Temps d'écoute :	mi -précoce
Taille de la plante :	taille moyenne
Résistance	
Hébergement :	moyen
Froid :	moyen
Oïdium :	bon
Rouille brune :	moyen
Sectorise :	moyen
Fusarium spp :	moyen
Caractéristiques de qualité	
TKW :	53-58g
Poids en hectolitre :	élevé
Indice jaune :	bon
Teneur en protéines :	bonne
Ténacité du gluten :	excellente

- Très bonne adaptabilité.
- Bonne résistance aux hautes températures.

Tableau 2: Caractéristique morpho- physiologie de la variété Palesio (SIS Societa Italiana Sementi)

Caractéristiques morpho-physiologiques	
Cycle	Alternative
Temps d'oreille	Tôt
Taille de la plante	Moyen
Type d'oreille	Blanc , Avec arêtes

Résistance	
Hébergement	MEDIUM - RESISTANT
Gel	MEDIUM - RESISTANT
Tolérance	
Oïdium	MEDIUM - RESISTANT
Rouille brune	MEDIUM – RESISTANT- MEDIUM – SENSIBLE
Rouille jaune	RESISTANT
Espèces de Fusarium	4
Caractéristiques de qualité	
Gagner de la couleur	Rouge
Twk	42-47g
Poids hectolitrique	Moyen-élevé
Rusticité	Moyen

3- Conduite et suivis des essais

Ce travail s'est fait à l'Université de 8 Mai 1945 Guelma, Faculté de science de la vie et de la nature et science de la Terre et de l'Univers.

Le déroulement du travail est devisé en deux parties :

- L'animalerie et la serre de l'université, pour le semi des grains, la croissance des plantes obtenues et l'application du stress,
- Le laboratoire n8 pour l'étude des paramètres physiologiques et biochimiques.

4-Expérimentation 01 :(Application du stress hydrique sous serre)

L'expérimentation est conduite sous serre durant 40 jours

4-1 Mise en place du dispositif expérimental

Des pots en plastiques de (15) cm de diamètre et de (13) cm de hauteur sont remplis par une quantité de 600g de sol agricole.

4-2 Préparation des pots et le semi

Les pots ont été remplis par 600g de mélange de sol agricole (KEKKILA PROFESSIONAL), fournit par le laboratoire de l'Université 8 mai 1945 de Guelma.

Deux variétés de blé Core et Palesio ont été utilisées.

Les pots sont répartis au nombre de 16 pour chaque variété de blé, à raison de 20 graines de blé pour chaque pot.

Chaque pot est arrosé par 400 ml pendant 3 jours par semaine durant 15 jours.

4-3 Application du stress hydrique

Après 15 jours de semis, nous avons appliqué les différents niveaux de stress hydrique aux plantes.

Ils sont répartis en deux blocs (A,B) chaque bloc traité par quatre niveaux de stress (100%, 37.5%, 18.75%, et 12.5%) avec 4 répétitions pour chaque niveau.

Le dispositif est expliqué dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Plan expérimental



T0	C R1	C R2	C R3	C R4
T1	C R1	C R2	C R3	C R4
T2	C R1	C R2	C R3	C R4
T3	C R1	C R2	C R3	C R4

B

T0	P R1	P R2	P R3	P R4
T1	P R1	P R2	P R3	P R4
T2	P R1	P R2	P R3	P R4
T3	P R1	P R2	P R3	P R4

C : Core , P : Palesio , (R1-R4) : répétition 1-4 , A : bloc A, B : bloc B,

T0 : témoin 100% (400 ml),

T1 : traitement par 75% (150ml),

T2 : traitement par 50% (75 ml),

T3 : traitement par 25%(50 ml),



Fig 15: Plante blé dur variétés Core et Palesio (photographie)

4-4 Paramètres étudiés

4-4-1 Dosage des Pigments Chlorophylliens

Les teneurs moyennes en chlorophylle a et b sont déterminées par la méthode **de Rao et le blanc(1965)**. L'extraction de la chlorophylle est réalisée par broyage de 0.5g de matière fraîche de la feuille de chaque échantillon qui est additionnée de carbonate de calcium et d'acétone (20ml à 80%). La solution obtenue est filtrée à l'abri de la lumière pour éviter l'oxydation de la chlorophylle. On procède ensuite aux mesures de la spectrophotométrie à deux longueurs d'onde (21-645 et 22-663nm). Le calcul de la qualité de la chlorophylle est obtenu par la formule suivante :

Chl a: $12,7 (DO\ 663) - 2,69 (DO\ 645)$.

Chl b: $22,9 (DO\ 645) - 4,86 (DO663)$.

4-4-2 Dosage des sucres solubles

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode au phénol de (**Dubois et al., 1956**). Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche, placées dans des tubes à essais, on ajoute 3 ml d'éthanol à 80%

Pour faire l'extraction des sucres. On laisse à température ambiante pendant 48h à l'obscurité. Au moment du dosage les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool. Dans chaque tube on ajoute 20ml d'eau distillée à l'extrait. C'est la solution à analyser. Dans des tubes à essais propres, on met 2ml de la solution à analyser, on ajoute 1ml de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée); on ajoute rapidement 5ml d'acide sulfurique concentré 96% tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube. On obtient, une solution jaune orange à la surface, on passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. On laisse les tubes pendant 10mn et on les place au bain-marie pour 10 à 20mn à une température de 30°C (La couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures.). Les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'ondes de 485 nm.

-La courbe d'étalonnage est réalisée selon l'équation suivante :

$$Y = 3,868X$$

4-4-3 Dosage de la proline

Selon Troll et Lindsaley modifié par Dreier et Goring in (**Merabta S, 2019**) ;

100mg de matière fraîche (1/3 médian de feuille, peser, couper en petits morceaux) dans un tube à essai. On ajoute 2ml méthanol à 40 %, chauffé eau bain Marie à 85 degrés, pendant 60 minutes (fermer les tubes hermétiquement avec du papier aluminium, durant le chauffage)

Après refroidissement de la solution, on prend 1ml de la solution de chaque tube y rajouter 2 ml acide acétique et 1ml d'une solution préparée de (120 ml eau distillée, 300ml acide acétique CH₃COOH, 80ml acide orthophosphorique (HPO₄d=1.7) et 25 mg de ninhydrine.

Porter à ébullition à 100 degrés pendant 30 minute. 1^{er} résultat ; virement de la solution au rouge, on rajoute 5ml de toluène à la solution qui est agitée (pour séparation de phase) 2^{ème} résultat ; les hases se séparent, on prend la supérieure qui contient la proline, l'inferieure est transparente n'en contient pas Les phases séparées, la solution obtenues est déshydratée par l'ajout d'une spatule de sulfate de sodium Na₂S₀₄ anhydre (éliminer l'eau)

Ensuite on détermine la DO à 528

Le zéro est réglé par le blanc ; 1ml éthanol à 40 %, plus 1ml d'acide acétique, 1ml du mélange plus 25 mg ninhydrine.

4-4-1-4 Dosage de l'activité du superoxyde dismutase (Test au bleu de méthylène)

Le superoxyde dismutase (SOD), est une enzyme qui élimine les radicaux superoxydes produits par les MRO. Le bleu de méthylène est réduit par les radicaux superoxydes pour former un produit coloré.

On prépare une solution de bleu de méthylène à 16 mM dans de l'eau distillée. Diluer l'échantillon de cellules ou de tissus avec du tampon de phosphate salin (PBS). Pour obtenir une concentration appropriée. Ajouter un volume équivalent de méthylène bleu (16 mM) à l'échantillon et incubé à 37°C pendant 20 minutes. Ajouter un volume équivalent de tampon de glycine-NaOH (pH 10,4) pour arrêter la réaction. Centrifuger l'échantillon pour éliminer les débris cellulaires. Mesurer l'absorbance à 670 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. (**Marklund S et Marklund G, 1974**)

Chapitre III
Résultats et Discussion

1-Paramètres biochimiques

1-1 Dosage des Pigments Chlorophylliens

- Chlorophylle (a)

-Variété Core

Dans cette variété les teneurs chlorophylliennes sont en fluctuations :

Après la valeur de 1.605 pour le témoin, on note une légère diminution dans le 1er traitement (75%) 1.164, puis une augmentation au 2ème (50%) jusqu'à 1.600, l'augmentation continue jusqu'à 2.243 dans le dernier traitement (25%). (Voir figure 17)

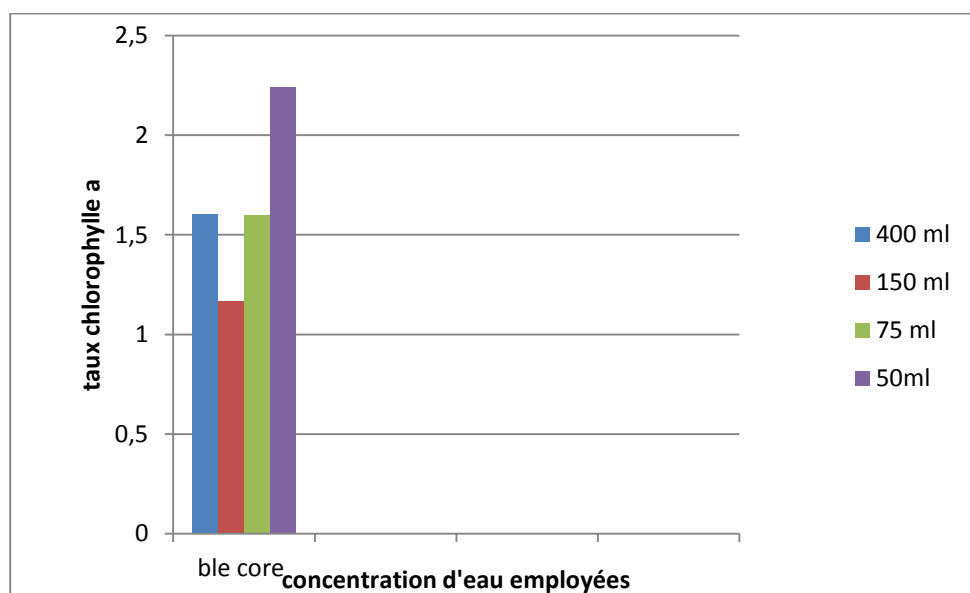


Fig 16: Variation de la teneur en **chlorophylle a** chez la variété de blé Core étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique.

-Variété Palesio

La chlorophylle enregistrée dans cette variété suit une augmentation dans les concentrations selon les traitements.

Le témoin à 1.059, le 1^{er} traitement (75%) à 1.422, puis le traitement à 50% la valeur de 1.880 et enfin le dernier (25%) elle atteint 1.971. (Voir figure 18)

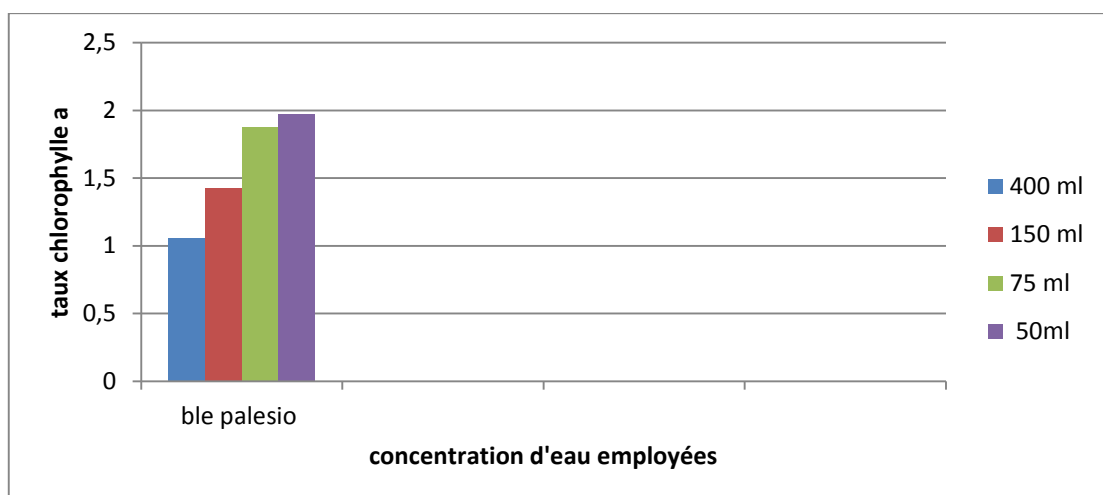


Fig 17: Variation de la teneur en **chlorophylle a** chez la variété de blé Palesio étudiée

En fonction de l'intensité du stress hydrique

-Chlorophylle (b)

-Variété Core

Les teneurs en chlorophylle b suivent le même parcours que la chlorophylle a : Pour le témoin la valeur est de 6.556 après une diminution dans le 1er traitement à 4.782, des augmentations de 6.322 et 9.015 dans le 2eme et le dernier traitement (25%) sont enregistrés.

De façon générale, les 2 variétés ont des comportements différents par rapport à la quantité de chlorophylle, chez Palesio et Core, la concentration de la chlorophylle augmente avec le stress. (Voir figure 20)

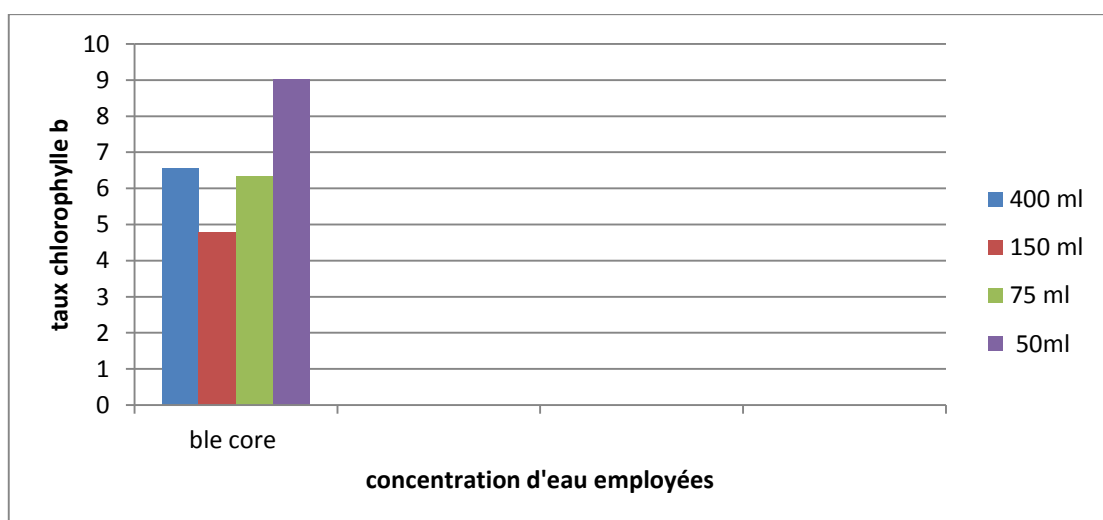


Fig 18: Variation de la teneur en **chlorophylle b** chez la variété de blé Core étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique.

-Variété Palesio

Les teneurs en chlorophylle b chez cette variété sont pareils que la chlorophylle a : Chez le témoin la valeur de 4.480, elle augmente avec les traitements de façon croissante ; dans le 1er traitement 5.940, le 2eme 7.019 et enfin le dernier 8.125.(voir figure 21)

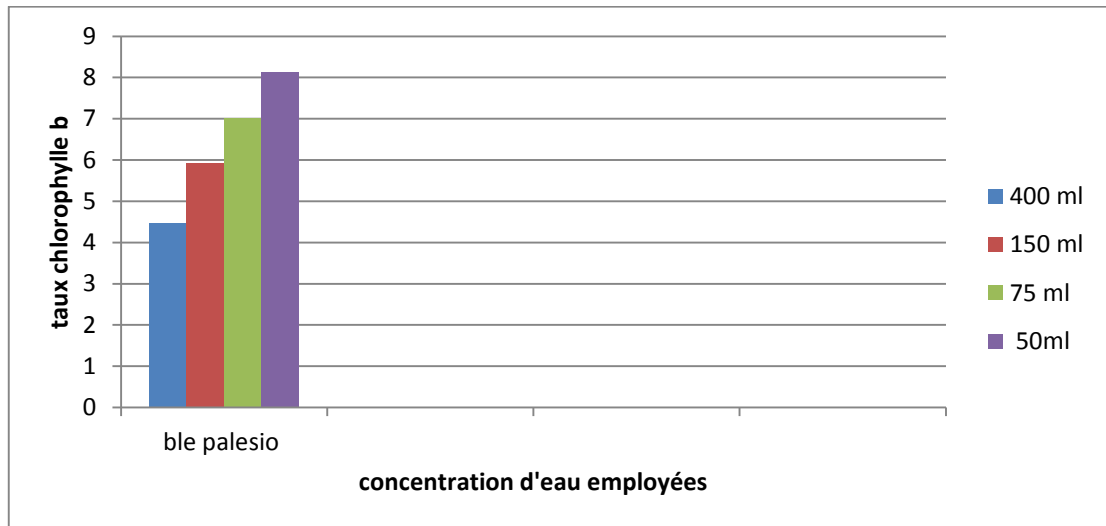


Fig 19: Variation de la teneur en **chlorophylle b** chez la variété de blé Palesio étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique.

Discussion :

Les concentrations des pigments photosynthétiques sont souvent mesurées pour évaluer l'impact de nombreux stress environnementaux. L'étude des résultats, des concentrations en chlorophylles (a et b) chez les deux variétés dans ce travail montrent des changements (fluctuations inhabituelles)

Selon (**Ernez et Lannoye ., 1991**), l'altération de l'état physiologique des plantes, causée par des conditions défavorables de l'environnement, se reflète rapidement au niveau des signaux lumineux et thermiques émis par les feuilles. Pour limiter les pertes en eau par évaporation et aussi l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse, l'économie de l'eau se traduit par une turgescence relative moins affectée par le stress conduisant à une diminution de la chlorophylle (**Mouellef, 2010**). Lorsque la plante subit un stress, le niveau de Chlorophylle diminue, affectant la coloration de la plante et ralentissant ses activités de croissance. Le taux de la chlorophylle totale diminue corrélativement au temps d'évolution de stress. (**Hikosaka et al., 2006**)

L'origine des fluctuations enregistrées des résultats qui sont des fois en croissance et des fois en diminution au fur et à mesure que les concentrations de stress augmentent, est un cas inhabituel, mais l'explication peut être reliée aux graines de blé utilisées dans cette expérimentation. La qualité de certaines graines n'étaient pas bonnes, et n'ont pas germé ce qui a entraîné des changements dans les nombres de graines obtenus dans chaque lot de concentration. Après l'application des traitements hydriques pour chaque concentration, les pots n'avaient pas le même nombre de plant à cause de ces graines défectueuses, spécialement chez la variété de Palesio.

La variété de Core ayant eu de meilleurs comportements, mais toujours avec des fluctuations.

1-2-Dosages des sucres solubles

Le dosage des sucres solubles chez les deux variétés a révélé qu'elles ont réagi de la même manière face au stress. Plus la quantité d'eau appliquée diminue, la quantité des sucres totaux augmente, avec des valeurs différentes pour chaque variété.

Les données obtenues sont comme suit :

-Variété Core

La concentration des sucres solubles enregistrée pour cette variété est comme suit : Chez le témoin on a 1.018($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$), on note une légère baisse à 0.981($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) au traitement de (75%), dans les deux derniers traitements de (50%) et (25%) on a 1.304($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$), et 1.445($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) respectivement (voir figure 24)

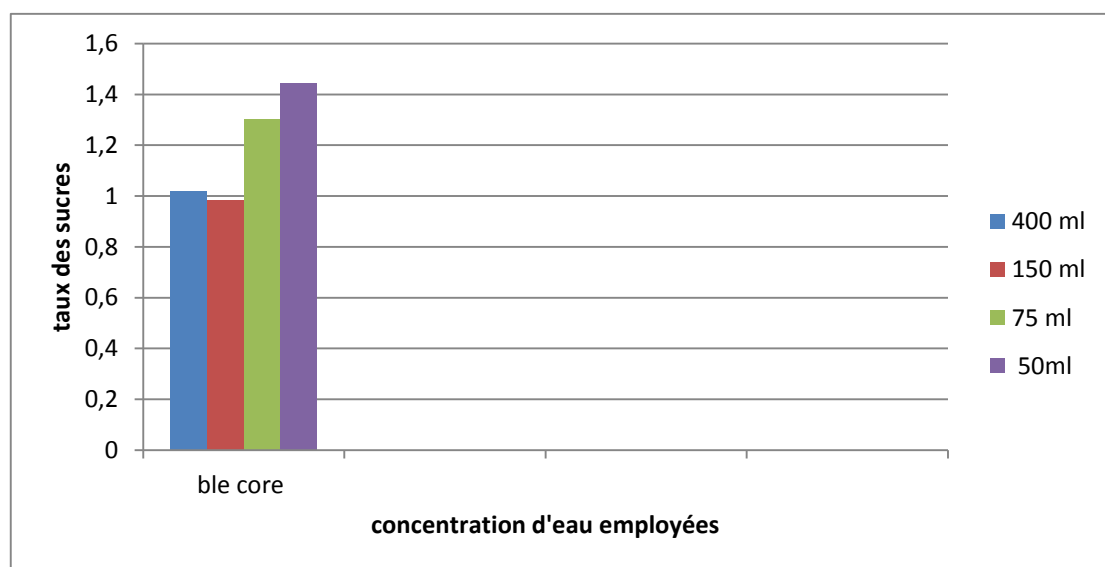


Fig 20: Variation de la teneur des sucres solubles chez la variété Core étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique.

-Variété Palesio

Dans cette variété l'accumulation des sucres commence avec la concentration de 0.905 ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) chez le témoin, et augmente au fur et à mesure que le stress augmente et donne 1.134($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$), 1.447($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$), et enfin 1.648($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) (voir figure 23)

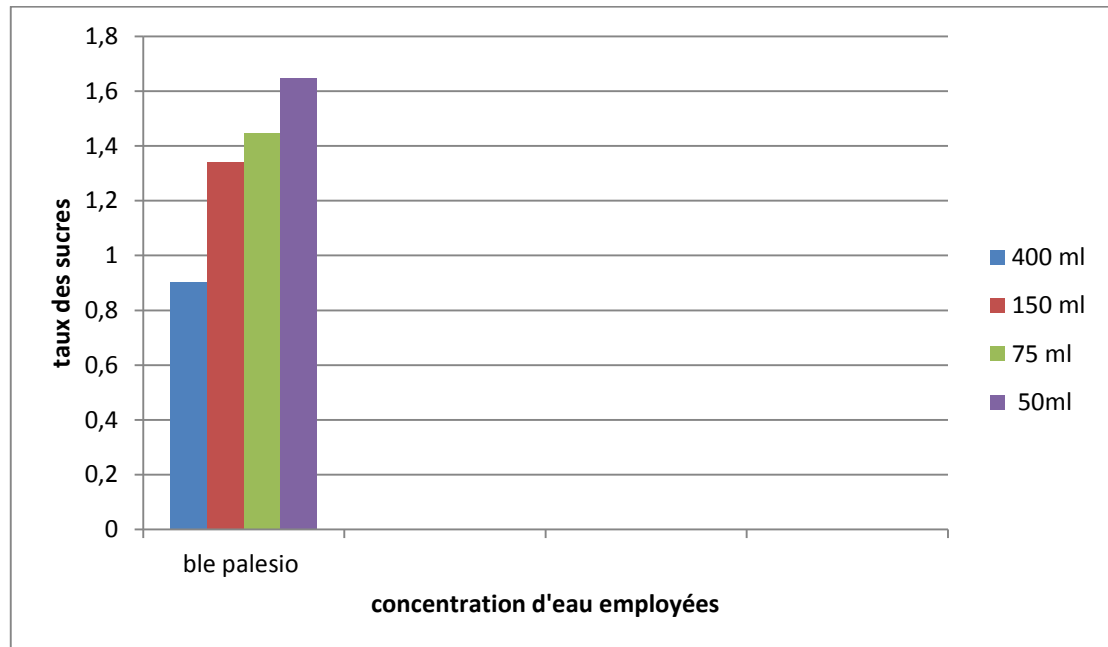


Fig 21: Variation de la teneur des sucres solubles chez la variété **Palesio** étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique

Discussion

Les résultats obtenus montrent que le déficit hydrique a induit des accumulations des sucres solubles au niveau des feuilles chez les deux variétés, ces teneurs diffèrent entre les deux variétés

L'accumulation des sucres est considérée comme étant un bonosmo régulateur qui joue un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes à la sécheresse (**Slama, 2002**). Cette accumulation protège les membranes des plantes contre la déshydratation, en condition de déficit hydrique, et participent en grande partie à l'abaissement du potentiel osmotique chez le blé.

Les plantes stressées des variétés Core et Palésio ont réagi par l'augmentation des quantités de sucres solubles au niveau de leurs cellules au fur et à mesure que le stress augmente, cette augmentation confirme les résultats obtenus des chercheurs qui affirment que le déficit hydrique cause une accumulation importante des sucres solubles au niveau des feuilles (**Zerrad et al., 2006**).

On pense que l'accumulation des sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse des réserves en particulier l'amidon mais aussi une modification du métabolisme carboné (Le poivre, 2002), Les osmolytes, les plus importants, qui s'accumulent chez les céréales en conditions de déficit hydrique, sont représentés, entre autres, par le sucre et la proline, elles jouent un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation de la plante au manque d'eau (Slama, 2002).

1-3-Dosage de la proline

Le dosage de la proline chez les deux variétés étudiées a révélé des quantités différentes entre elles.

-Variété Core

La concentration de proline enregistrée pour cette variété ne change pas beaucoup entre les différents traitements : Chez le témoin de 0.163, 0.162 dans le 1er traitement, dans le 2ème traitement augmentation de la teneur jusqu'à 0.207 puis diminution à 0.173 dans le dernier traitement. (Voir figure 26)

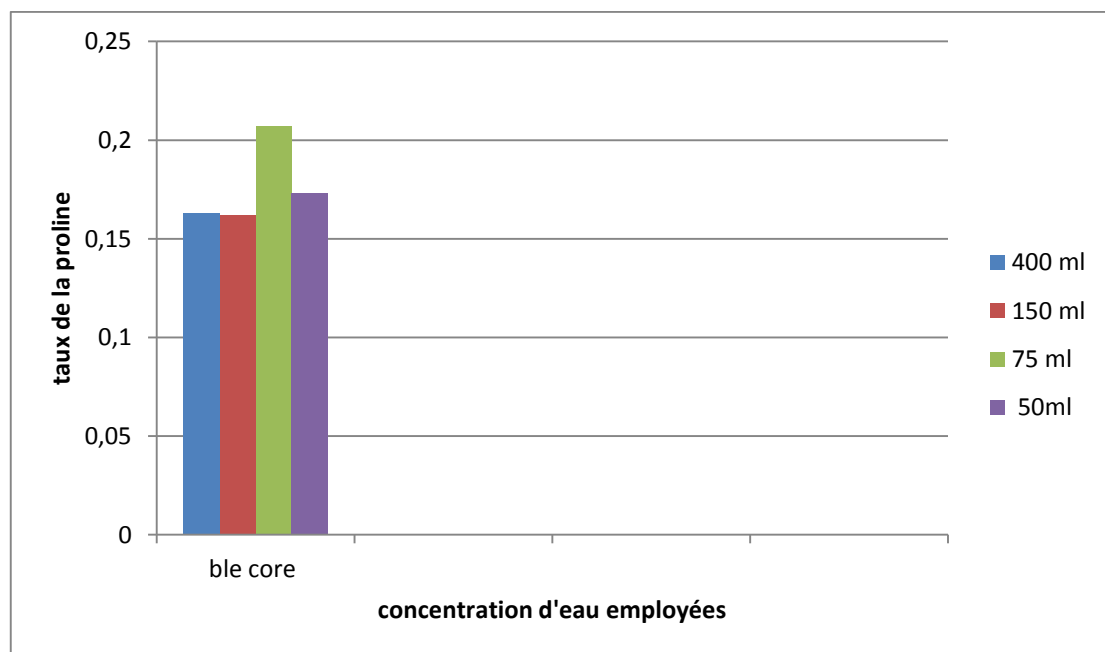


Fig 22: Variation de la teneur de la proline chez La variété Core étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique

-Variété Palesio

Les concentrations de proline enregistrées ici sont : pour le témoin 0.103, une légère diminution à 0.073 dans le 1er traitement, puis augmentation dans les deux autres traitements, à 0.130 au 2^{ème} traitement, et 0.199 dans le dernier. (Voir figure 27)



Fig 23: Variation de la teneur de la proline chez la variété Palesio étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique

Discussion :

Les résultats obtenus montrent que le déficit hydrique a causé une accumulation importante de la proline au niveau des feuilles chez les deux variétés, cette accumulation est en corrélation avec l'augmentation du stress, avec de légères fluctuations chez la variété Core

Ces résultats confirment les observations sous la même contrainte de plusieurs auteurs tels que (**Rejeb KB, 2012 ; Hireche, 2006**) où il y'a accumulation de la proline chez des plantes lorsque ces dernières sont exposés au déficit hydrique.

Selon (**Nakashima ,1998**), la proline est la molécule organique la plus accumulée chez les organismes lors d'un stress. Son accumulation est une des stratégies adaptatives déclenchées par la plante face aux contraintes de l'environnement (**Belkhodja et Benkabilia ,2000**). C'est donc l'un des mécanismes d'adaptation du blé dur. Elle est synthétisée sous forme d'acides aminés et assemblée dans les organites végétaux lorsque la culture est exposée à un manque d'eau.

Les solutés, comme les sucres et la proline, protègent la cellule en équilibrant la résistance osmotique du cytosol avec celle de la vacuole et de l'environnement extérieur (**Gadallah, 1999**). De plus, ils peuvent interagir avec des macromolécules cellulaires telles que les enzymes antioxydantes, stabilisant ainsi leur structure et leur fonction (**Sairam et al., 2002**).

La proline est une molécule organique dominante qui agit comme médiateur de l'ajustement osmotique sous le stress hydrique, un stabilisateur de structures subcellulaires, un puits d'énergie. Elle participe aussi dans l'osmorégulation de la cellule et de la protection des protéines au cours de la déshydratation, et peut agir comme un régulateur enzymatique en conditions de stress (**Rontain et al., 2002**) (**Bougdad et Benkaddour , 2015**). En effet, il a été démontré que la proline peut fonctionner comme une molécule chaperonne capable de protéger l'intégrité des protéines et d'améliorer l'activité de certains enzymes (**Rejebet al ., 2012**).

il a même été rapporté que des activités d'enzymes antioxydantes à savoir la CAT, SOD et POX, ont été significativement améliorées par l'ajout de proline exogène dans une culture en suspension de tabac en conditions de stress salin (**Hoque et al.,2007**) ce qui affirme son rôle autant qu'un bon antioxydant chez les végétaux.

1-4-Dosage de l'activité du superoxyde dismutase SOD (Test au bleu de méthylène)

Variété Core

✓ les feuilles

Les teneurs en SOD enregistrées dans les feuilles de Core ne sont pas très variables d'un traitement à un autre: Pour le témoin la valeur est de 0.086, on note une légère diminution dans le 1er traitement 0.084, qui continue dans le 2eme traitement jusqu'à 0.055 et au dernier traitement on a une augmentation du taux avec 0.102. (Voir figure 29)

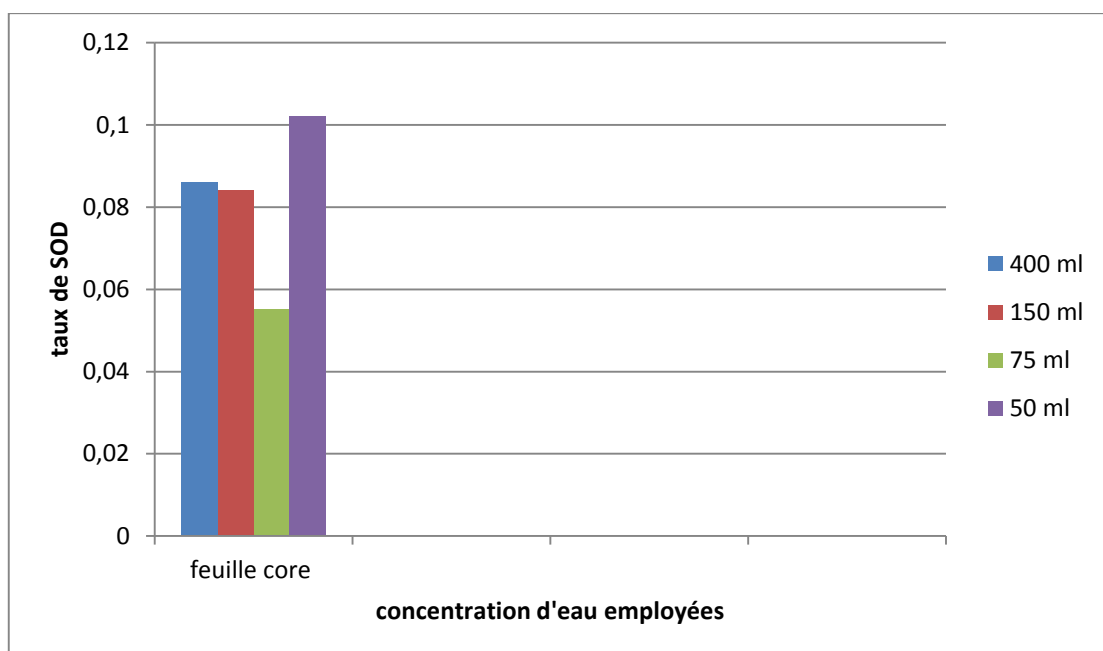


Fig 24: Variation de la teneur de SOD dans les feuilles chez la variété Core étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique

✓ Les racines

Dans cette variété les teneurs de SOD des racines montrent des fluctuations avec une tendance à la baisse avec l'augmentation des : Pour le témoin la valeur est de 0.117 puis une légère diminution dans le 1er traitement 0.057, dans le 2eme traitement on observe 0.096 et puis une diminution du taux avec 0.043 dans le dernier traitement (voir figure 30).

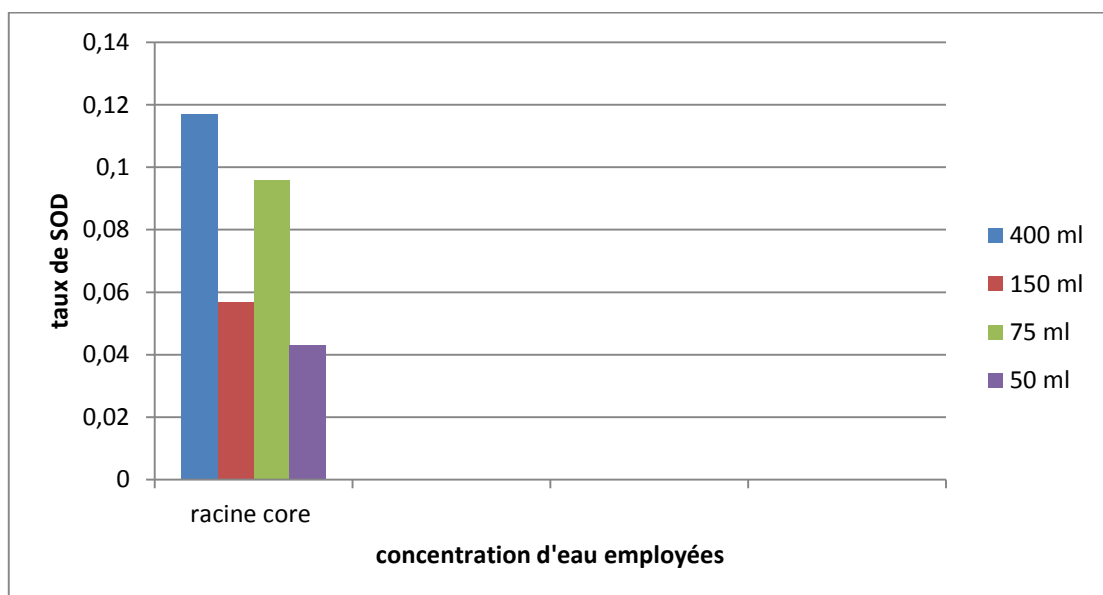


Fig 25: Variation de la teneur de SOD dans les racines chez la variété Core étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique

Les teneurs en SOD ne suivent pas la même voie entre les feuilles et les racines

- Variété Palesio

✓ Les feuilles

Dans cette variété les teneurs en SOD dans les feuilles sont en augmentation avec les traitements hydriques appliqués : Pour le témoin la valeur est de 0.071, une légère augmentation est ensuite observée dans le 1er traitement 0.081, puis une baisse au 2eme traitement jusqu'à 0.048 et une autre augmentation dans le dernier traitement 0.226. (Voir figure 32)

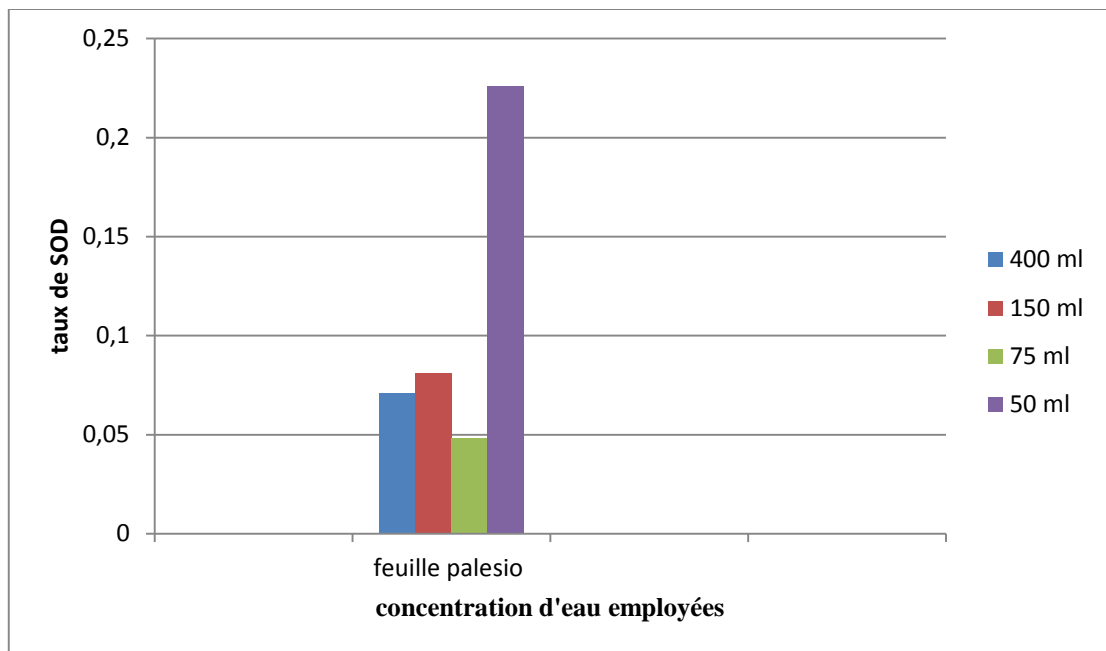


Fig 26: Variation de la teneur en SOD dans les feuilles chez la variété Palesio étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique

-Variété Palesio

✓ Les racines

Dans les racines de cette variété les teneurs de la SOD montrent des fluctuations remarquables : on note 0.021 pour le témoin, ensuite une légère augmentation au 1er traitement 0.115, vient alors une diminution jusqu'à 0.084 au 2eme traitement et encore une augmentation au dernier traitement jusqu'à 0.109. (Voir figure 33)

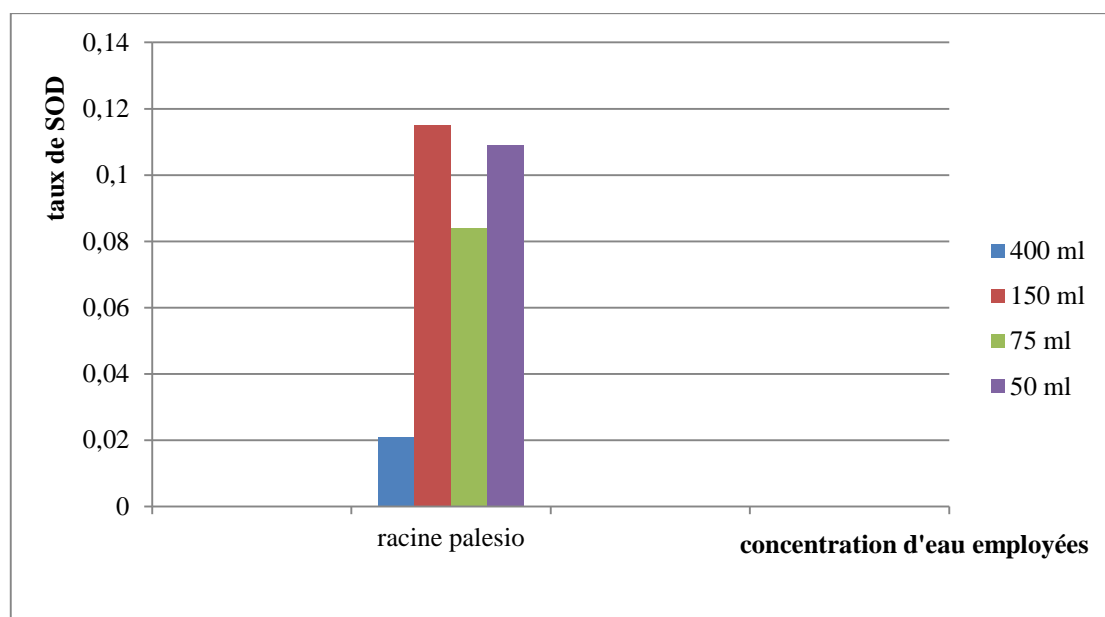


Fig 27: Variation de la teneur de SOD dans les racines chez la variété Palesio étudiée en fonction de l'intensité du stress hydrique

Chez la variété Palesio même si les valeurs diffèrent entre les racines et les feuilles, mais la tendance est la même et le comportement suit une même lignée, c'est-à-dire l'augmentation et la diminution des quantités de SOD suivent les mêmes voix que les concentrations de traitements hydriques.

Discussion :

La SOD a un rôle très important dans la tolérance au stress chez les plantes. Elle constitue une première ligne de défense contre les effets toxiques des niveaux élevés des ROS

Les données observées dans ce travail montrent que l'activité enzymatique de type superoxyde dismutase est maintenue chez la variété Palesio en condition de déficit hydrique, même si on note de légères fluctuations entre les concentrations elle augmente avec le stress, et elle est sensiblement réduite chez la variété Core où on peut dire qu'elle est presque au même niveau les différentes concentrations hydriques voir elle diminue dans les traitements les plus concentrés.

(Sairam et Srivastava, 2001) ont observé chez le blé une corrélation positive entre la tolérance au déficit hydrique et les niveaux d'activité des systèmes enzymatiques SOD pour 5 géotypes présentant des niveaux différentiels de tolérance au déficit hydrique. Ces données nous amènent à proposer que la SOD, pourrait être également impliquée dans une meilleure tolérance de la plante au manque d'eau. Cette hypothèse est en accord avec les nombreuses

preuves acquises au cours des dernières années en ce qui concerne la participation des enzymes antioxydantes, CAT et SOD, dans la tolérance des plantes au déficit hydrique (**Jubany Mari et al., 2010**). Dans le cas actuel des choses, ça nous permet de déduire que par rapport à la réponse des SOD, on peut estimer que la variété Palésio a une meilleure tolérance par rapport à Core, même si les résultats auraient pu être influencés par les conditions dans lesquelles les échantillons ont été conservés.

Conclusion

Conclusion :

Le blé dur constitue une partie importante des ressources alimentaires chez l'homme. Le stress hydrique est le principal facteur abiotique, qui limite la production du blé dur. Pour éviter le manque d'eau, les plantes développent plusieurs mécanismes adaptatifs qui varient en fonction de l'espèce.

Dans cette étude qui porte sur le comportement biochimique de deux variétés de blé dur, semés sous différents niveaux de stress hydrique (100, 75, 50, et 25%).

L'étude a montré que le blé est une plante sensible aux contraintes abiotiques qui limitent la productivité céréalière, la réponse au stress hydrique chez les deux variétés testées (Core et Palesio) révèle l'existence d'une grande Variabilité des réponses aux paramètres biochimiques testés (Dosage des Pigments Chlorophylliens, Dosage des sucres solubles, Dosage de la proline et Dosage de L'activité du superoxyde dismutase SOD).

L'examen des résultats obtenus permet de mettre en évidence les points Suivants :

Les deux variétés étudiées, ont enregistré des fluctuations dans les teneurs en chlorophylle des augmentations dans l'accumulation des sucres solubles selon les stress appliqués avec certaines fluctuations, des augmentations dans le dosage de la Proline, et enfin pour le dosage de la SOD, les résultats obtenus ont été différentes, les réponses observés chez la variété Palesio ont montré qu'elle est très sensibles, alors que chez Core beaucoup de fluctuations ont été enregistrés.

En perspectives, il est souhaitable dans un futur travail, d'élargir l'étude sur plusieurs stades et cycle de développement de la plante, et proposer une étude allant jusqu'au stade graine et aussi la mise au point d'autres voies et étudier d'autres paramètres biochimiques surtout ceux relatifs au stress oxydatif

*Références
bibliographiques*

Référence bibliographique

- **AbdalDayem, A., Hossain, M., Lee, S., Kim, K., Saha, S., Yang, G.M., ET Cho, S.G. 2017.** The role of reactive oxygen species (ROS) in the biological activities of metallic nano particles. *International Journal of Molecular Sciences*-18-120- 21 p.
- **Abecassis, J.1993.**Nouvelles possibilités d'apprécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés. *Ind. Céréales* N° 81- pp 35.
- **Afonso, V., Champy, R., Mitrovic, D., Collin, P., ET Lomri, A.2007.** Radicaux libres dérivés de l'oxygène et superoxydes dismutases: rôle dans les maladies rhumatismales. *Revue Du Rhumatisme*- 74- 7- p- 636–643.
- **Ait Yahia, L Et Zemmoura, H .2014.** Etude de l'effet d'un stress oxydatif et le système défensif enzymatique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Mémoire de mastère biologie. Option biologie et génomique végétales. Université de Constantine 1 Algérie - 65p.
- **Asada, K.1999.** «The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygen + and dissipation of excess photons». *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*- 50- p- 601-639.
- **Asada, K.2000.** "The water–water cycle as alternative photon and electron sinks." *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*- 355(1402): 1419- 1431.
- **Bajji, M.1999.** Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variant soma clonaux sélectionnés *In vitro*. Thèse de doctorat. Univ. Louvain.
- **Beckman, Et K.B Ames, B.N. 1998.** The Free Radical Theory of Aging Matures. *Physiological Reviews*- 78- 2- p- 547–581.
- **Belaid, D.1996.** Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed. Office des publications universitaires, Ben-Aknoun (Alger)- 206 p.
- **Belkhodja, M Et Benkabilia, M. 2000.** Proline réponses of faba bean (*Vicia faba*) under salt stress .*Egypt. J. of Agric .Res* -78(1):185-195.

- **Ben Naceur, M., Gharbi, M.S., Et Paul, R.1999.** L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. *Sécheresse*; 10: 27-33
- **Benhamdi, A.2014.** Etude des enzymes de stress oxydatif chez *Hedysarium pallidum* Desf et *Lygeumspartum* L. en réponse à la pollution du sol par l'antimoine. Thèse doctorat. Option biochimie et biotechnologie. Université Constantine1 Algérie - 146p.
- **Benjelloun, M., Rais, CH., Wahid, N., Elghadraoui, L., Et 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 : 19-26.
- **Benkaddour, M.2014.** Modification physiologique chez des plantes de blé (*Triticumdurumdesf*) exposées à un stress salin. Université badji Mokhtar, Annaba. Thèse de doctorat : 23-80-81p.
- **Bonjean, A.2001.** Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé tendre (*Triticumaestivum* L.).*Dossier de l'environnement de l'INRA- N°21* :29-37.
- **Bonnet, E.1936.** Les céréales et leur culture. Presses Universitaires de France.
- **Bougdad, K.F Et Benkaddour, M .2015.**Effet de stress hydrique sur quelques paramètres biochimiques de la luzerne (*Medicagosatival*). The Mag Univ.Kasdi Merbah –Ouargla- 61p.
- **Bucher, J.R., Oxidative stress and radical-induced signalling. In: Baan, R.A., Stewart, B.W ET Straif, K. 2019.** Tumour site concordance and mechanisms of carcinogenesis. France: *IARC Scientific Publications-* p-153-157.
- **Burton, GJ et Jauniaux, E. 2011.**Stress oxydatif. *Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynecology-* 25 - 3- p-287–299.
- **Carange, J.2010.** Rôle antioxydant et anti-apoptotique des brassins stéroïdes, une nouvelle stratégie de neuro protection ? Thèse de doctorat. Université du Québec Trois-Rivières.
- **Carrière, A., Galinier, A., Fernandez, Y., Carmona, M.C., Pénicaud, L., Et Casteilla, L.2006.** Les espèces actives de l'oxygène : le yin et le yang de la mitochondrie. *Médecine/sciences- 22-1-* p- 47–53.Components in plants. *Annu Rev plant Biol- 58-* 459- 481.*Congress "New directions for a diverse planet" Brisbane, Australia-*12pages.

- **Cooke, M.S., Evans, M.D., Dizdaroglu, M., ET Lunec, J.2003.** Oxydative DNA Damage: mechanism, mutation, and disease. *FASEB J* - 17- 1195 - 1214.
- **Croston, R.P ET Williams, J.T.1981.** A world survey of wheat genetic resources. *IBRGR. Bulletin* -80- 59 - 37p.
- **Curtin, J.F.2002.** Donovan M., Cotter T-G: Regulation and measurement of oxidative stress in apoptosis. *J.Immunomethods*-265- 49-70.

- **Demidchik, V.2014.** Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. *Environnemental and Expérimental Botany*-109: 212–228.
- **Desassis, C Et Labousset Piquet, H. 2009.** Biologie fondamentale: UE 2.1- UE2.2. *Paris : Elsevier Masson*- 138 p.
- **Droge, W.2002.** Free radicals in the physiological control of cell function .*Cellular physiol.Rev*-82-p47.
- **Dubois, M., Gilles, K., Hamilton, A., Ruberg, A., Et Smith, F.1956.** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*.28.3:350- 356

- **Edreva, A.2005.** "Generation and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts: a sub molecular approach." *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 106(2-3): 119-133.
- **El-Bahr, S.M.2013.** Biochemistry of free radicals and oxidative stress. *Science International*- 1- 5- p- 111-117.
- **El-Beltagi, H.E Et Mohamed, H.2013.** Réactive oxygène species, lipid peroxydation and antioxidative défense mechanism. *Notulae Scientia Biologicae*, 5(1), 3-17.
- **Ernez, M Et Lannoye, R.1991.** Quantification des désordres photosynthétiques chez la plante stressée: aspects conceptuels et méthodologiques, L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Euro text. *Paris* : 9

- **Fam, S.S Et Morrow, J.D .2003.** The isoprostanes: unique products of arachidonic acid oxidation-a review. *Curr. Med. Chem-* 10- 1723- 1740.
- **Finaud, J., Lac, G., Et Filaire, E.2006.** Oxydative Stress. Relationship with Exercise and Training. *Sports med-* 36- 4- p- 327–358.
- **Fredot, E.2005.** Connaissance des aliments. 1ère édition. *Lavoisier. Paris-* 397p.

- **Gadallah, M.A.1999.** Effects of proline and glycine betaine on Vicia Faba responses to salt stress. *Biologia Plantarum* 42: 249–257.
- **Gate, P.1995.** Ecophysiologie du Blé. Ed. ITGF. Technique et documentation. *Lavoisier, paris-* 419 p.
- **Gill, S.S Et Tuteja, N .2010.** Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry* - 48-12- p- 909–930.

- **Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J.O., Charlier, C., Et Chapelle, J.P.2007.** Le stress oxydant. *Rev Med Liege*, 62, 10, p. 628-638.
- **Harlan, J.R .1975.** Our vanishing genetics resources. *Science-* 188: 618-621.
- **Heiser, C.B.1990.** Seeds to civilization: the story of man's food. Freeman, San Francisco-67-79p.
- **Hikosaka, K., Ishikawa, K., Borjigidai, A., Muller, O., ET Onoda, Y.2006.** Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in Temperature dependence of photosynthetic rate .*J. Exp. Bot-* 57: 291- 302.
- **Hoque, M.A., Banu, M .N.A., Et Okuma, E.2007.** Exogenous proline and glycine betaine increase NaCl-induced ascorbate-glutathione cycle enzyme activities and proline improve salt tolerance more than glycine betaine in tobacco Bright Yellow-2 suspension-cultured cells. *Journal of Plant Physiology* 164: 1457–1468.

- **Ivanov, B Et Khorobrykh, S.2003.** Participation of Photosynthetic Electron Transport in Production and Scavenging of Reactive Oxygen Species. *Antioxidants & Redox Signaling-* 5- 1- p-43–53.

- **Jubany Mari, T., Munné Bosch, S., ET Alegre, L.2010** Redox regulation of water stress responses in field-grown plants. Role of hydrogen peroxide and ascorbate. *Plant Physiol Biochem*, 48:351-8

- **Karam, F., Breidy, J., Roupheal, J., ET Lahoud, R. 2002.** Stress hydrique, comportement physiologique et rendement du maïs hybride (cv. Manuel) au Liban. *Cahiers Agricultures*-11- p-285-291.

- **Le poivre, 2002.** Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie

- **Lee, J., Koo, N., Et Min, D.B., 2004.** Reactive Oxygen Species, Aging, and Antioxidative Nutraceuticals. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*- 3- 1- p-21–33.

- **Leverve, X., Cosnes, J., Erny, P., Hasselmann, Et M.2001.** Traité de nutrition artificielle de l'adulte. 2ème édition. France : *Springer*- 957p

- **Li, C., Miao, X., Li, F., Wang, S., Liu, Q., Wang, Y., ET Sun, J .2017.** Oxidative Stress Related Mechanisms and Antioxidant Therapy in Diabetic Retinopathy. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*- 2017-15p.

- **Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., Et Chandra, N.2010.** Free radicals, antioxidants and Functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*- 4 -8- p-118-126.

- **Madr .2012 :** Annuaire statistiques du Ministère de l'agriculture et du Développement Rural. Série B.

- **Marklund, S ET Marklund, G.1974.** Involvement of the Superoxide Anion Radical in the Autoxidation of Pyrogallol and a Convenient Assay for Superoxide Dismutase Department of Chemistry, Section of Physiological Chemistry, University of Umei (Received March 8/June 8, 1974)

- **Marok, M.A.2014.** Implication des mécanismes antioxydants enzymatiques et non enzymatiques dans la tolérance au stress hydrique chez deux variétés d'orge, Saïda et Express. Thèse de doctorat : ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE ; ENSA/Alger

- **Maury, P., Langlade, N., Grieu, P., Rengel, D., Sarrafi, A., Debaeke, P., Et Vincourt, P.2011.** Ecophysiologie et génétique de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol. *Innovations Agronomiques-14* : 123-138.16p.
- **Merabta, S.2019.** L'accumulation de la proline sous déficit hydrique, synthèse et devenir après retour de l'arrosage chez les végétaux. Exemple de Triticum et Hordeum. Thèse de doctorat. Université Mentouri Constantine.
- **Mittler, R.2002.** Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7, 9, p.405–410.
- **Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., ET Van Breusegem, F.2004:** Reactive oxygen gene network of plants .*Trends plant Sci-* 9-p490.
- **Moller, I.M., Jensen, P.E., Et Hansson, A.2007.** Oxydative modifications to cellular
- **Mouellef, A.2010.** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (TriticumdurumDesf.) au stress hydrique. Mémoire de magistère. Univ Mentouri. Constantine

- **Nakashima, M.1998** - End-users Governance of Natural Resources: Irrigation Management Transfer in Mexico, *Hiroshima Journal of International Studies*, 4: 1-16.
- **Ney, B.2006** analyse et modélisation du peuplement végétal cultivé. In : Doré T., Martin P., Le Bail M., Ney B., Roger-Estrade J. 2006. L'agronomie aujourd'hui. *Paris: Editions Quae-* 367 p.

- **Passioura, J.2004.** Increasing crop productivity when water is scarce: From breeding to field management In: Proceedings of the 4th International Crop Science
- **Phaniendra, A., Jestadi, D.B., Et Periyasamy, L.2014.** Free Radicals: Properties, Sources, Targets, and Their Implication in Various Diseases. *Indian Journal of Clinical Biochemistry-* 30- 1- p-11–26.
- **Pincemail, J., Meurisse, M., Limet, R., Et Defraigne, J.O. 1999.** Méthodes d'évaluation du stress oxydatif chez l'homme: importance en matière de prévention. *Medi sphere* 95.

- **Rejeb, K.B., 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: 291–299.
- **Reyniers, F.N., Et Jacquot, M.1978.** Démarche pour l'obtention de la résistance - variétale à la sécheresse. Cas du riz pluvial. *L'Agronomie Tropicale*- 33- 4- p- 314-317.
- **Sairam, R.K Et Srivastava, G.C. 2001.** Water stress tolerance of wheat (*Triticumaestivum* L.): variations in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. *J Agron Crop Sci*, 186:63-70.
- **Sairam, R.K., Rao, K.V., ET Srivastava, G.C.2002.** Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science* 163: 1037–1046
- **Sergent, O., Griffon, B., Cillard, P., Et amp;Cillard J.2001.** Alcool et stress oxydatif. *Pathologie Biologie*- 49(9)- p-689–695.
- **Slama, A.2002.** Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie.
- **Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M., Et Zid, E.2005.** Les céréales en Tunisie : Production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Institut national de la Recherche agronomique de Tunisie (Inrat). Univ. Elmanar. Tunisie- 16- 3- p-225-229.
- **Smirnoff, N.1993.** Plant resistance to environmental stress. *Current Opinion in Biotechnology*- 9(2) - 214-215.
- **Smirnoff, N., Foyer, C., Dietz, K., Mittler, R., Feierabend, J., Grace, S., Desikan, R., Jones, M., Vreeburg, R., Logan, B., Et Jaspers, P.2005.** Antioxidants and Reactive Oxygen Species in Plants, Blackwell publishing.
- **Son, D., Compaore, E., Bonkougou, S., Et Sangare S.2011.** Effet du stress hydrique sur la croissance et la production du sésame (*Sesamumindicum* L.).*Journal of Applied Biosciences*- 37- p-2460-2467.

- **Tortora, G.J Et Derrickson, B.2016.** Manuel d'anatomie et de physiologie humaine. 2éme édition. Canada : *De Boeck Supérieur*- 2017-824 p.
- **Toumi, M., Barris, S., Aid, F.2014.** Effets des stress hydrique et osmotique sur l'accumulation de proline et de malondialdéhyde (MDA) chez deux variétés de colza (*Brassic napus L.*). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, *Section Sciences de la Vie*, 36, p.17-24.
- **Tuteja, N., Ahmad, P., Panda, B.B., ET Tuteja, R.2009.** Genotoxic stress in plants: shedding light on DNA damage, repair and DNA repair helicases. *Mutat. Res. Mutat. Res*- 681- 134- 149.
- **Valko, M., Rhodes, C.J., Moncol, J., Izakovic, M., Et Mazur, M.2006.** "Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer." *Chemico-Biological Interactions*- 160(1):140.
- **Witcombe, J.R.2009.** Breeding for abiotic stress for sustainable agriculture. *Phil. Trans.R. Soc. B*- 363: 703 -716.
- **Yadav, S.K., Dhote, M., Kumar, P., Sharma, J., Chakrabarti, T., ET Juwarkar, A.A.2010.** Differential antioxidative enzyme responses of *Jatropha curcas L.*, to chromium stress. *J. Hazard. Mater* - 180- 609- 615.
- **Yves, H Et De Buyser, J.2000.** L'origine des blés. *Pour la science*- 26: 60-62.
- **Zerrad, W., Hillali, S., Mataoui, B., El Antri, S., Et Hmyene, A.2006.** Etude comparative des mécanismes biochimiques et moléculaires de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Biochimie, Substances naturelles et environnement. Congrès international de biochimie. Agadir.*
- **Zerrad, W., Maataoui, B.S., Hilali, S., El Antri, S., Laza, S., ET Hmyene, A.2009** .The effect of hydric stress upon the synthesis of four is enzymes of two varieties of durum wheat. *Scientific study end Reseach, vol 3:253-259.*

Site Internet :

- [1] <https://fr.statista.com/graphique/1/570403/ble-volume-de-production-dans-le-monde.jpg>

Consulté le 22.06.2023

- [2] <http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/spip.php?article1620> Consulté le 23.04.2023

- [3]

https://images.search.yahoo.com/search/images;_ylt=AwrjuwVMXJkTZEiLGSJzbf;_ylu=c2VjA3NIYXJjaARzbGsDYnV0dG9u;_ylc=X1MDOTYwNjI4NTcEX3IDMgRmcgN5aHMtaW52YWxpZARmcjIDcDpzLHY6aSxtOnNiLXRvcARncHJpZANPOU9ueUdlUFRyZVVtd3NuNWZGRGpBBG5fcnNsdAMwBG5fc3VnZwMwBG9yaWdpbgNpbWFnZXMuc2VhcmNoLnlhaG9vLmNvbQRwb3MDMARwcXN0cgmEcHFzdHJsAzAEcXN0cmwDMjcEcXVlcnkDc3RyZXNzJTlwb3h5ZGF0aWYIMjBkZXMlMjBwbGFudGVzBHRfc3RtcAMxNjg1MjA1MzY2?p=stress+oxydatif+des+plantes&fr=yhs-

<invalid&fr2=p%3As%2Cv%3Ai%2Cm%3Asb-top&ei=UTF-8&x=wrt> Consulté le 25.045.2023

-[4]https://www.researchgate.net/figure/Structure-and-Functions-of-Peroxisomes_fig1_260129613 Consulté le 25.05.2023

-[5]https://images.search.yahoo.com/search/images;_ylt=AwrEa5jnwHNkKVw2z8GJzbf-F?ei=UTF-8&fr=yhs-invalid&fr2=sp-qrw-corr-top&norw=1&p=especies+reactive+de+1%26%2339%3Boxygene+de+chloroplast#id=0&iurl=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FGerman_Lopez-Riquelme%2Fpublication%2F283346610%2Ffigure%2Fdownload%2Ffig1%2FAS%3A319772190363656%401453251039211%2FA-model-showing-the-formation-of-reactive-oxygen-species-ROS-in-different-organelles-of.png&action=click Consulté le 25.05.2023

-(FOA, 2017)<http://www.fao.org/faostat/en/#country/4>

USDA,2012)https://www.nass.usda.gov/Publications/Highlights/2014/Farm_Economics/index.php