

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Centre Universitaire- Salhi Ahmed - Naâma

Institut des Sciences et de Technologie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Laboratoire de recherche :

Gestion durable des ressources naturelles dans les zones arides et semi-aride

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER Académique

En Sciences Biologiques

Spécialité : Biodiversité et physiologie végétale

Présenté Par :

Mlata Rania et Arbaoui Habiba

Thème

Etude comparative de deux types de stress (hydrique et salin) chez le sorgho
(*Sorghum bicolor* (L) (Moench)).

Soutenu le : 13 /07/2022.

Devant le jury :

Président : M^{me} Benhamza Messaouda

MCA, Centre Universitaire de NAAMA

Examineur : M^{me} Bekkouche Assia

MCA, Centre Universitaire de NAAMA

Encadreur : M^{me} Babou Fatima zohra

MCB, Centre Universitaire de NAAMA

Année universitaire 2021/ 2022

Remerciements

Louange à DIEU

Tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour terminer ce travail.

*Nos chaleureux remerciements vont à **Mme Babou Fatima Zohra** d'avoir accepté de participer à ce mémoire, ainsi que pour ses efforts fournis, pour ses conseils, son aide, ses orientations, sa patience et sa disponibilité.*

Aux membres de jury de bien vouloir examiner et juger ce modeste travail :

Mme Benhamza Messaouda

Mme Bekkouche Assia

On adresse nos plus sincères remerciements à tous nos enseignant(e).

On remercie tout le personnel de laboratoire de biologie, chimie et écologie.

Particulièrement

Mr. ALIOUA M et Mr OTMANI A

pour leur précieuse aide et leur compréhension.

Enfin, on adresse nos plus sincères remerciements à nos familles, tous nos proches amis, qui nous ont accompagné, aidé soutenu et encouragé tout au long de réalisation de ce mémoire et nos amis de promotion.

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail

Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire qui est le fruit de longues années d'études, en premier lieu

à:

- ❖ *Mon cher PERE qui m'a donnée la volonté de réaliser et de finir ce travail.*
- ❖ *Ma très chère MERE, à qui je dois beaucoup pour ces sacrifices, son amour, son aide et son soutien afin de me voir parvenir à ce que je suis devenue.*
- ❖ *Mes très chères sœurs **DJAMILA, HANANE, MERIEM et RIHAB.***
- ❖ *Mes très chers frères **MOUSTAPHA, ARBI et ABED RAHIM***
- ❖ *Mon encadreur Mme **Babou Fatima zahra** pour son aide précieuse pour nous et les conseils utiles illimités qu'elle nous a donné pour la réalisation de ce travail.*
- ❖ *Tous **MES PROFESSEURS** durant toutes mes études*
- ❖ *Ma très chère copine **RANIA** qui avait été comme une deuxième moitié de moi même.*

Je dédie également ce travail à tous mes amies et amis avec les quels je partage tous les Souvenirs inoubliables.

Habiba

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents

Mon père, qui a toujours été fier de moi et souhaité que je réussisse

À ma mère, source de tendresse, de générosité et de courage

À ma deuxième mère, Ma grand-mère adorée

*À ma très cher sœur **SALIMA***

*À mon seul frère **MOHAMMED ABD RAHMAEN***

*À mon encadreur **Mme BABOU FATIMA ZOHRA***

*À ma belle copine **HABIBA** et tous **MES AMIES** et **COLLEGUES***

À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer.

Rania

Etude comparative de deux types de stress (hydrique et salin) chez le sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench))

Résumé :

La compréhension des mécanismes de tolérance au stress chez le sorgho, demeure primordiale afin de pallier aux effets néfastes du stress et dévoiler les stratégies adaptatives mises en place par cette céréale. Le présent travail porté sur l'évaluation de la tolérance au stress salin et hydrique sur la variété de sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)). Le semis a été effectué dans des cylindres en plastique avec un diamètre de 25cm. Le gravier a été déposé sous le substrat sol de chaque cylindre afin d'assurer un bon drainage. Les plantes ont été soumises à des traitements de stress hydrique (50 % et 10%) et de stress salin (0, 100 et 300mM de NaCl) pendant 1 mois pour étudier les différents paramètres morphologique et biochimique. Les résultats montrent que l'action de stress salin et le déficit hydrique provoque une réduction dans la croissance sauf pour les racines qui augmentent un petit peu pour chercher l'eau. Une chute dans les teneurs de chlorophylle en présence de sel est enregistrée avec une forte accumulation de la proline comme réponse au stress. Cela montre une certaine résistance de la plante à ces stress.

Mots clés: Sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)), stress salin, stress hydrique, tolérance, chlorophylle, proline.

ملخص:

يظل فهم آليات تحمل الإجهاد في الذرة الرفيعة أمرًا ضروريًا للتغلب على الآثار الضارة للإجهاد وكشف الاستراتيجيات التكيفية التي تنفذها هذه الحبوب. ركز العمل الحالي على تقييم تحمل الملح والضغط المائي على أنواع الذرة الرفيعة (*Sorghum bicolor (L) (Moench)*). تم إجراء البذر في اسطوانات بلاستيكية بقطر 25 سم. تم وضع الحصى تحت ركيزة التربة لكل أسطوانة لضمان تصريف جيد. تعرضت النباتات لإجهاد مائي (50% و 10%) ومعاملات إجهاد ملحي (0 ، 100 و 300 ملي مولار كلوريد الصوديوم) لمدة شهر واحد لدراسة المتغيرات المورفولوجية والكيميائية الحيوية المختلفة. أظهرت النتائج أن تأثير الإجهاد الملحي ونقص المياه يؤدي إلى انخفاض في النمو باستثناء الجذور التي تزداد قليلاً للبحث عن الماء. تم تسجيل انخفاض في مستويات الكلوروفيل في وجود الملح مع تراكم قوي للبرولين كاستجابة للضغط. هذا يدل على مقاومة معينة للنبات لهذه الضغوط.

الكلمات المفتاحية: الذرة الرفيعة (*Sorghum bicolor (L) (Moench)*) ، الإجهاد الملحي ، الإجهاد المائي ، التحمل ، الكلوروفيل ، البرولين.

Abstract:

Understanding the mechanisms of stress tolerance in sorghum remains essential in order to overcome the harmful effects of stress and reveal the adaptive strategy simple mented by this cereal. The present work focused on the evaluation of the tolerance to salt and water stress on the variety of sorghum (*Sorghum bicolor (L) (Moench)*). So wing was carried out in plastic cylinders with a diameter of 25cm. Gravel was place dunder the soil substrate of each cylinder to ensure good drainage. The plants were subjected to water stress (50% and 10%) and saline stress (0, 100 and 300 mM NaCl) treatments for 1 month to study the different morphological and biochemical parameters. The results show that the action of salt stress and water deficit causes a reduction in grows thex cept for the roots which increase a little bit to seek water. A drop in chlorophyll levels in the presence of salt is recorded with astrong accumulation of proline as a stress response. This shows a certain resistance of the plant to these stresses.

Keywords: Sorghum (*Sorghum bicolor (L) (Moench)*), salt stress, water stress, tolerance, chlorophyll, proline.

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des photos

Table des matières

Introduction.....1

Partie I : Étude bibliographique

Chapitre 1 : Généralités sur le sorgho

1. Historique	4
2. Importance de la culture	4
3. Situation du sorgho dans le monde	5
4. Origine	5
5. Classification	6
6. Description morphologique du sorgho	6
6.1 . Racine	7
6.2 . Tige	8
6.3 . Feuille	9
6.4 . Panicule	10
6.5 . Graine	9
7. Physiologie du sorgho	11
7.1 . Croissance et développement	11
7.2 . Cycle de développement	11
➤ Germination et développement de la plantule	12
➤ Phase végétative	12
➤ Phase reproductive	13
➤ Phase de maturation	13
8. Exigences écologiques	14
8.1 . Exigences en sol	14
8.2 . Exigences en eau.....	14
8.3 . Besoins en chaleur.....	14
8.4 . Besoins en altitude.....	14

9. Culture du sorgho.....	14
9.1 . Préparation du sol.....	14
9.2 . Semis	14
9.3 . Fertilisation	15
9.4 . Désherbage.....	15
- Manuellement	15
- Chimiquement	15
9.5 . Récolte	15
10. L'utilisation du sorgho.....	15
- L'alimentation humaine	15
- L'alimentation animale	15
- L'industrie	15

CHAPITRE II : Les stress hydrique et salin chez les plantes

2. Les stress hydrique et salin chez les plantes	
2.1 . Notion de stress	17
2.2 . Stress biotique	17
2.2.1. Les maladies	17
2.2.2. Les plantes adventices	17
2.2.3. Les insectes ravageurs	17
2.2.4. Les oiseaux	18
2.3 . Stress abiotique	18
2.3.1 . Stress hydrique	18
2.3.1.1 . Influence du stress hydrique sur la morphologie de la plante....	19
2.3.1.2 . Influence du stress hydrique sur la physiologie de la plante	20
2.3.2 . Stress salin	20
2.3.2.1 . Origines et causes de la salinité	21
➤ Origine primaire.....	22
➤ Origine secondaire	22
2.3.2.2 . Principaux sels responsables de la salinité	22
2.3.2.3 . Influence du stress salin sur la morphologie de la plante	22
2.3.2.4 . Influence du stress salin sur la physiologie de la plante	23

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

1. Objectif de l'essai.....	26
2. Matériel Végétal	27
3. Méthodes	27
3.1 . Préparation du substrat	27
3.2 . Préparation des graines (la germination)	28
3.3 . Le semis et le repiquage	28
3.4 . Les solutions de l'irrigation	28
3.5 . Dispositif expérimental	29
3.5.1 . Stress salin	29
3.5.2 . Stress hydrique	30
3.6 . Déterrement et préparation du matériel végétal pour les analyses	30
3.7 . Les paramètres étudiés	31
➤ Les paramètres biométriques	31
- La longueur de la tige et des racines	31
- Matière fraîche de la partie aérienne et souterraine	31
- Matière sèche de la partie aérienne et souterraine	32
➤ Les paramètres biochimiques	32
- Chlorophylle	32
- Proline	33

CHAPITRE IV-RESULTAT ET INTERPRETATION

I. Croissance de plantes	36
1. Longueur	36
1.1.Le stress salin	36
1.2.Le stress hydrique	37
2. Le poids frais	37
2.1.Le stress salin	37
2.2.Le stress hydrique	38
3. Le poids sec	39
3.1.Le stress salin	39
3.2.Le stress hydrique	40
II. Caractéristique biochimique	40
1. Chlorophylle a et b	40
1.1. Stress salin	40
1.2.Stress hydrique	41

2. Proline.....	42
1.1. Stress salin	42
1.2. Stress hydrique	43
DISCUSSION	45
CINCLUSION ET PERSPECTIVE	49
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	52

Liste des tableaux

Tableau 01 : Les caractéristiques de la serre automatisée du centre universitaire de Naâma.....	26
Tableau 02 : La préparation de la solution saline.....	29
Tableau 03 : La longueur (cm) des deux parties du sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench))(partie aérienne et souterraine) sous l'effet de la salinité.....	36
Tableau 04 : La longueur (cm) des deux parties du sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench))(partie aérienne et souterraine) sous l'effet du déficit hydrique.....	37
Tableau 05 : Le poids frais (g) des deux parties du sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench)) (partie aérienne et souterraine) sous l'effet de la salinité	38
Tableau 06 : Le poids frais (g) des deux parties du sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench)) (partie aérienne et souterraine) sous l'effet de déficit hydrique	38
Tableau 07 : Le poids sec (g) des deux parties du sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench)) (partie aérienne et souterraine) sous l'effet de la salinité	39
Tableau 08 : Le poids sec (g) des deux parties du sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench)) (partie aérienne et souterraine) sous l'effet de déficit hydrique	40
Tableau 09 : La teneur en chlorophylle a et b ($\mu\text{g/g}$ MF) du sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L)(Moench))sous l'effet de la salinité	41
Tableau 10 : Moyenne de la teneur en chlorophylle a et b ($\mu\text{g/g}$ MF) de sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench)) sous l'effet de déficit hydrique	41
Tableau 11 : Moyenne de la teneur en proline ($\mu\text{g/g}$ MS) de deux parties de sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench))(partie aérienne et souterraine)sous l'effet de la salinité.....	42
Tableau 12 : La teneur en proline ($\mu\text{g/g}$ MS) des deux parties de sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench))(partie aérienne et souterraine)sous l'effet de déficit hydrique	43

Liste des Figures

Fig. 01- La répartition des 5 principales races du sorgho (House, 1987)	6
Fig. 02- Schéma d'un plant de sorgho à une seule tige principale (d'après Clerget, 2004).....	7
Fig. 03- Histologie du grain du sorgho (Sautier et al. 1989)	10
Fig. 04- Stades de développement du sorgho (Chantereau et al., 2013)	12
Fig. 05- Dispositif expérimental des plantes sous stress salin	29
Fig. 06- Dispositif expérimental des plantes sous un déficit hydrique	30
Fig. 07- Effet de la salinité sur la longueur des parties aérienne et racinaire du sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench))	36
Fig. 08- Effet du déficit hydrique sur la longueur des deux parties aérienne et racinaire du sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench))	37
Fig. 09- Effet de la salinité sur le poids frais de partie aérienne et souterrainede sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench))	38
Fig. 10- Effet de déficit hydrique sur le poids frais de partie Aérienne et souterraine de sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench))	39
Fig. 11- Effet de la salinité sur le poids sec de partie aérienne et racinaire de sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench))	39
Fig. 12- Effetdu déficit hydrique sur le poids sec de partie Aérienne et racinaire de sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench))	40
Fig.13- Effet de la salinité sur la concentration de chlorophylle a et b	41
Fig. 14- Effet de le déficit hydrique sur la concentration de chlorophylle a et b	42
Fig. 15- Teneurs en proline ($\mu\text{g/g PS}$) chez (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench)) sous stress salin	43
Fig. 16- Teneurs en proline ($\mu\text{g/g PS}$) chez (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench)) sous stress hydrique.....	43

Liste des photos

Photo 01 : Racine du Sorgho (Zurich, 2012)	8
Photo 02 : Tige du sorgho (Dehaynin, 2007).....	9
Photo 03 : Feuille de sorgho (Dehaynin, 2007).....	9
Photo 04 : Panicule de sorgho (Dehaynin, 2007).....	10
Photo 05 : La serre automatisée du centre universitaire de Naâma (Mlata et Arbaoui, 2022).....	26
Photo 06 : Les graines du Sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L) (Moench)).....	27
Photo 07 : La préparation du substrat.....	27
Photo 08 : Les étapes de la préparation des graines à la germination.....	28
Photo 09 : Les étapes du repiquage	28
Photo 10 : Dispositif expérimental des plantes de Sorgho (<i>Sorghumbicolor</i> (L)(Moench)) dans la serre	31
Photo 11 : La longueur de la partie aérienne et racinaire	31
Photo 12 : Séparation des deux parties (aérienne et souterraine) avec la pesée	32
Photo 13 : Les étapes de protocole de la chlorophylle	32
Photo 14 : Les étapes de protocole de la proline	33

Liste des abréviations

ABA : Acide abscissique.

C° : Degré celsius.

Ca⁺⁺ : Calcium.

Chl : Chlorophylle.

Cl : Chlore.

cm : Centimètre.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

Do : Densité optique.

FAO : Food and agriculture organization
of the United Nations.

g : Gramme.

ha : Hectare.

K⁺ : Ion de potassium.

Kg : Kilogramme.

L : Litre.

MF : Matière fraîche.

ml : Millilitre.

mM : Millimolaire.

mm : Millimètre.

MO : Matière organique.

MS : Matière sèche.

N : Azot.

Na⁺ : Sodium.

NaCl : Chlorure de sodium.

PF : Poids frais.

PS : Poids sec.

RFU : La réserve facilement utilisable.

ROS : Reactive oxygen species.

µg : Microgramme.

% : Pourcent.



INTRODUCTION GÉNÉRALE

En Algérie, cette place est tout aussi importante dans la mesure où le pays cherche à atteindre l'autosuffisance. Toutefois, la céréaliculture algérienne reste très dépendante des conditions climatiques. Cette dernière est d'ailleurs très influencée par les effets néfastes des stress abiotiques notamment le stress salin et le stress hydrique (**Djermoune, 2009**).

Le déficit hydrique et la salinité sont les contraintes environnementales qui causent le plus de dommage aux productions agricoles. En effet, chaque année les surfaces perdues à cause de ces deux stress sont considérables. Un milliard d'hectares sont menacés dans le monde dont 3,2 millions en Algérie (**Toumi et al., 2014**). Cette dégradation du couvert végétal est surtout valable pour les zones arides et semi-arides où les changements climatiques deviennent de plus en plus contraignants pour la croissance et le développement des plantes. Ces écosystèmes sont caractérisés par une forte irrégularité des précipitations (**Rezgui et al., 2004**) associée à une importante évaporation favorisant l'accumulation des sels dans le sol (**Hkayet et Abdelly., 2004**).

La salinité du sol est l'une des principales contraintes environnementales qui limitent la production végétale dans les régions arides et semi-arides. Ces régions sont caractérisées par une faible pluviométrie, une forte évapotranspiration et une eau d'irrigation fortement minéralisée (**Shannon, 1986**). En Algérie plus d'un million hectare affectées par la salinité, elles sont localisée essentiellement le long de la frontière Algéro-Marocaine, sous la forme de pseudo-sables disposés à la surface du sol. D'une manière générale, l'action de la salinité sur les plantes supérieures s'accompagne avec des modifications morphologiques structurelles et métaboliques. Ces effets entraînent une perturbation du fonctionnement de la plante et se traduisent toujours par une diminution de la production (**Marcum, 2006**). Cette salinité est souvent associée au déficit hydrique et elle entraîne une réduction des surfaces cultivables (**Marcum, 2006**) et menace l'équilibre alimentaire mondial (**Kinet et al., 1999**). La salinisation enregistrée dans les écosystèmes aride et semi-aride résulte de la forte évaporation d'eau à partir du sol et d'une pluviométrie irrégulière et insuffisante, la salinisation provient aussi d'une irrigation mal contrôlée.

Pour faire face à de telles situations hostiles, les plantes ont développé des stratégies en mettant en place des mécanismes de réponse leur permettant d'ajuster leur système métabolique. La tolérance est un phénomène complexe, faisant intervenir de nombreux éléments. Ces derniers interagissent entre eux et agissent en synergie afin d'aboutir à une réponse coordonnée et efficace (**Oukkaroum, 2007**). Les techniques de biotechnologies

végétales se sont avérées efficaces d'une part pour comprendre ces mécanismes d'adaptation et d'autre part afin de créer un matériel végétal tolérant aux différentes formes de contraintes environnementales (salinité, sécheresse...etc.) permettant ainsi aux aires de cultures d'assurer une meilleure suffisance alimentaire (**Benderradji et al., 2016**).

La recherche des plantes tolérantes au sel est devenue une nécessité pour valoriser les sols salins, stabiliser les rendements et assurer l'équilibre alimentaire (**Abdelly, 2005**). Le sorgho est parmi les cultures fourragères prometteuses pour l'Algérie, il représente un soutien supplémentaire qui permet de renforcer la production des fourrages et peut être d'une grande utilité en élevage et par conséquent de la production laitière (**Robin, 2014**).

L'objectif de ce travail consiste à évaluer l'action de la salinité (100 mM et 300 mM de NaCl) et du déficit hydrique (50% et 10%) sur le comportement biométriques et biochimiques du sorgho (*Sorghum bicolor (L) (Moench)*).

L'organisation de ce travail s'est articulée comme suit :

- Première partie : comporte une synthèse bibliographique selon l'organisation suivante.

Chapitre I: Généralités sur le sorgho.

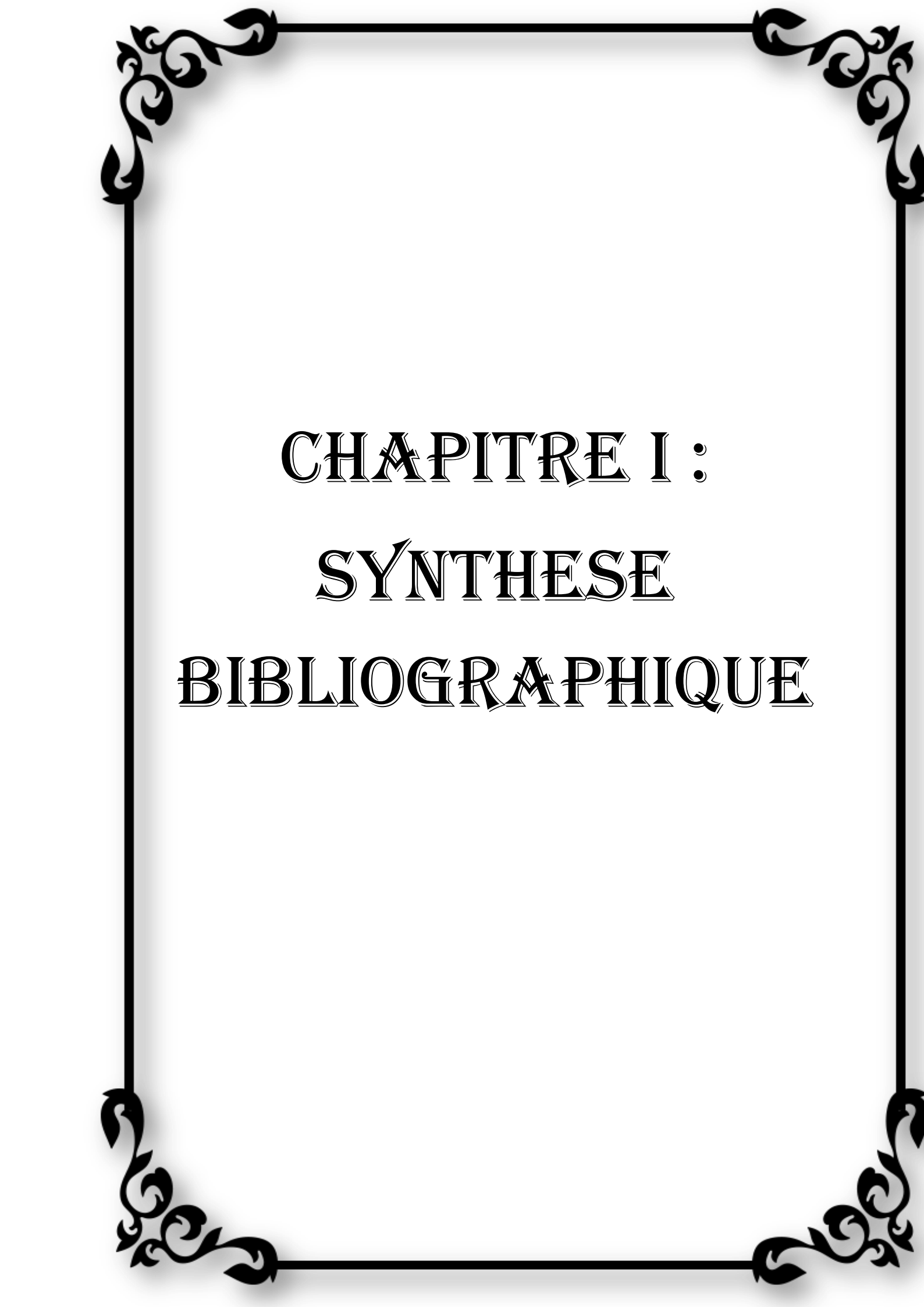
Chapitre II: Les stress hydrique et salin chez les plantes.

- Deuxième partie : Expérimentale

Chapitre III : Matériels et méthodes.

Chapitre IV : les résultats et discussions des données expérimentales réalisées,

✚ Ce travail à été achevé par une conclusion et perspectives.



CHAPITRE I :
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I -SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Historique :

L'histoire millénaire de la domestication du sorgho a conduit à une grande variabilité pour cette céréale. Le Sorgho a été introduit en Égypte à partir de l'Éthiopie environ 3000 ans avant JC (**Doggett, 1965**). A partir du Nord-est de l'Afrique, le sorgho s'est diffusé dans toute l'Afrique et le long des voies maritimes et commerciales, du Proche-Orient à l'Inde. Son introduction aux États-Unis pour une exploitation commerciale est partie d'Afrique du Nord, d'Afrique du Sud et d'Inde à la fin du XIXe siècle. Par la suite, il a été introduit en Amérique du Sud et en Australie. De nos jours, Il est cultivé partout dans les zones arides d'Afrique, d'Europe d'Asie, d'Australie, et des Amériques, à des latitudes comprises entre 50°N en Amérique du Nord et en Russie, et 40°S en Argentine (**House, 1987**).

2. Importance de la culture :

Le sorgho (***Sorghum bicolor* (L.) (Moench)**) compte parmi les céréales qui a été domestiquée en Afrique et les plus importantes cultivées dans le monde (**Djè et al., 2007**). Il constitue avec le mil les principales céréales cultivées dans les régions tropicales semi-arides de l'Afrique et de l'Asie (**Abu Assar et al., 2005**). Grâce à un système racinaire important et profondément ancré dans le sol, le sorgho tolère mieux les variations pédoclimatiques en comparaison avec les céréales traditionnelles telles que le maïs et le riz (**Chantereau et Nicou, 1991**). Ceci fait de cette plante, une culture de choix dans les régions où le déficit hydrique et la pauvreté des sols sont des facteurs limitant (**Koffi et al., 2011**).

Selon (**FAO, 2010**), l'Afrique est le plus grand producteur du sorgho, avec 21,9 millions de tonnes de productions annuelles, équivalentes à 39,04% de la production mondiale. Au Burkina Faso, le sorgho est la principale céréale cultivée avec une production annuelle d'environ 1.5 millions de tonnes. La superficie totale emblavée varie entre 1.3 et 1.4 millions d'hectares (54% des surfaces céréalières).

Environ 90% des superficies cultivées en sorgho et 70% de la production mondiale se trouvent dans les pays en développement. Les pays d'Afrique et d'Asie représentent à eux seuls plus de 95% de l'utilisation alimentaire totale de sorgho (**FAO, 2010**).

Enfin en Algérie, le sorgho est entretenu en culture vivrière dans les régions sahariennes et plus particulièrement à l'extrême Sud (**Rahal Bouziane et al., 2004**). Grâce à leur savoir-faire, les populations de ces régions ont préservé ces ressources avec leur diversité. Elles l'ont utilisé pour se nourrir, pour se soigner et pour nourrir leurs cheptels (**Rahal Bouziane, 2008**). Néanmoins, ces ressources restent méconnues et peu de travaux d'inventaire et d'évaluation sont réalisés sur ces cultures et qui n'ont touché, en fait, qu'un matériel végétal introduit. Des ressources locales de sorgho existent depuis très longtemps dans les oasis algériennes (**Rahal Bouziane et al., 2004**).

3. Situation du sorgho dans le monde :

Les principales régions de culture du sorgho se situent dans les zones chaudes, comme l'Inde, l'Afrique, l'Amérique du Nord et du Sud. En vingt ans, les Etats-Unis (premier producteur mondiale) et Mexique (deuxième producteur mondiale) ont remarqué une diminution de leur production de façon importante et une menace d leur rang habituel par des pays comme l'Inde ou le Nigeria (**FAO, 2014**).

4. Origine :

Le Sorgho bicolor est originaire du nord-est de l'Afrique, ou des formes cultivées sauvages très variables sont encore présentes (**Harlan et De Wet, 1972 ; Shewale et Pandit, 2011 ; Vavilov, 1951**). La culture du Sorgho s'est probablement répandue il y a plus de 3000 ans depuis l'Ethiopie, ou l'espèce aurait été domestiquée, jusqu'à d'autres régions d'Afrique, au Moyen Orient et à l'Inde, en passant par les routes de commerce et de transport (**Dahlberg et al., 2011 ; Shewale et Pandit, 2011**).

La culture de l'espèce s'est ensuite répandue depuis l'Inde jusqu'à la Chine, le long de la route de la soie, puis le sud-est de l'Asie, les graines ayant voyagé par les voies de navigation marchande côtières (**Shewale et Pandit, 2011**). Le Sorgho a été introduit aux États-Unis en vue de sa culture commerciale depuis l'Afrique du Nord, l'Afrique de sud et l'Inde (**Shewale et Pandit, 2011**). Actuellement, la culture du Sorgho est répandue dans les régions sèches d'Afrique, des Amériques, d'Asie, d'Australie et d'Europe.

Des centres géographiques ont été actifs dans la diversification du sorgho cultivé en Afrique (Figure 1), on en connaît trois :

- Le centre sud-africain à l'origine des sorghos de race Kafir.
- Le centre Est africain riche en sorgho de race Caudatum et durra.

- Le centre Ouest africain ayant contribué à l'établissement des sorghos de race Guinea.



Fig.1- La répartition des 5 principales races du sorgho (**House, 1987**)

5. Classification :

Le sorgho cultivé genre *Sorghum*, espèce *bicolor*, sous-espèce *bicolor*, est une plante monocotylédone annuelle appartenant à la famille des Poacées (Graminées) et à la tribu des Andropogonées (comprenant le maïs, la canne à sucre et le mil) (**Chantereau et al., 2013**).

Position taxonomique (USDA-ARS, 2012)

Règne : Plante

Sous-règne : Végétal

Embranchement : Spermatophytes

Classe : Liliopsides (monocotylédones)

Sous-classe : Commélinidés

Ordre : Cypéales

Famille : Poacées (graminées)

Genre : Sorghum

Espèce : *Sorghumbicolor* (L) Moench

6. Description morphologique du sorgho :

Le sorgho est une plante herbacée annuelle, autotrophe capable d'assurer les fonctions photosynthétiques pour une croissance et un développement satisfaisants (**Sene,**

1995). Ce sont des végétaux supérieurs, qui disposent d'organes leur permettant d'absorber l'eau et les sels minéraux,

La morphologie générale d'un plant de sorgho cultivé arrivé à maturité est illustrée par la figure 2. Le plant comporte une tige principale généralement unique (pas de talle), cependant des talles peuvent se développer chez certaines variétés. Celle-ci peut présenter un certain nombre de tiges secondaires partant de sa base. Chaque tige est constituée d'un empilement d'unités morphologiques identiques appelées phytomère : le phytomère est constitué d'une feuille, d'un nœud portant un bourgeon axillaire et d'un entre-nœud développé en dessous du nœud. Pour une tige donnée, les phytomères sont émis successivement par le méristème apical, zone de division et de différenciation cellulaire située à la pointe de la tige. Au niveau de chaque méristème apical, une inflorescence finale est initiée, mettant fin à l'émission de phytomères végétatifs : c'est une croissance de type déterminé. Les tiges se terminent donc par un organe fructifère qui, dans le cas du sorgho, c'est une panicule portant les graines. Au niveau des entre-nœuds les plus basaux partent les racines (Clerget, 2004).

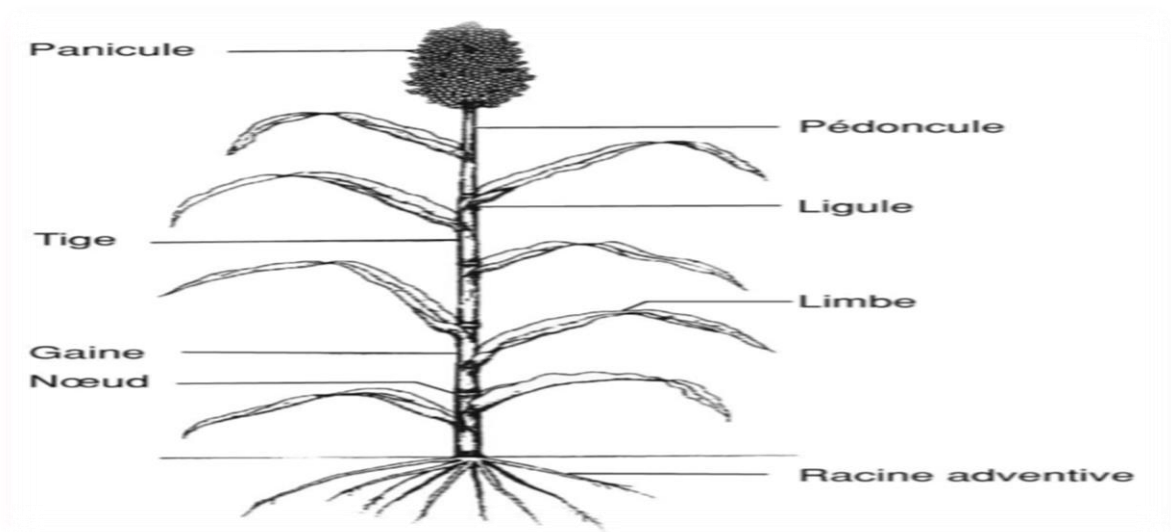


Fig.2- Un plant de sorgho avec une seule tige principale (Clerget, 2004)

6.1. Racine :

Le système racinaire du sorgho est de type fasciculé, bien ramifié et développé avec de nombreux poils radiculaires (presque deux fois plus que le maïs) bien ramifié. Au moment de la germination apparaît la racine primaire ou embryonnaire, plusieurs racines de ce type se développent, elles sont peu ou pas du tout ramifiées. Les racines secondaires se forment à partir du premier nœud ; ce sont ces racines qui en se développant constituent

le système racinaire abondant de la plante. Par la suite, les racines primaires meurent et des racines adventives peuvent apparaître plus tard sur les nœuds inférieurs et peuvent être nombreuses si la plante n'est pas en bonnes conditions. Les sorghos cultivés sont rhizomateux ou très faiblement rhizomateux ; ils sont annuels ou (faiblement) pérennes et le système racinaire de ces derniers persiste bien pour permettre le développement des rejetons à partir des bourgeons adventifs situés à la base de la tige-mère (Figure 03). On ne trouve de rhizomes bien développés que dans la sous-espèce Halepense (Sorgho d'Alep) (House, 1987).



Photo 01. Racine du Sorgho (Zurich, 2012)

6.2. Tige :

La tige est constituée de séries de nœuds alternant avec des entre-nœuds. La tige est glabre et robuste, mesurant de 0,5 cm à 5 cm de diamètre près de la base, s'amincissant vers l'extrémité terminale et ayant une longueur de 0,5 m à 4 m. Elle est solide avec un cortex ou une écorce dure et une moelle plus molle.

Le nœud se présente comme un anneau à la base de la gaine foliaire : c'est le point où la feuille s'attache à la tige (également le point où les racines adventives se développent), un bourgeon se forme à chaque nœud, excepté au nœud correspondant à la feuille paniculaire. De ces bourgeons, aux nœuds successifs, se trouvent en alternance d'un côté ou l'autre de la tige, ces bourgeons se développent par fois en talles axillaires. Les talles de la base quand elles existent, se forment au premier nœud (House, 1987).



Photo 02. Tige du sorgho (Dehaynin, 2007)

6.3. Feuille :

Le sorgho a des feuilles simples larges de 10cm à 15cm, longues de 30cm à 135cm, (Zongo, 1991 ; Chantereau et Nicou, 1991). leur nombre varie de 14 à 17 (House, 1987, Grassi, 2001) et peut atteindre 30 dans certains cas. Les feuilles sont distribuées de façon alternées le long de la tige. Les limbes cutinisés combinés à l'efficacité du système racinaire (profondeur d'enracinement densité racinaire) confèrent au sorgho une meilleure résistance au déficit hydrique que le maïs (Ademe, 1998).

Certaines variétés de sorghos présentent sur la face inférieure de leurs feuilles des poils de tailles microscopiques appelés trichomes qui confèrent aux jeunes plantes une résistance à la mouche du pied *Atherigonasoccata* (Chantereau et Nicou, 1991).



Photo 03. Feuille de sorgho (Dehaynin, 2007)

6.4. Panicule :

L'inflorescence est une panicule de forme allongée ou pyramidale qui peut être courte et compacte ou bien lâche et ouverte : de 4 à 25 cm ou plus de long sur 2 à 20 cm ou

plus de large (**Photo 04**). L'axe central de la particule ou rachis peut se trouver complètement masqué par la densité des branches secondaires et tertiaires de la panicule ou être complètement exposé. Le rachis est très variable morphologiquement : de long et mince à trapu et robuste. Un certain nombre de branches secondaires prend naissance à chaque nœud. Chacune peut varier en longueur, étant trapue ou grêle, rigide ou souple, velue ou quasi glabre, ramifiée près de sa base (branches tertiaires) ou non jusqu'au voisinage du sommet (**House, 1987**).



Photo 04. Panicule de sorgho (**Dehaynin, 2007**)

6.5. Graine :

Selon **House (1987)**, les caractéristiques morphologiques du grain à maturité complète sont les suivantes:

- poids de 1000 grains = 60 à 85 grammes
- largeur = 2,5 à 4,5 mm- longueur = 3,5 à 5 mm

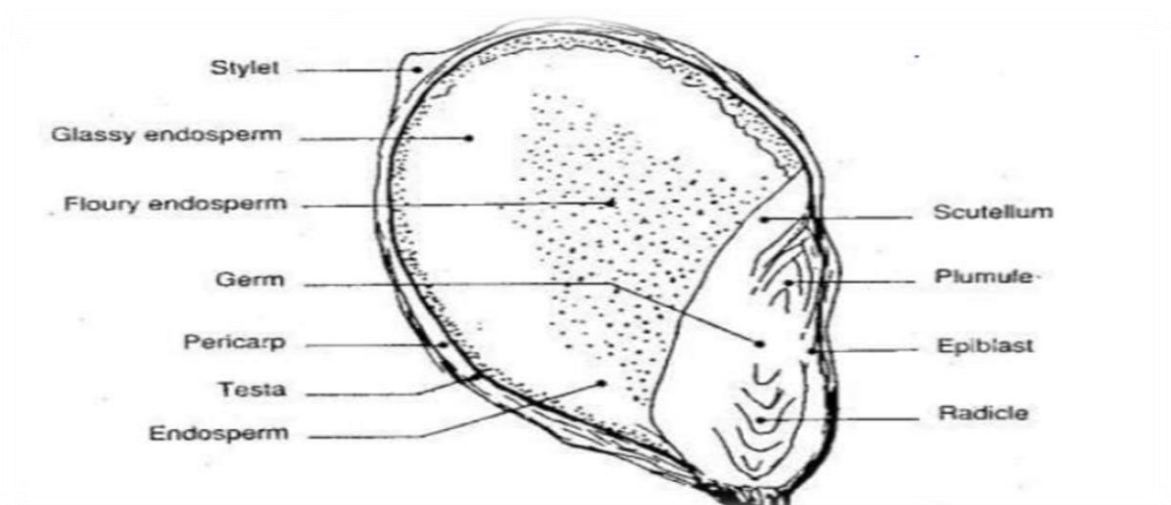


Fig.03- Histologie du grain du sorgho (**Sautier et al. 1989**)

La graine du sorgho est un caryopse ou fruit sec à un seul germe ; elle est composée de trois parties principales (Figure 03) : l'enveloppe et l'albumen et le germe, le péricarpe constitue l'enveloppe externe de la graine (**Jacques et al., 2013**). Entre le péricarpe et l'endosperme peut se trouver une couche hautement pigmentée, de couleur rouge foncée ou brune foncé appelée testa, sa présence ou son absence constitue une caractéristique variétale. Riche en composés tanniques. L'albumen du sorgho présente à l'extérieur une couche périphérique de cellules riches en vitamines, protéines et huile : C'est la couche d'aleurone. Sous cette première assise cellulaire se trouve l'albumen corné, vitreux, caractérisé par l'existence de granules d'amidon. Vient ensuite l'albumen interne, farineux où les granules d'amidon sont insérés dans une matrice protéique peu importante avec de nombreuses lacunes (**Chantereau, 1994**).

7. Physiologie du sorgho :

7.1. Croissance et développement :

Le terme «développement» c'est l'évolution de la plante au cours du temps. Selon **Heller (1985)**, il implique deux séries de modifications : des modifications quantitatives (augmentation de volume, de longueur, de surface, « croissance ») et des modifications qualitatives qui se traduisent par l'acquisition de nouvelles fonctions et de nouveaux organes.

La croissance et le développement du sorgho passent par trois phases successives :

- la phase végétative allant de la germination à l'initiation de la panicule.
- la phase reproductive allant de l'initiation paniculaire à la floraison.
- la phase de remplissage et de maturation des graines allant de la floraison à la maturité physiologique.

7.2. Cycle de développement :

Selon **Massaly (1992)**, comme toutes les céréales le sorgho considère généralement quatre phases dans le cycle de développement (Figure 04) :

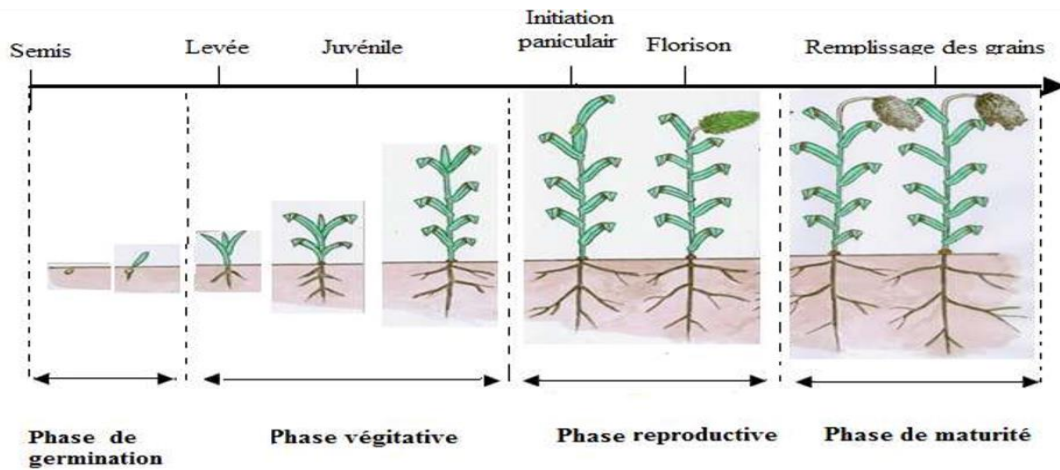


Fig.04- Stades de développement du sorgho (Chantereau et al., 2013)

➤ **Germination et développement de la plantule :**

Lorsqu'une graine est enfouie dans un sol humide, elle s'imbibe d'eau et gonfle. La germination se produit rapidement et dans les sols chauds, la coléoptile apparaît en premier au-dessus du sol au bout de trois à quatre jours (Le temps est plus long, jusqu'à dix jours dans des sols plus froids) (House, 1987). Lorsque la graine gonfle, son tégument se brise et une coléoptile mince ainsi que la racine primaire (radicule) apparaissent.

➤ **Phase végétative :**

Elle débute par la germination de la graine et l'émergence d'une jeune plantule. Les graines de sorgho cultivé n'ont habituellement pas de dormance. La coléoptile s'allonge et quelques racines primaires commencent à se développer. Il commence à émerger du sol, la première feuille sort bientôt en perçant son sommet. La jeune plante commence sa croissance, en produisant d'autres feuilles, la coléoptile restant à la base du pied sous forme d'une gaine. La mésocotyle croît durant cette période et un nœud se forme à la base de coléoptile juste en-dessous de la surface du sol. Des racines secondaires commencent à se développer au niveau de ce nœud, trois à sept jours après l'émergence du plant. La jeune plantule vit, durant cette période, sur les éléments nutritifs stockés dans l'endosperme. A peu près au moment où les racines secondaires ont commencé à se développer, la mésocotyle commence à disparaître et un système racinaire plus important se développe à partir des racines secondaires ou adventives. Les plantes restent en la phase végétative du sorgho dure 30 à 40 jours généralement, durant lesquels toutes les feuilles sont formées. Après cette période, la croissance se fait par élongation cellulaire (Doggett, 1988). Selon

Chantereau et Nicou (1991), la température optimale pour la croissance végétative se situe vers 33° à 34°C.

➤ **Phase reproductive :**

Les ébauches florales initiales apparaissent 30 à 40 jours après la germination (mais la formation de la fleur peut demander 19 à 70 jours ou plus). Cette phase marque un changement profond dans la physiologie de la plante, En général, l'ébauche florale apparaît de 15 à 30 cm au-dessus du sol lorsque les plants ont 50 à 75 cm de hauteur. L'initiation florale marque la fin de la période végétative de la croissance, résultat de l'activité des méristèmes (élongation cellulaire). Durant cette période rapide, le bourgeon floral se développe en une inflorescence. Environ 6 à 10 jours avant la floraison, la feuille paniculaire forme un renflement dans la gaine de la feuille. Ceci se produit dans une variété fleurissant 60-65 jours, environ 55 jours après la germination. La panicule de sorgho commence à fleurir à partir du sommet et la floraison se poursuit par étage successif en allant vers le bas durant une période de 4 à 5 jours (**House, 1987**).

Selon **Chantereau et Nicou (1991)**, la sensibilité des sorghos à la sécheresse est maximum durant cette phase.

➤ **Phase de maturation :**

Après la phase de pollinisation et de fécondation, le zygote est formé par fusion d'un gamète mâle et d'un gamète femelle. L'œuf va croître et développer un embryon qui cesse sa croissance lorsque la déshydratation atteint un certain seuil. Le développement de la graine, son remplissage commence juste après la pollinisation. La durée de remplissage complet varie de 30 à 50 jours environ selon le cycle des variétés, les facteurs climatiques et le poids du grain. Ce sont essentiellement les feuilles supérieures de la plante qui par leur activité photosynthétique, assurent l'accumulation de réserves. La graine de sorgho passe par les stades laiteux puis pâteux avant d'arriver à maturité physiologique caractérisée par l'apparition d'un point noir consécutif à la fermeture des faisceaux à sa base, la région du hile (**Chantereau et Nicou, 1991**).

8. Exigences écologiques :**8.1. Exigences en sol :**

Le sorgho s'adapte à de nombreux milieux. Toutefois, sa culture réussit le mieux sur les sols limoneux et limono-sableux. Le pH du sol supporté est de 5 à 8,5 et il tolère davantage la salinité que le maïs (**House, 1987**).

8.2. Exigences en eau :

Selon **Louise (2007)**, le sorgho présente une plasticité adaptative étonnante vis-à-vis des disponibilités en eau. Il exige moins d'eau pour sa croissance que les autres céréales. Des études ont montré que le sorgho a besoin de 332 kg d'eau pour produire 1 kg de matière sèche (MS).

8.3. Besoins en chaleur :

Le développement floral et la formation des graines se déroulent normalement à des températures de 30 à 43°C avec une humidité relative de 15 à 30%, si la plante dispose d'eau dans le sol (**Louise, 2007**).

8.4. Besoins en altitude :

Le sorgho peut être cultivé du niveau de la mer jusqu'à 1100 à 1300 m (**Chantereau, 1994**).

9. Culture du sorgho :**9.1. Préparation du sol :**

Le sorgho préfère un sol sablo-argileux, fertile et bien drainé. En culture mécanisée, le labour s'effectue à environ 30-40 cm de profondeur après une bonne pluie, puis pulvériser de 20 à 25 cm de profondeur. En culture manuelle, il faut faire un labour à la houe (**Louise, 2007**).

9.2. Semis :

Selon **Smith et Frederiksen (2000)**, le semis du sorgho se fait entre Avril et Mai (dont la température minimale du sol est de 12 à 15°C). Prévoir 10 à 15kg de semences par hectare. Densité de semis de 25 à 40 grains par m² dépendant de la variété et du sol.

9.3. Fertilisation :

Toute fertilisation minérale du sorgho doit être à base d'engrais binaire (azote + phosphore) (NP). Cependant, un complément en potassium (K) est souvent à apporter selon la richesse du sol en cet élément et de la quantité de la paille restituée (**Chantereau et al., 2013**).

9.4. Désherbage :

Eliminer les adventices, surtout pendant la phase végétative (**Louise, 2007**):

- **Chimiquement:** Avant la levée des plants du sorgho, traiter avec un herbicide de pré-levée juste après les semis.
- **Manuellement :** Deux à trois sarclages sont nécessaires (au démariage, 2 à 3 semaines après le démariage et à la montaison).

9.5. Récolte :

La maturité physiologique du sorgho (lorsque les 2/3 des feuilles de la plante sont jaunes), environ 45 jours après la floraison. Casser les tiges et couper les panicules ; ou faucher les tiges puis couper les panicules (**Louise, 2007**).

10. Utilisations du sorgho :

Le sorgho est une plante à usages multiples (**FAO, 1991**) :

- **L'alimentation animale:** en Amérique du Sud, Amérique centrale, Amérique du Nord Sud et Océanie, la plus grande partie de la production sert à l'alimentation animale.
- **L'alimentation humaine :** les principales régions productrices en Asie et en Afrique, l'homme consomme plus de 70% du sorgho.
- **L'industrie :** La culture a également une vocation industrielle orientée sur la production de la pâte à papier, la production du fuel et dans le domaine des énergies vertes (biogaz, éthanol-carburant, bioplastiques, biomatériaux).



CHAPITRE II :

SYNTHESE

BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre II: Les stress hydrique et salin chez les plantes :**2. Les stress hydrique et salin chez les plantes :****2.1. Notion de stress :**

Maarouf et Raynaud (2007) définissent le stress comme un ensemble des perturbations physiologiques ou pathologiques provoqué dans un organisme par des agents biotiques (pathogènes, parasites) ou abiotiques (température, salinité, pollution, sécheresse,...etc.).

Le terme stress, selon **Levitt (1980)**, fait référence à l'effet néfaste d'un facteur environnemental sur un organisme vivant. Pour **(Hopkins, 2003)**, toute force ou condition hostile qui tend à empêcher le fonctionnement normal de la plante (développement, croissance et productivité). Ce terme comprend à la fois les stress abiotiques (se présentant à chaque fois qu'il y a un excès ou un déficit dans l'environnement chimique ou physique de la plante) et les stress biotiques (causés par d'autres organismes vivants).

2.2. Stress biotique :

Les contraintes biotiques sont essentiellement liées aux maladies, aux mauvaises herbes, aux insectes ravageurs et aux oiseaux.

1. Les maladies :

Un certain nombre de maladies sont d'un intérêt économique majeur sur le sorgho. Les plus importantes sont les moisissures des grains, l'antracnose (*Colletotrichumgraminicola*), la pourriture charbonneuse (*Macrophominaphaseolina*), et le mildiou (*Peronosclerosporasorghii*) (**Ratnadass et al., 1997**).

2. Les plantes adventices :

Appelé zeeme ou waongo en moore, sêgê en jula, le striga (*Strigahermonthica*) qui présente le gène Sh Contig 9483 de *Strigahermonthica* est très semblable à un gène de *Sorghum bicolor*. Il est même un facteur limitant de la production du sorgho dans certaines régions en Afrique. Le strige lève pendant la montaison du sorgho et fleurit pendant sa maturation. Il est associé aux conditions de faible fertilité des sols (**Ramaiah et Parker, 1982**).

3. Les insectes ravageurs :

Les insectes posent un sérieux problème pour la culture du sorgho. La mouche des pousses du sorgho (*Atherigonasoccata*) peut causer des dégâts sévères à la culture. Compte

tenu de l'importance économique du ravageur, de nombreux efforts en matière de recherches sont fournis afin de limiter ses dégâts, tels que la résistance variétale, la lutte biologique, la lutte chimique et les pratiques culturales.

Au Burkina Faso, la solution aux problèmes posés par cet insecte a d'abord reposé sur l'utilisation des variétés résistantes mises au point par l'ICRISAT. Malheureusement, celles-ci se sont avérées inadaptées aux conditions du pays, en raison de leur sensibilité à d'autres contraintes biotiques (moisissures des grains, punaises des panicules et maladies foliaires) entraînant une mauvaise qualité de grains. Aussi, la nécessité d'un programme de création de variétés tolérantes et objectives de production et adaptées aux contraintes (**Dakouo et al., 2005**).

4. Les oiseaux :

Les oiseaux granivores constituent une menace majeure pour les cultures de sorgho et de mil. Le quelea à bec rouge (*Quelea*) est considéré comme l'un des plus nombreux et dangereux prédateur aviaire du monde. Ces oiseaux se nourrissent normalement des semences de graminées sauvages, mais peuvent provoquer d'importants dégâts dans les cultures de sorgho en cours de maturation. Cela sera d'autant plus grave que cette maturation sera décalée, avant ou après, celle de la flore sauvage et des champs environnants (**Bruggers et Jaeger, 1982**).

2.3. Stress abiotique :

Selon **Amrouche et Mesbah (2017)**, le stress abiotique a été défini sur la base qu'il s'agit d'un stress lié à l'action néfaste du non-vivant sur le vivant, en particulier l'action exercée par les facteurs environnementaux ; susceptibles de déclencher des modifications dommageables, provoquant ainsi chez une espèce végétale une augmentation du taux de mortalité de la population. D'autre part, la réponse du végétal dépend, entre autres : des paramètres environnementaux (tels que le type de la contrainte : salinité, sécheresse, température extrême) et génétiques (espèce et/ou génotype) (**Hopkins, 2003**).

2.3.1. Stress hydrique :

Le stress hydrique pose problème sérieux dans les environnements arides et semi-arides, où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique et où les précipitations changent d'année en année (**Boyer, 1982**).

Lamaze et al., (1994) définissent le déficit hydrique comme étant une baisse de la disponibilité de l'eau dans le milieu d'installation d'une culture donnée, entraînant une diminution de la croissance et/ou de sa reproduction des plantes par rapport au potentiel du génotype. Les auteurs **Chaumeil (2006) et Bousba (2012)** rapportent que l'origine de ce déficit peut être : une sécheresse qui se manifeste quand la quantité d'eau transpirée est supérieure à la quantité d'eau absorbée, ou à une salinité excessive du sol ou du gel qui par cristallisation des molécules d'eau diminue sa disponibilité ce qui réduit significativement les productions agricoles.

Toutefois, le stress hydrique est le plus souvent causé par la déshydratation. La carence en eau peut se manifester aussi bien dans le sol que dans l'atmosphère (**Veselovsky, 1985**). La sécheresse représente l'un des stress abiotiques les plus importants car elle peut avoir des effets sur les interactions entre la plante et ses agents pathogènes et pas seulement sur la plante cultivée. Sur la plante, l'effet simultané d'un stress hydrique et de l'infection par l'agent pathogène peut conduire à deux résultats différents : soit les deux stress sont à l'œuvre *antagoniste* en augmentant la tolérance des plantes aux agents pathogènes (**Achuo et al., 2006**), ou ils sont *synergiques* et inhibent la croissance et le développement des plantes (**Mayek-Perez et al., 2002**).

Généralement, le déficit hydrique du sol est lent (**Larcher, 1995**), mais la diminution de l'humidité de l'air peut parfois être rapide (**Yokota et al., 2006**). D'un point de vue physique de (**Lamaze et al., 1994**), le stress hydrique résulte d'un abaissement du potentiel hydrique dans l'air et/ou dans le sol en dessous d'une certaine valeur, dépendant des caractéristiques du milieu (vent, température, type de sol) et du génotype.

2.3.1.1. Influence du stress hydrique sur la morphologie de la plante :

Le stress hydrique provoque des modifications au niveau de la morphologie des plantes en limitant fortement leurs croissances (**Moulineau, 1993**). Un manque d'eau précoce affecte en parallèle la croissance des parties aériennes et des racines, le développement des organes reproducteurs et des feuilles (**Debaeke et al., 1996**) ; conduisant à une biomasse finale plus faible (**Villegas et al., 2001**). (**Bendarradji et al., 2016**) rapportent que la réduction significative du nombre et de la longueur de racines, pourrait être due à l'arrêt de l'élongation et de la division cellulaire au niveau de la partie racinaire. Une autre conséquence importante de la sensibilité à l'élongation des cellules lors d'un stress hydrique est la diminution observée de la surface foliaire. Cette dernière

diminuera la croissance de la plante surtout durant les premiers stades de développement. L'influence du déficit hydrique est souvent rapportée en terme de l'indice de surface foliaire, du nombre de talles, de la matière sèche des parties aériennes et racinaires, de hauteur des plantes ainsi que du rendement en grains (**Brahimi, 2017**).

2.3.1.2. Influence du stress hydrique sur la physiologie de la plante :

Parmi les modifications physiologiques liées au stress hydrique, on observe un changement dans la régulation stomatique qui influe sur la photosynthèse et la respiration.

De plus l'activité physiologique de la feuille est fortement affectée et est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire. Cette diminution est supposée dépendre d'une fermeture des stomates, avec pour conséquence une réduction de la conductance à la diffusion du CO₂ et d'une limitation biochimique du chloroplaste pour la fixation du CO₂ (**Brahimi, 2017**).

Cette même contrainte peut conduire à un stress oxydatif par production des espèces réactives d'oxygènes (les ROS) particulièrement le peroxyde d'hydrogène et le radical superoxyde (**Benkaddour, 2014**).

Les dommages conduits par un stress hydrique vont aussi avoir des conséquences sérieuses sur le plan métabolique et sur le plan structurel en affectant l'intégrité des protéines et des membranes, ce qui entraîne des dysfonctionnement métaboliques. **Hopkins (2003)** rapporte que les stress qui affectent la bicouche lipidique pourraient provoquer une perte de sélectivité des biomembranes. Ces dernières ont également tendance à devenir très poreuses lorsqu'elles sont desséchées.

2.3.2. Stress salin :

L'eau est un élément important pour les végétaux, mais parfois cet élément est difficile à être assimilé suivant le milieu naturel. En effet, en cas de stress salin la plante rencontre un problème en absorbant le sel qui affecte l'abaissement du potentiel hydrique du sol (ce qui a un impact sur l'alimentation en eau) d'une part et les activités physiologiques des cellules d'autre part.

Le stress salin se définit comme une concentration excessive en sel ; ce terme s'applique surtout à un excès des ions, en particulier Na⁺ et Cl⁻ (**Hopkins, 2003**). L'excès d'ions salins dans la solution du sol génère à la fois une pression osmotique élevée et une accumulation d'ions devenant toxiques dans les feuilles notamment celle du Na⁺. Ceci a

comme conséquence une diminution de la croissance et de la production des cultures due à une perturbation de plusieurs processus moléculaires, biochimiques, morphologiques et physiologiques (**Kpinkoun et al., 2019**).

La salinité est l'une des propriétés naturelles du sol, et la raison de sa formation est souvent l'activité de l'homme. La salinité et le déficit hydrique sont des contraintes majeures qui limitent significativement la production agricole pour plus de 40% de la surface terrestre, notamment en région méditerranéenne (**FAO, 1988 in Lemzeri, 2006**).

Actuellement, 800 millions d'hectares de terres à travers le monde sont affectés par la salinité ; 434 ha sont salins et sodiques et 397 millions ha sont salins (**FAO, 2005 in Diedhiou, 2006**). Les effets de la salinité sur la croissance des plantes varient de la concentration du sel, en fonction du type de salinité, de l'organe, de l'espèce, de la variété de la plante, ainsi que de son stade végétatif (**Levigneron et al., 1995**). Certaines espèces telles que le sorgho, le tournesol, l'orge, la betterave et le blé se montrent plus sensibles au stade juvénile qu'au stade plante adulte (**Munns et al., 2006**), mais cela ne semble pas être le cas pour toutes les espèces végétales.

Généralement, selon ses découvertes (**Derkaoui, 2011**) les plantes ont des réponses différentes à ce stress, par exemple la croissance des glycophytes est réduite ; D'autre part, les plantes halophytes ont développé des réponses physiologiques à ce problème.

En méditerranée, la salinité est une limitation dans nombreuses zones de cultures arables où la qualité de l'eau joue un rôle majeur et où la recherche de plantes adaptées à des seuils de salinité élevés devient essentielle pour la production agricole et ligneuse.

Selon **Szabolcs (1994)**, l'Algérie qui a une grande partie de ses zones agricoles se caractérisées par un climat aride et semi-aride, est affectée par le problème de salinité. Un milliard d'hectares sont menacés dans le monde, dont 3,2 millions d'hectares dans ce pays (**Belkhodja et Bidai, 2004**).

2. 3.2.1. Origines et causes de la salinité :

Maillard (2001) ont rapporté que l'altération des roches et des minéraux primaires est la principale source de tous les sels, mais que les sols salins sont rarement formés par accumulation de sels dans le site. Ainsi, il y a plusieurs raisons à l'origine de ce phénomène.

➤ **Origine primaire :**

La salinisation dite «primaire» car environ 80 % des terres salinisées sont d'origine naturelle. Dans ce cas, cela est dû à la formation des sels lors de l'altération des roches ou à des apports naturels extérieurs :

- Dans les régions côtières, submersion des terres basses ou intrusion de l'eau salée.
- Remontée d'une nappe phréatique salée près de la zone racinaire.
- Inondation périodique par de l'eau de mauvaise qualité (**Mermoud, 2006**).

➤ **Origine secondaire :**

Quant aux terres classées «secondaires», ce sont des terres salinisées qui en constituent environ 20% et qui ont une origine humaine ou anthropique. L'irrigation est la principale cause anthropique de la salinisation des sols (**Anonyme, 2006**). Dans environ la moitié des cas, le développement de l'irrigation s'est accompagné de l'apparition de processus de salinisation, de grillage ou d'alcalinisation des sols d'importance variable. L'irrigation modifie le bilan hydrique du sol en générant un apport d'eau supplémentaire; cet apport est toujours associé à l'apport de sels. En effet, même une eau douce de la meilleure qualité contient des sels dissous et si la quantité de sels apportée par cette eau apparaît faible, les quantités d'eau apportées au fil du temps conduisent à une accumulation de sels dans les sols qui peut être importante (**Marlet, 2005**).

2.3.2.2. Principaux sels responsables de la salinité :

Les sels proviennent de la combinaison des acides (anions) et des bases (cations). Et Parmi ces sels, on trouve principalement NaCl, CaSO₄, MgSO₄, NaHCO₃, Na₂SO₄, CaCl₂, MgCl₂ dans les sols salifères. Tous les ions peuvent participer à la salinisation ; en pratique l'accumulation de certains d'entre eux est susceptible de provoquer et une salinité excessive de sol, à savoir le sodium (Na⁺), le chlorure (Cl⁻), carbonate (CO₃⁻), ainsi que sulfate (SO₄⁻), le magnésium (Mg⁺⁺), le calcium (Ca⁺⁺), et les bicarbonates (HCO₃⁻) (**Benkhetou, 2003**).

2.3.2.3. Influence du stress salin sur la morphologie de la plante :

Des concentrations élevées de salinité affectent toutes les parties de la plante, mais elles semblent affecter davantage la croissance foliaire comparativement à la croissance

racinaire. Et ceux chez plusieurs espèces de plantes cultivées telles que le blé et l'orge (Xu, 1990 ; Gouia *et al.*, 1994).

L'hormone impliquée étant probablement l'acide abscissique (Kefu *et al.*, 1991). D'une manière générale ; cela l'émergence des nouvelles feuilles et retarde la croissance des pousses, diminue la longueur des coléoptiles et des feuilles et réduit le nombre et la hauteur de talles (Maas et Poss, 1989 ; Brahimi, 2017).

La salinité réduit la croissance des végétaux en provoquant un déséquilibre hydrique des tissus, ce phénomène est associé à une baisse de turgescence, suite à une réduction du gradient de potentiel hydrique entre la plante et le milieu (Ouerghi *et al.*, 2000). L'entrée du sel dans la plante crée également un déséquilibre ionique qui se traduit (suivant l'espèce) par des excès ou des carences en certains éléments. Ce qui peut entraîner une modification de la nutrition minérale (Levigneron *et al.*, 1995). Ces perturbations sont une cause possible des diminutions de la croissance foliaires et des parties racinaires de la plante (Haouala *et al.*, 2007).

2.3.2.4. Influence du stress salin sur la physiologie de la plante :

L'accumulation de sodium et de chlorure est l'une des menaces physiologiques les plus importantes pour les écosystèmes. Les sels peuvent être concentrés dans la solution du sol à hauteur de 2 à 5 fois leur valeur initiale. Cela augmente la difficulté d'extraire l'eau des racines et augmente la pression osmotique de la solution du sol. C'est ce qu'on appelle une sécheresse physiologique (Maillard, 2001). L'eau a tendance à quitter les cellules, et c'est alors que l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, provoquant un déficit hydrique et une perte de la turgescence (Redondo-Gomez *et al.*, 2006). Dans des conditions salines, la membrane plasmique et le principal site de l'interaction du sel avec la plante ce qui induit à une perturbation de la composition protéique et lipidique au niveau de celle-ci affectant ainsi sa stabilité (Alem *et al.*, 2005).

Lorsque la concentration en sel dépasse le niveau de tolérance de la plante, l'activité physiologique des feuilles est affectée par une photosynthèse réduite, qui est associée à une réduction du potentiel hydrique foliaire responsable de la fermeture des stomates. La diffusion du CO₂ à l'intérieur des stomates devient alors limitée et sa fixation est réduite au niveau des chloroplastes. Par conséquent nombreuses voies métaboliques sont perturbées,

dont la glycolyse, le cycle de Krebs, et l'assimilation de l'azote (**Price et Hendry, 1991 ; Allen, 1995 ; Alem et al., 2002 ; Jajoo, 2013**).

La salinité peut également entraîner la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) (**Jajoo, 2013**). L'excès de ROS déclenche des réactions phytotoxiques telles que, la dégradation des protéines, la mutation de l'ADN et la peroxydation des lipides (**Sreenivasulu et al., 2000**).



CHAPITRE

III :

MATERIEL ET

METHODE

CHAPITRE 3- MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. Objectif de l'essai :

La réalisation de ce travail s'appuie principalement sur l'effet de stress salin et hydrique sur les comportements morphologique et biochimique de (*Sorghumbicolor* (L) (*Moench*)).

- L'essai a été conduit sous une serre automatisé située au Centre universitaire de Nâama où tous les composants climatiques sont contrôlés.



Photo 05. La serre automatisée du centre universitaire de Naâma (Mlata et Arbaoui, 2022)

Tableau 1. Les caractéristiques de la serre automatisée du centre universitaire de Naâma

Facteurs abiotiques	
Photopériode (h)	8
Température	(20 à 27)°C
Humidité	(20 à 80)
Vent	0 m/s
Intensité lumineuse	400 w/m ²
Ensoleillement	95000 Lux

2. Matériel végétal :

Le matériel végétal utilisé durant notre expérimentation est composé de semences du Sorgho (*Sorghumbicolor(L) (Moench)*) de la variété de soudan .Cette espèce a été choisie pour sa croissance rapide et de sa valeur fourragère importante.



Photo 06. Les graines du Sorgho (*Sorghum bicolor (L) (Moench)*)

3. Méthodes :

3.1. Préparation du substrat :

- Nous avons commencé le nettoyage du sable ramené de Ain Sefra par des lavages successifs à l'eau ordinaire puis à l'esprit de sel pour éliminer les carbonates, les chlorures, etc....
- Des rinçages répétés à l'eau sont réalisés afin d'essayer d'éliminer toute trace de chlore.
- Enfin, le sable est séché à l'air libre.

Le substrat utilisé est composé de 2/3 du sable et 1/3 de terreau mélangé convenablement.



Photo 07. La préparation du substrat

Le substrat est rempli dans des cylindres en plastiques de 110 cm de diamètre et le fond de chaque cylindre est garni d'une couche de gravier afin d'assurer un bon drainage.

3.2.Préparation des graines (la germination) :

Les opérations de la germination ont été déroulées au niveau du laboratoire d'écologie. Les graines sont désinfectées à l'eau de javel à 8% pendant 10 minutes et rincées cinq fois à l'eau distillée pour éliminer toutes les traces.

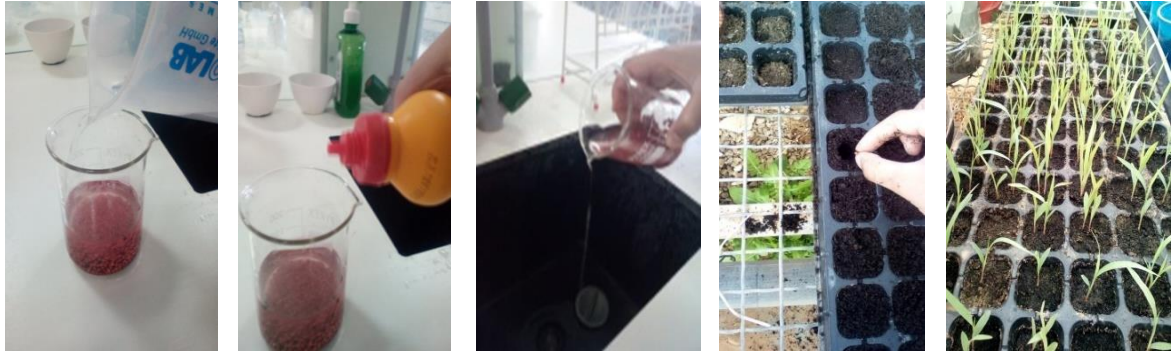


Photo 08. Les étapes de la préparation des graines à la germination

3.3.Le semis et le repiquage :

Le semis des graines a eu lieu le 15-02-2022 dans des alvéoles remplies de terreau couramment utilisées dans la serre automatisée. Après la germination des graines, les plantules ont été repiquées dans des cylindres contenant 5 kg (dans chaque cylindre) de substrat (mélange du sable et du terreau). Les lots sont repartis sur 30 cylindres à raison de 05 répétitions pour chaque lot quelque soit pour le stress salin ou bien le stress hydrique.



Photo 09. Les étapes du repiquage

3.4. Les solutions de l'irrigation :

Les solutions utilisées pour l'arrosage sont l'eau de robinet et les solutions salines à 100 et 300 mM de NaCl.

Le tableau 2 montre la quantité de NaCl (en g) nécessaire pour la préparation des solutions salines.

Tableau 02. La préparation de la solution saline

Concentration du sel	Quantité du sel/1L	Quantité du sel/5L
100 mM	5.844g/1L	29g/5L
300 mM	17.532g/1L	88g/5L

3.5. Dispositif expérimental :

3.5.1. Stress salin :

Après trois semaines de culture (21 jours), le stress salin a été induit par l'enrichissement des cylindres par les solutions salines à 100 mM et 300 mM en comparant toujours avec le témoin (sans sel), et cela selon la capacité au champ.

Les cylindres sont disposés en Lot 1 (témoin), Lot 2 (100 mM) et Lot 3 (300 mM) répété cinq fois.

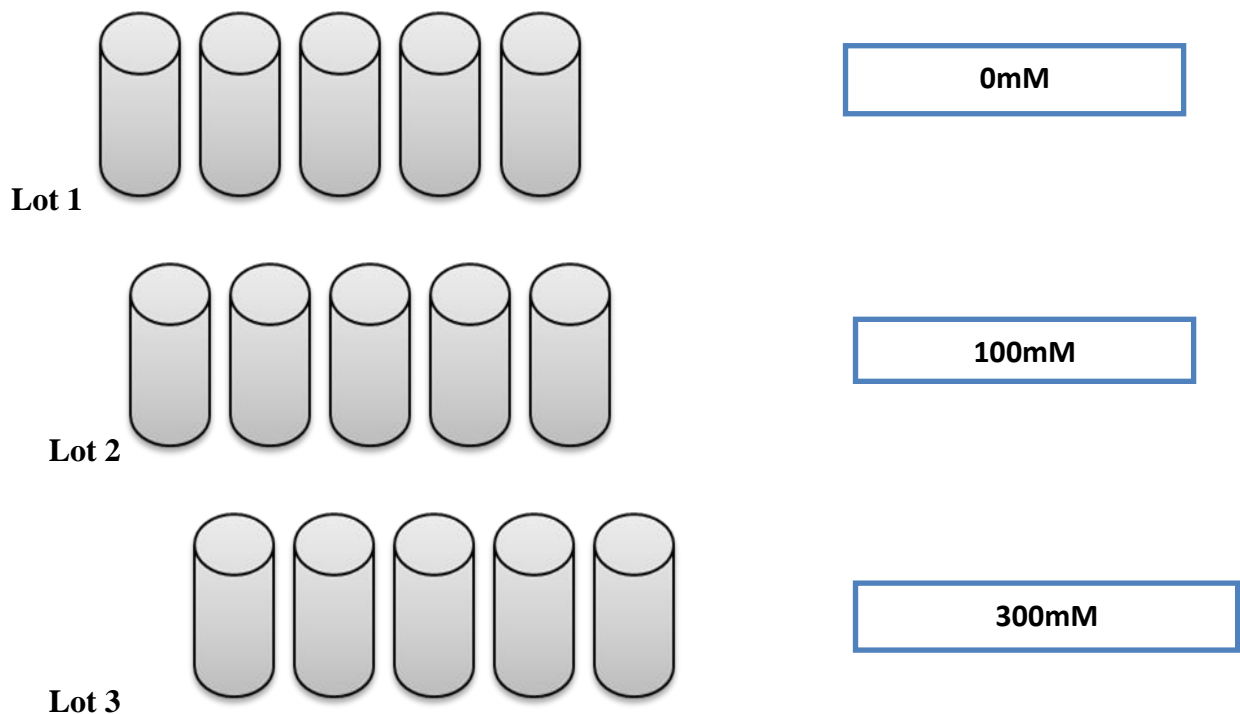


Fig.05- Dispositif expérimental des plantes sous stress salin.

3.5.2. Stress hydrique :

Ce dispositif se compose aussi de 3 lots répétés 5 fois et arrosés seulement par l'eau mais à des pourcentages différents pour traiter le déficit hydrique.

Les cylindres du lot 1 représentent le témoin (100 %) qui s'arrose par l'eau selon la capacité au champ.

Pour le deuxième et le troisième lot, les quantités d'eau sont calculées à partir de la quantité du témoin (100 %) pour obtenir 50 et 10 % d'eau.

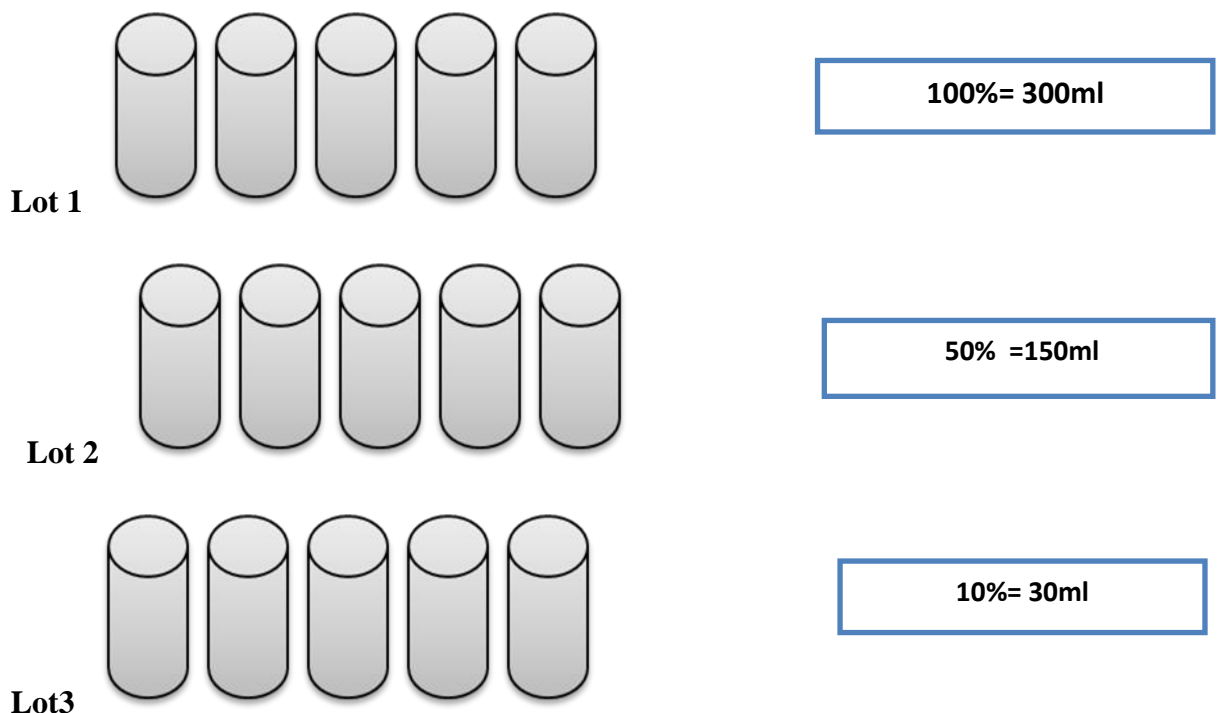


Fig.06- Dispositif expérimental des plantes sous un déficit hydrique

3.6. Déterrement et préparation du matériel végétal pour les analyses :

Les plantes sont déterrées à l'aide de l'eau en essayant à ne pas laisser des traces de substrat sur les racines.

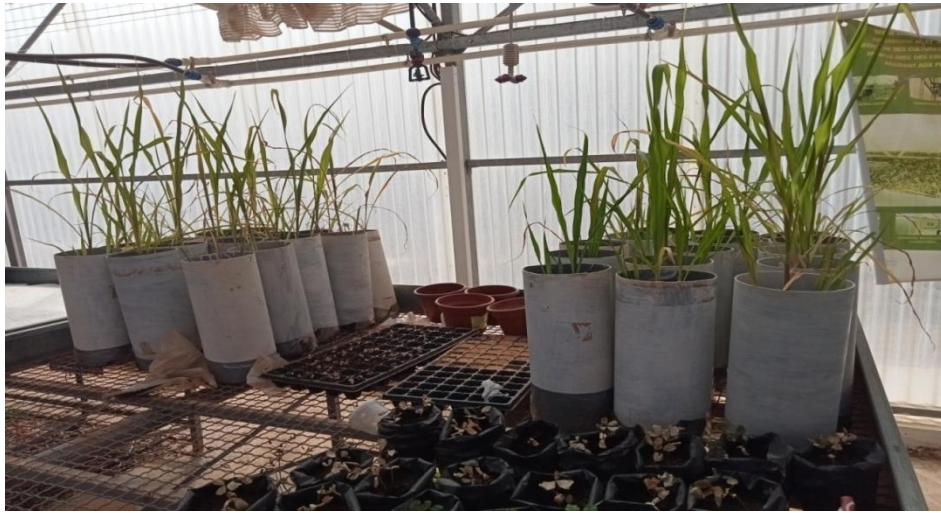


Photo 10. Dispositif expérimental des plantes de Sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) dans la serre

3.7. Les paramètres étudiés :

➤ Les paramètres biométriques :

- La longueur de la tige et des racines :

La longueur de la tige et des racines est mesurée à l'aide d'une règle graduée (cm), du collet à l'apex de la tige et l'extrémité des racines.



Photo 11. La longueur de la partie aérienne et racinaire

- Matière fraîche de la partie aérienne et souterraine :

Les plantes sont récoltées de la serre puis classées dans les sachets de congélation. Au laboratoire, les parties aérienne et souterraine sont séparées au niveau du collet et pesées rapidement pour éviter la perte d'eau (poids frais).



Photo12. Séparation des deux parties (aérienne et souterraine) avec la pesée

- **Matière sèche de la partie aérienne et souterraine :**

Les deux parties aérienne et souterraine fraîches sont enveloppées séparément à l'aide de papier aluminium et séchées dans l'étuve à 70°C durant 48 heures. Les pesées sont faites après 48 heures (poids sec).

➤ **Les paramètres biochimiques :**

- **Chlorophylle :**

Les teneurs en chlorophylle a, chlorophylle b, chlorophylle totale et caroténoïdes sont déterminées selon la méthode de (**Lichtenthaler, 1987**). Dans un tube à essai, on ajoute 4 ml d'acétone 95% à 40 mg d'échantillon frais coupé en petits fragments, l'ensemble est conservé à l'obscurité à 4°C pendant 48 heures.



Photo 13. Les étapes de protocole de la chlorophylle

La densité optique est lue à l'aide d'un spectrophotomètre à 663 nm, 647 nm et à 470 nm. L'appareil est étalonné avec la solution témoin à base d'acétone à 95%, les concentrations de caroténoïdes, chlorophylle (a) et chlorophylle (b) sont calculées par les formules suivantes :

$$\text{Chl a } (\mu\text{g.mL}^{-1}) = 12,25. \text{ DO (663) } - 2,79. \text{ DO (647).}$$

$$\text{Chl b } (\mu\text{g.ml}^{-1}) = 21,5. \text{ DO (647) } - 5,10. \text{ DO (663).}$$

- Proline :

La méthode d'extraction de la proline a été préconisée par la méthode de (I'A.O.A.C, 1955) et modifiée par (Nguyen et Paquin, 1971). Elle consiste à mettre 100 mg de matériel végétal dans un mortier, puis de le broyer avec 1.25ml d'éthanol à 95% suivi de trois rinçages et lavages avec 1.25 ml d'éthanol à 70%. La solution finale est recueillie dans un tube afin qu'elle soit décantée pendant 1heure. 2.5 ml de la phase supérieure sont prélevés aux quels sont ajoutés 1ml de chloroforme et 1.5 ml d'eau distillée. Après agitation, la solution est maintenue au repos pendant 24 heures au froid pour obtenir une bonne séparation. Deux phases se distinguent.



Photo 14. Les étapes de protocole de la proline

Le dosage de la proline libre est réalisé selon le protocole de (Bergman et Loxley, 1970). Dans un tube à essai, 1ml de la phase supérieure de l'échantillon est prélevé. On lui ajoute 2 ml de chlorure de sodium (NaCl) à 5 M et 5ml d'eau distillée. Après agitation, 1ml est récupéré auquel est ajouté 1 ml de solution tampon phosphate (pH=3 en NaH_2PO_4 ;3,88 M et H_3PO_4 , 5,32 M) et 2ml de ninhydrine. Après agitation et chauffage au bain marie à 100°C pendant une heure, les tubes à essai sont

laissés à l'obscurité à température ambiante pendant 30 min. La lecture de la densité optique se fait par spectrophotométrie à UV à 515 nm.



CHAPITRE V :

RESULTAT ET INTERPRETATION

CHAPITRE V-RESULTAT ET INTERPRETATION

I. Croissance de plantes :

1. Longueur :

1.1.Le stress salin :

La figure 07 montre les variations de la longueur des plantes sous l'effet de la salinité. Selon nos résultats, les plantes témoins montrent une longueur importante de la partie aérienne (87,16cm) par rapport aux plantes stressées sous 100 et 300 mM de NaCl en enregistrant respectivement les valeurs suivantes 75,63cm et 63,3cm.

Tableau 03.La longueur (cm) des deux parties du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench))(partie aérienne et souterraine) sous l'effet de la salinité

Les concentrations	Témoin	100mM	300 mM
La partie aérienne (cm)	87,1666667	75,6333333	63,3
La partie souterraine (cm)	31,1666667	32,8666667	33,5

Pour la partie souterraine, une légère croissance est signalée chez les racines des plantes soumises sous le sel. Cela a été montré par les valeurs signalées dans le tableau 3 et la figure 7 (témoin = 31,16 cm comparativement au 100 mM =32,86 cm et 300 mM =33,5cm).

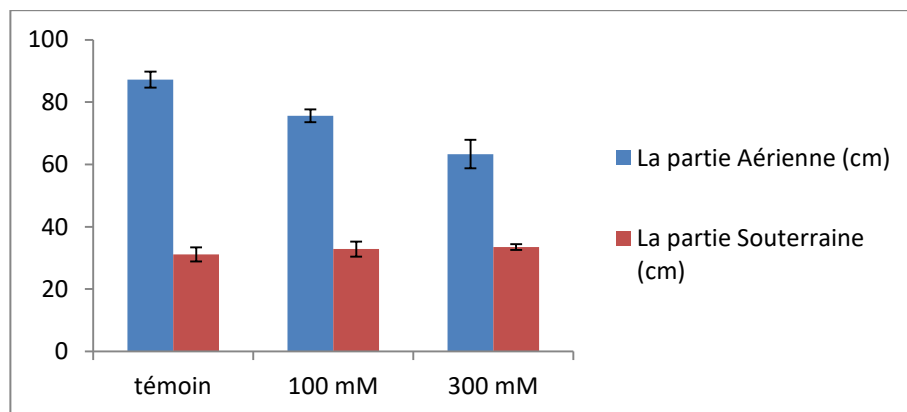


Fig.07-Effet de la salinité sur la longueur des parties aérienne et racinaire du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench))

1.2.Le stress hydrique :

De la figure 8, il faut remarquer que la longueur de la partie aérienne représente des valeurs proches chez toutes les plantes. Une réduction remarquable dans la longueur est signalée chez celles irriguées avec 10% (81,33 cm) et 50% (82,6 cm) d'eau selon la capacité au champ comparativement aux plantes témoins (87,16 cm).

Tableau 04. La longueur (cm) des deux parties du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench))(partie aérienne et souterraine) sous l'effet du déficit hydrique

Les concentrations	Témoin	50%	10%
La partie aérienne (cm)	87,1666667	82,1666667	81,3333333
La partie souterraine (cm)	31,1666667	30,7	33,3333333

Au niveau racinaire, des valeurs voisines sont signalées chez toutes les plantes quelle que soit chez les témoins ou chez les plantes exposées au déficit hydrique.

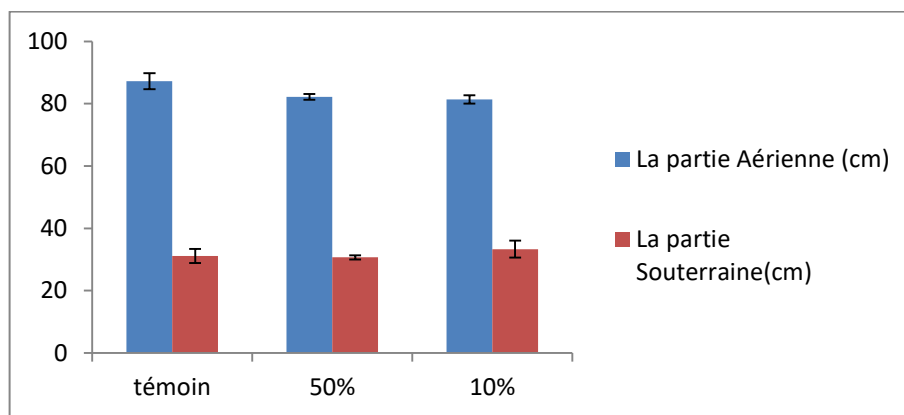


Fig.08- Effet du déficit hydrique sur la longueur des deux parties aérienne et racinaire du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench))

2. Le poids frais :

2.1.Le stress salin :

Selon la figure 09, le poids frais de la partie aérienne des plantes témoins (21,73g) subis une réduction des valeurs sous l'effet du NaCl à 100 mM (17,5g) et à 300 mM (8,63g).

Tableau 05.Le poids frais (g) des deux parties du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) (partie aérienne et souterraine) sous l'effet de la salinité

Les concentrations	Témoin	100 mM	300 mM
La partie aérienne (g)	21,7333333	17,5	8,63333333
La partie souterraine(g)	55,8666667	24,1333333	10,2333333

Au niveau racinaire, une forte chute du poids sec est signalée à la présence des concentrations salines variant entre 24,13 et 10,23 g comparativement au témoin.

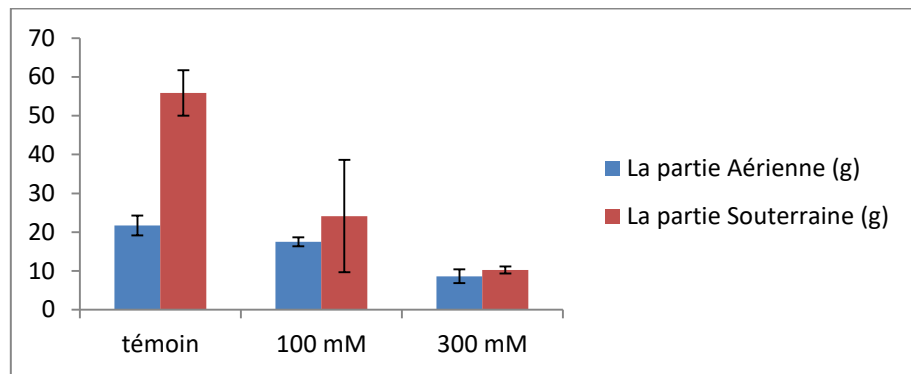


Fig.09- Effet de la salinité sur le poids frais de partie aérienne et souterraine de sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench))

2.2.Le stress hydrique :

Le déficit hydrique appliqué sur les plantes du sorgho à 50 et 10 % induit une diminution dans le poids frais au niveau de toute la plante. Cela se traduit par les valeurs 16,86 g et 10,93 g respectivement de la partie aérienne des plantes soumises à 50 et 10 % par rapport au témoin (21,73). Pour la partie souterraine, Les valeurs du tableau représentent presque la moitié des plantes témoins (27,4 g et 33,33 g sous 50 et 10 % respectivement contre 55,86 g des plantes témoins).

Tableau 06.Le poids frais (g) des deux parties du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) (partie aérienne et souterraine) sous l'effet de déficit hydrique

Les concentrations	Témoin	50%	10%
La partie aérienne (g)	21,7333333	16,8666667	10,9333333
La partie souterraine (g)	55,8666667	27,4	33,3333333

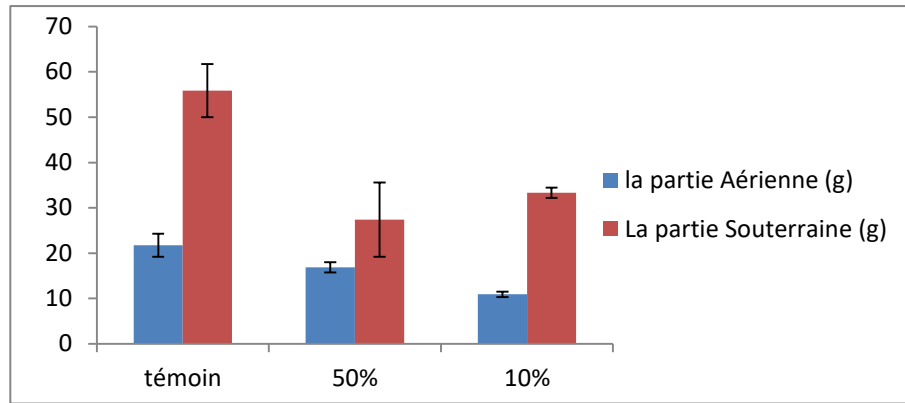


Fig.10- Effet de déficit hydrique sur le poids frais de partie Aérienne et souterraine de sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench))

3. Le poids sec :

3.1.Le stress salin :

Les résultats de ce paramètre indiquent des valeurs instables. Sous l’effet de 100 mM de NaCl, le poids sec des deux parties aérienne et souterraine montre une augmentation par rapport aux témoins. Lorsque le milieu extérieur est enrichi par le sel, Le poids baisse clairement dans les deux parties de la plante.

Tableau 07.Le poids sec (g) des deux parties du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) (partie aérienne et souterraine) sous l’effet de la salinité

Les concentrations	Témoin	100 mM	300 mM
La partie aérienne (g)	6,5	11,2333333	2,86666667
La partie souterraine (g)	12,9	18,9666667	2,86666667

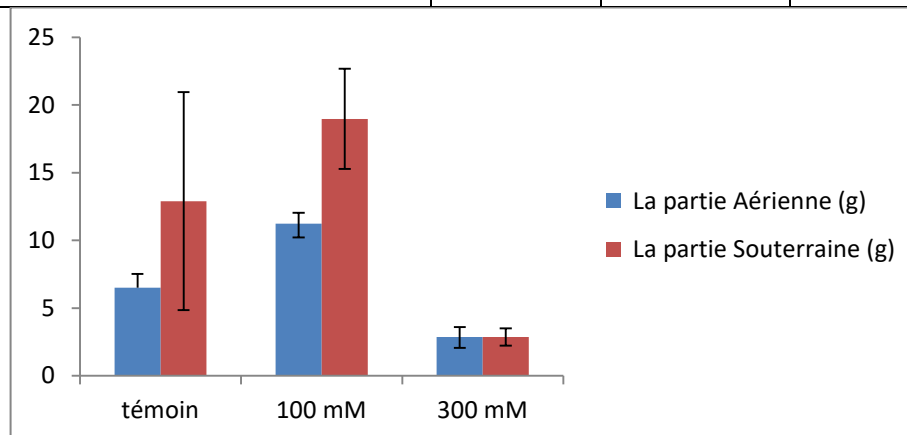


Fig.11- Effet de la salinité sur le poids sec de partie aérienne et racinaire de sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench))

3.2. Le stress hydrique :

Les résultats mentionnés dans ce travail montrent pour la partie aérienne une chute dans le poids sec de la partie aérienne des plantes arrosées par 10 et 50 % d'eau d'environ la moitié par rapport aux plantes témoins.

Tableau 08. Le poids sec (g) des deux parties du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) (partie aérienne et souterraine) sous l'effet de déficit hydrique

Les concentrations	Témoin	50%	10%
La partie aérienne (g)	6,5	3,8	3,66666667
La partie souterraine (g)	12,9	13,4666667	27,0333333

Pour la partie racinaire, une augmentation dans le poids sec est signalée chez les plantes subissant un déficit hydrique à 50% et qui s'augmente plus à 10 %.

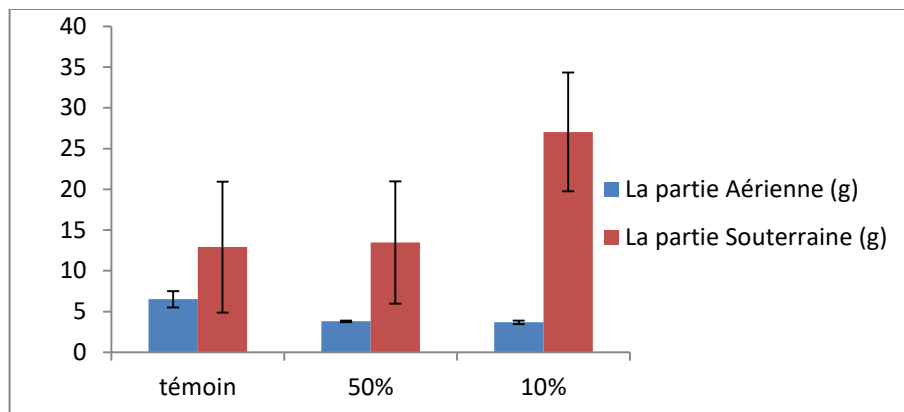


Fig.12- Effet du déficit hydrique sur le poids sec de partie Aérienne et racinaire de sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench))

II. Caractéristique biochimique :

1. Chlorophylle a et b :

1.1. Stress salin :

L'évaluation de la teneur en chlorophylle subit une diminution sous l'effet des concentrations croissantes de NaCl.

Tableau 09.La teneur en chlorophylle **a** et **b** ($\mu\text{g/g MF}$) du sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) sous l'effet de la salinité

Les concentrations	Témoin	100 mM	300 mM
Chlorophylle a	1332,62531	1175,777697	800,8347233
Chlorophylle b	209,08347	232,19563	130,15197

Les plantes témoins enregistrent la teneur la plus importante en chlorophylle a (1332.62 $\mu\text{g/g PF}$) comparativement aux teneurs des plantes stressées à 100 mM (1175,77 $\mu\text{g/g PF}$) et à 300 mM (800,83 $\mu\text{g/g PF}$).

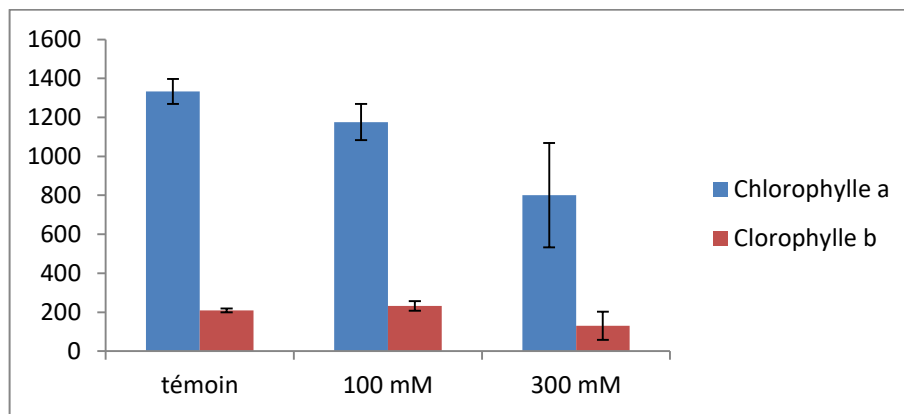


Fig.13- Effet de la salinité sur la concentration de chlorophylle **a** et **b**

D'autre part, la chlorophylle **b** baisse sous l'effet de la concentration la plus élevée 300 mM l'effet de la salinité ; alors que sous 100 mM la teneur en pigment augmente jusqu'à 232,19 $\mu\text{g/g PF}$ par rapport au témoin (209,08 $\mu\text{g/g PF}$).

1.2.Stress hydrique :

La figure 14 montre que la chlorophylle est à son maximum pour les plantes témoins.

Tableau 10.Moyenne de la teneur en chlorophylle **a** et **b** ($\mu\text{g/g MF}$) de sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) sous l'effet de déficit hydrique

Les concentrations	Témoin	50%	10%
Chlorophylle a	1332,62531	1269,39931	497,430723
Chlorophylle b	209,08347	158,20303	51,048767

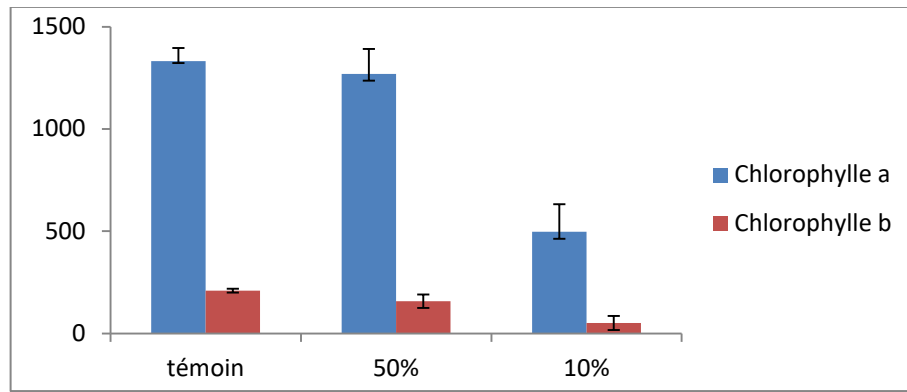


Fig.14- Effet de le déficit hydrique sur la concentration de chlorophylle **a** et **b**

La chlorophylle **a** est affecté plus sous l’effet de déficit hydrique, l’irrigation avec des quantités décroissantes d’eau entrainé une diminution sous 50% (1269,39µg/g MF) comparativement au témoin (1332,62µg/g MF). Sous l’effet de 10 %, la teneur en ce pigment est trois fois moins (497,43µg/g MF) celle enregistrée chez le témoin.

Les mêmes résultats sont signalés chez la chlorophylle **b**, les plantes exposées au déficit hydrique à 50% rapportent une réduction (158,20µg/g MF) en comparant au témoin. Sous un stress intense (10%), la teneur en chlorophylle **b** est quatre fois moins (51,04µg/g MF) celle signalée chez le témoin (209,08µg/g MF).

2. proline :

2.1. Stress salin :

Les résultats de la figure 15 montrent une importante accumulation de la proline au niveau foliaire sous toutes les concentrations salines. Les teneurs en proline augmentent dans les feuilles beaucoup plus que les racines sous l’effet de la salinité lorsque le milieu devient plus concentré 300mM.

Tableau 11. Moyenne de la teneur en proline (µg/g MS) de deux parties de sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench))(partie aérienne et souterraine)sous l’effet de la salinité

Les concentrations	Témoin	100 mM	300 mM
La partie aérienne µg/g	4148	5355	10392,6667
La partie souterraine µg/g	26854,3333	30220,3333	32039,3333

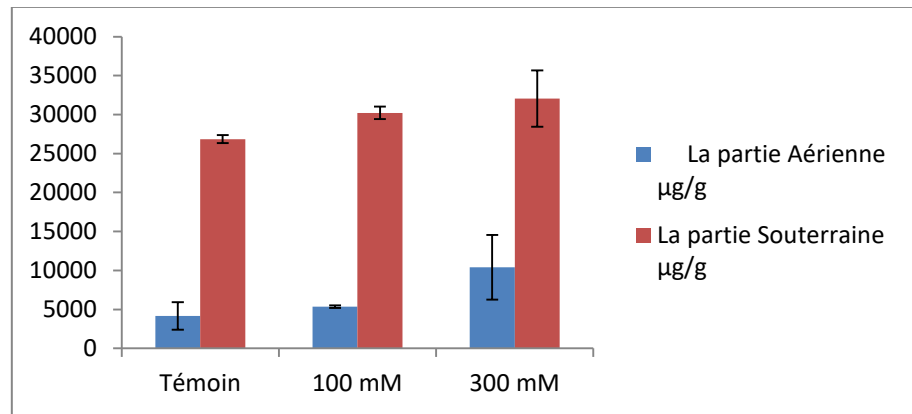


Fig.15- Teneurs en proline (µg/g PS) chez (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) sous stress salin

2.2.Stress hydrique :

Nos résultats enregistrent une accumulation foliaire et racinaire en proline après l’application du déficit hydrique à 50 et à 10 %. La figure 16 révèle des teneurs voisines au niveau de la partie aérienne varient entre 5695 et 7225µg/g MS pour les plantes stressées en comparant avec celles de témoin (4148µg/g MS). Les mêmes résultats sont signalés dans la partie racinaire où s’enregistre une accumulation en acide aminé avec des valeurs proches à celle indiquée chez le témoin.

Tableau 12.La teneur en proline (µg/g MS) des deux parties de sorgho (*Sorghum bicolor* (L) (Moench))(partie aérienne et souterraine)sous l’effet de déficit hydrique

Les concentrations	Témoin	50%	10%
La partie aérienne µg/g MS	4148	5695	7225
La partie souterraine µg/g MS	26854,3333	28492	30095,6667

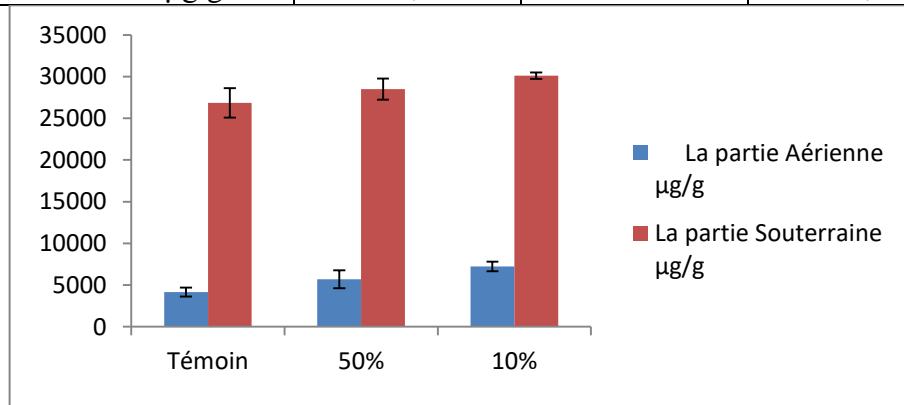


Fig.16- Teneurs en proline (µg/g PS) chez (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)) sous stress hydrique



DISCUSSION

Discussion :

La croissance et le développement d'une culture représentent les transformations quantitatives et qualitatives qui accompagnent le parcours des différentes étapes de sa vie de puis l'implantation jusqu'à la maturité (**Feillet, 2000**). Sur cette base, la croissance est l'augmentation irréversible de toutes les dimensions de la plante : longueur, surface, volume, largeur, diamètre et mass (**Tayeb, 1995**). Il est établi que l'effet d'un stress salin et hydrique varie sensiblement en fonction de la sévérité du stress, de la durée d'exposition, du stade de développement et du génotype (**Yokota et al., 2006**). Le stress salin intense induit une réduction de la production des auxines, des gibbérellines et des cytokinines des tissus cellulaires et augmente la concentration de l'acide abscissique (ABA) (**Moorby et Besford, 1983**). Ces changements hormonaux sont suspectés d'être à l'origine de la réduction de la croissance de la plante sous stress salin.

Nos résultats rapportent une réduction dans la longueur de la partie aérienne et une augmentation dans la partie racinaire. La réduction de la croissance aérienne observée au niveau des plantules peut s'expliquer par une augmentation des taux de certains régulateurs de croissance dans les cellules, notamment l'acide abscissique induit par le stress hydrique et la salinité (**Daroui et al., 2012; Marguerit, 2010**). Selon (**Bakht et al., 2011**), des concentrations élevées de la salinité avaient pour effet de réduire la longueur des feuilles. La croissance enregistrée chez les racines pourrait être due au mécanisme de résistance adopté pour chercher l'eau nécessaire aux plantes. Par contre, (**Teggar, 2015**) rapportent que la concentration de NaCl appliqué à provoquer une diminution de la longueur de la racine principale et d'autre partie. En effet, les plantes témoins montrent que la longueur et le nombre de racines sont plus élevés que les plantes stressés (**Läuchli et Epstein, 1990**). Un autre chercheur rapporte que le sel affecte le développement du système racinaire (**Neumann, 1995**). Il est évident que plus la salinité est élevée, une diminution significative de la biomasse des racines, la longueur des racines, la surface racinaire de plante (**Mohamed et al., 1998**) et le nombre des racines (**Gasmi et Dehiri, 2018**). Chez l'orge, une diminution de l'élongation du système racinaire a été observée à des concentrations élevées de NaCl 100 à 200 mM (**Suhayda et al., 1992**). Selon (**Zhao et al., 2007**), le sel induit une réduction dans la biomasse racinaire et une rapide réduction de la croissance du système racinaire chez le blé.

L'effet du stress hydrique peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou génotype, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilés.

Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine (**Bajji, 1999**). Un stress hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype. Selon (**GATE, 1995**), la sécheresse réduit la hauteur et le diamètre de la tige, réduit le nombre de feuilles et la surface foliaire et augmente le nombre des tomates par unité de surface.

Nos résultats concernant le déficit hydrique montrent une diminution dans la longueur de la partie aérienne et une légère croissance chez les racines. (**Matsuura et al., 1996**) estiment qu'il existe une relation positive entre la longueur de la racine et la tolérance à la sécheresse. Ils suggèrent aussi qu'un système racinaire long et extensif peut conférer un avantage en augmentant l'apport en eau de la partie aérienne. Les mêmes auteurs (**Matsuura et al., 1996**) rapportent que sous le stress hydrique la longueur totale de la racine diminue chez le maïs et augmente chez d'autres plants. D'après (**Vannozzi et Paolini, 1982**), les populations ayant un système racinaire bien développé résistent mieux à la sécheresse.

L'étude de l'effet des stress abiotiques sur la teneur en chlorophylle revêt une importance particulière du fait que l'activité photosynthétique est largement tributaire de la teneur en chlorophylle (**Radhouane, 2006**). (**Levingneron et al., 1995**) rapportent que l'effet néfaste des stress abiotiques sur les teneurs en pigments chlorophylliens est partiellement à l'origine de la diminution de la synthèse des hydrates de carbone (**Benderradji et al., 2016**). Une diminution qui peut s'expliquer par le fait que les stress hydrique et/ou salin réduisent l'assimilation de l'azote via le sol. L'azote étant un composant essentiel dans la formation de la chlorophylle, le stress va donc réduire la concentration des pigments chlorophylliens (**Parwata et al., 2012 ; Hajlaoui et al., 2007**). D'après (**Farissi et al., 2014**), la réduction de la photosynthèse par la salinité est l'une des causes majeures de la réduction de la croissance et de la productivité végétale. Dans ce sens, les mesures de la photosynthèse sont souvent utilisées dans les études d'adaptations des plantes à différentes contraintes du milieu, telle que la salinité. La teneur en chlorophylle des feuilles peut être influencée par beaucoup de facteurs tels que l'âge et la position des feuilles (**Hikosaka et al., 2004**) ainsi que par les facteurs environnementaux tels que la lumière, la température, la salinité et la disponibilité en eau (**Hikosaka et al., 2004 ; Hikosaka et al., 2006**). Selon (**Levingneron et al., 1995**), l'effet néfaste de la salinité sur les teneurs en pigments chlorophylliens est partiellement à l'origine de la diminution de la synthèse des hydrates de carbone.

Nos résultats concordent avec ceux de (**Benderradji et al., 2016**) qui ont attribué la chute des teneurs en chlorophylle en condition de stress salin à : la diminution de la surface

foliaire, la fermeture des stomates et à la déficience de la fixation du gaz carbonique. Plusieurs études ont signalé des dommages au niveau des pigments des feuilles en conditions de déficit hydrique (**Nyachiro et al., 2001 ; Moaveni, 2011, Bousba et al., 2013**). Cela s'explique par la fermeture des stomates et le manque de CO₂, associés à une production accentuée des ROS (**Mascher et al., 2005**). De cette façon, le déficit en eau peut conduire à une sur-réduction de la chaîne de transport des électrons photosynthétiques, entraînant des effets nuisibles tels que la photo inhibition et la photo-oxydation (**Bouchemal, 2018**). De même, des résultats similaires ont été rapporté d'une part par (**Acila, 2003**) qui montre que la concentration saline provoque une effet néfaste sur la production des feuilles et diminue nettement la teneur en chlorophylles totales de deux variété de blé (*Tricum durum Desf*) et par (**Hamdy, 1999**) sur le blé tendre.

La proline est considérée comme un "élément osmorégulateur" dont l'accumulation semble être un indice de résistance non seulement au stress salin mais également au stress hydrique (**Djahra et al., 2015**). Cette aptitude varie d'ailleurs d'une espèce à l'autre et selon la nature et l'intensité du stress rencontré (**Delauney et Verma, 1993**). Selon (**Wilfred, 2005**), la capacité d'accumulation de la proline chez les plantes est un facteur variétal, et un signe de tolérance au stress hydrique.

L'augmentation des teneurs de la proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et notamment le blé dans différentes situations de salinité et/ou de sécheresse (**Denden et al., 2005 ; Brahimi, 2017 ; Nouri 2002**). Nos résultats en proline révèlent une forte accumulation au niveau racinaire comparativement à la partie aérienne, cela peut être du à la migration de cet acide aminée après sa synthèse dans les feuilles. Après l'enrichissement du milieu extérieur par le sel, une accumulation est signalée dans les deux parties. Plusieurs auteurs montrent que l'augmentation de la teneur en proline est reliée directement à l'application du stress hydrique (**Cechin et al., 2006**). L'accumulation de la proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (salin; osmotiques, hydriques, thermiques) (**Blum., 1996**). Plus le niveau de stress appliqué augmente plus les teneurs en proline deviennent plus marquées (**Savouré et al., 1995**). Les teneurs en proline s'accroissent rapidement chez de nombreuses mono- ou dicotylédones soumises à un stress, et selon (**Khadi Mounaye Mint, 2012**) la teneur de la proline dans la partie aérienne de la plante du fève *Vicia faba (L)* minor augmente proportionnellement avec le stress salin. Cette variation serait due à une compartimentation de l'acide aminé, d'où l'expression de sites de résistance de la plante à la contrainte saline (**Belkhodja et Benkabilia, 2000**). Dans ce contexte, l'accumulation de proline permet la

protection de la membrane cellulaire et participé à l'ajustement osmotique (**Hassani et al., 2008**).



CONCLUSION ET PERSPECTIVE

Conclusion et perspective :

La salinité du sol et le déficit hydrique font partie des facteurs affectant sur la croissance et la production des végétaux en perturbant leur métabolisme (la photosynthèse, la respiration, l'assimilation de l'azote et plusieurs autres processus), Si le stress est assez sévère ou dure longtemps, il peut conduire à une charge métabolique insupportable par les cellules conduisant ainsi à la réduction de la croissance et, dans les conditions extrêmes, à la mort de la plante.

Au stade plante, les données obtenues à partir de plantes exposées au stress salin et stress hydrique montrent une détérioration de la croissance avec l'augmentation de la durée et de l'intensité du stress, exprimée par une réduction dans la longueur de la partie aérienne et de poids frais et sec des deux parties. La longueur des racines enregistre une légère croissance, ce qui est dû à sa recherche à l'eau durant le stress.

Le manque d'eau et la salinité entraînent une diminution de l'activité de la photosynthèse et donc une diminution de la production de pigments chlorophylliens. La proline s'accumule dans la tige et les racines des plantes exposées au stress hydrique ou salin, de sorte que son pourcentage est très élevé par rapport aux plantes témoins. Il a également été considéré comme un indicateur d'adaptation à un stress particulier (sel ou stress hydrique). Une teneur élevée en proline est une réponse protectrice des plantes, des facteurs qui réduisent la teneur en eau des cellules. Cette acide aminé chute de manière inversement proportionnelle à la chlorophylle.

Malgré le fait que cette plante soit une plante résistante au stress et à la sécheresse, l'augmentation de l'intensité et durée de stress a affecté sa croissance et son développement de manière nettement négative.

C'est pourquoi quelques perspectives sont proposées :

- ❖ Il serait intéressant d'analyser (*Sorghumbicolor* (L) (Moench)) à différents âges et augmentation les périodes de stress pour voir sa tolérance à la sécheresse, et aussi sous d'autres concentrations de NaCl et d'autres types de sel.
- ❖ Il serait important d'étudier cette espèce dans différents types de sol.



RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- Abdelly C., 2005** : Utilisation des halophytes pour la réhabilitation et la valorisation des sols salins. Séminaire international sur l'amélioration des productions végétales (APV 2005) –LRGB-INA-Alger.123-126.
- Abu Assar A. H., Uptmoor R., Abdelmula A. A., Wagner C., Salih M., Ali A.M., Ordon F. &Friedt W. 2009.**Assessment of sorghumgeneticresources for genetic diversity and drought tolerance us in
- Achuo, E. A., Prinsen, E., &Hofte, M. 2006.** Influence of drought, salt stress and abscisic acid on the resistance of tomato to *Botrytis cinerea* and *Oidiumneolycopersici*. *Plant pathology*, 55(2), 178-186.
- ACILA I., 2003.** Influence de la salinité sur les mécanismesmorpho physiologiques, biochimiques et la balance ionique chez le blé dur (*TriticumDurumDesf*). *Mémoire de magister en bio. Vég. Univ. Annaba*.
- ADEME, 1998.** Sorghos. Céréaliers de France. 8p.
- Alem, C., Labhilili, M., Brahmi, K., Jlibene, M., Nasrallah, N., &Filali-Maltouf, A. 2002.**Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *Comptes rendus biologies*, 325(11), 1097-1109.
- Allen, R. D. 1995.** Dissection of oxidative stress toleranceusingtransgenic plants. *Plant physiology*, 107(4), 1049. Almansouri, M., Kinet, J. M., &Lutts, S. (2001). Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*TriticumdurumDesf*). *Plant and soil*, 231(2), 243-254.
- Amrouche, I., &Mesbah-El, K.A. 2017.** Effet du stress abiotique sur l'accumulation des protéines totales chez deux variétés de blé dur (*TriticumdurumDesf*). *Mémoire de Master en Biologie et Génomique Végétale*. Université des Frères Mentouri Constantine. 25p.
- Anger, J. P., &Kintz, P. 2010.**Les OGM: une révolution technologique qui inquiète et qui passionne. In *Annales de Toxicologie Analytique* (Vol. 22, No. 1, pp. 19-26). EDP Sciences .
- Anonyme 2006.**Conférence électronique sur la salinisation: Extension de la salinisation et stratégies de prévention et réhabilitation. Organisée et coordonnée par: IPTRID du 6 février au 6 Mars 2006, 20 p.

Références bibliographiques

- Bajji M., 1999.** Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés *In vitro*. *Thèse de doctorat. Univ. Louvain. (Mémoire Mouellef A., 2010).* 37p
- Bakht J., Shafi M., Jamal Y. & Sher H. 2011.** Response of maize (*Zeamays L.*) to seed priming with NaCl and salinity stress. *Spanish Journal of Agricultural Research* 9(1), 252-261.
- Belkheiri O., 2009.** Adaptabilité des espèces du genre *Atriplex* aux conditions de salinité et d'aridité. *Thèse de doctorat, Université di Sassari (Espagne),* 90p.
- Belkhodja M et Bidai Y., 2004.** Réponse des graines d'*Atriplexhalimus L.* à la salinité au stade de la germination. *Sécheresse*, 4(15) :331-334.
- Belkhodja, M. and M. Benkabilia., 2000.** Proline response of broadbean (*Viciafaba L.*) under salt stress. *Egypt. J. Agric. Res.*, 78: 185-195.
- Benderradji, L., Hadji, N., Kellou, K., Benniou, R., & Brini F. 2016.** Effet du NaCl et PEG 6000 sur le comportement morpho-physiologique et biochimique des variétés de blé dur et tendre cultivées *in vitro* en milieu hydroponique. *Revue Agriculture. Numéro spécial 1*, 278-286.
- Benkaddour, M. 2014.** Modifications physiologiques chez des plantes de blé (*Triticum durum Desf*) exposées à un stress salin. *Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba.* 30p.
- Benkhetou A., 2003.** Contribution à l'étude de la mise en culture des zones steppiques dans le cadre de l'accèsion à la propriété foncière agricole et son impact sur l'écosystème – cas de Rechaiga, Tiaret-. *Thèse de Magister, Univ. De Tiaret, Algérie*, p 25, 28.
- Blum A., 1996.** Crop responses to drought and the interpretation of adaptation plant growth regulation. 20: 135 - 148 p.
- Bouchemel, k. 2018.** Etude des enzymes du stress oxydatif chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*) : caractérisation biochimique et moléculaire. Thèse de doctorat. Université des Frères Mentouri Constantine. 49p
- Bousba, R., Djekoun, A., Duraa, S., & Ykhlef, N. (2013).** Caractérisation moléculaire et association marqueur SSR phénotype pour la tolérance au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*). *Eur. Sci. J*, 9(12), 186-201.
- Boyer, J. S. 1982.** Plant productivity and environment. *Science*, 218(4571), 443-448.
- Brahimi, H.A. (2017).** Variations phénotypiques pour la tolérance aux stress salin et hydrique chez le blé tendre (*Triticum aestivum L.*). *Mémoire de Master en*

Références bibliographiques

- Biotechnologie et Génomique Végétale. Université Mohames Boudiaf - M'Sila.*
11-18p.
- Brahimi, H.A. 2017.** Variations phénotypiques pour la tolérance aux stress salin et hydrique chez le blé tendre (*Triticumaestivum L.*). *Mémoire de Master en Biotechnologie et Génomique Végétale. Université Mohames Boudiaf - M'Sila.*
11-18p.
- Cechin I., Rossi S.C., Oliveira V.C. &Fumis T.F., 2006.**Photosyntheticresponses and proline content of mature and youngleaves of sunflower plants under water deficit. *PHOTOSYNTHETICA* .44 (1): 143-146p.
- Chantereau J. et Nicou R. 1991.** Le sorgho, Maisonneuve et Larose, Paris, 159p.
- Chantereau J., 1994 :** La taxonomie du sorgho. In : Acte de l'atelier de formation sur les variétés locales de sorgho, 10-14 octobre, Bamako/Mali : 17-27
- Chantereau J., Cruz J.F., Ratnadass A., Trouche G. &Fliede G. 2013.**Presses Agronomiques de Gembloux, Quae, CTA, Gembloux, 244 p
- CHANTEREAU J.et NICOU R., 1991.** Le sorgho. Paris, Maisonneuve et Larose, Collection le technicien de l'agriculture tropicale, 159p
- Chaumeil, P. 2006.** Plasticité moléculaire de deux écotypes de pin maritime soumis à un stress osmotique. *Thèse de Doctorat de l'Université Henri Poincaré, France.*
- Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T.Kwon, R. Laprise, V. Magana Rueda, L. Mearns, C.G. Menendez, J. Raisanen, A. Rinke, A. Sarr and P.Whetton, 2007:** RegionalClimate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis.Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY,USA.*
- Clerget B.2004.** Le rôle du photopériodisme dans l'élaboration du rendement de trois variétés de sorgho cultivées en Afrique de l'Ouest. *Thèse de doctorat, Ina-PG, France*, 103 p.

Références bibliographiques

- Dahlberg J., Berenji J., Sikora V. & Latkovic D. 2011.** Assessing sorghum (*Sorghumbicolor (L) Moench*) germ plasm for new traits : food, fuels & uses. *Maydica* 56, 85-92.
- Daroui E.A., Boukroute A., Kouddane N.E. & Berrichi A. 2012.** Effet de la salinité sur la germination et la croissance in vitro du (*Washingtonia filifera L.*). *Nature & Technologie*, 32A
- Dehaynin N., 2007 :** Utilisation du sorgho en alimentation animale. *Thèse, Univ Claude-Bernard. Lyon. France.* 18.
- Delauney, A. J., & Verma, D. P. S. 1993.** Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *The plant journal*, 4(2), 215-223.
- Denden, M., Bettaieb, T., Salhi, A., & Mathlouthi, M. 2005.** Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales. *Tropicultura*, 23(4), 220-225.
- Derkaoui K., 2011.** Les réponses morphologiques, physiologiques et anatomiques des racines de la tomate (*solanum lycopersicum L*) vis-à-vis du stress salin. Diplôme de Magister, université d'Oran, p4.
- Diédhiou G.J., 2006.** Mechanisms of salts tolerance: Sodium, Chloride, and potassium Homeostasis in two rice lines with different tolerance to salinity stress. Dr. Rer. nat. thèses. Faculté de biologie. Université de Bielefeld, Allman, 190p.
- Djahra A.B., 2015.** Cours Phytochimie II 2^{ème} Année Master. Université Echahid Hamma Lakhdar El Oued.
- Djè Y., Heuertz M., Ater M. & Vekemans L.X. 2007.** *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 11. 30 40
- Djermoun, A. 2009.** La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques. *Nature & Technologie*, (1), 45.
- Doggett H., 1965.** Strigahermonthica on sorghum in East Africa. *J. Agric. Sci* 65, 183 -194.
- Doggett H., 1988.** The potential for energy production using sweet sorghum in southern Africa. *Longman Scientific Technical* 5, 31-38.
- F.A.O., 1991.** Annuaire de la production 1990. 44. Série statistique de la FAO n° 99. Rome.

- FAO 2010.** Food Agriculture Organisation.
- FAO., 2013.** Bioersivity International, Descripteurs pour le Quinoa et ses espèces sauvages apparentées. Rome, Italie.
- FAOSTAT 2010.** Food and agriculture database provides free access to food and agriculture statistics.
- Farissi M., Faghire M, Bouizgaren A., Bargaz A., Makoudi B., Ghoulam C. , 2014 -** “Growth, nutrients concentrations and enzymes involved in plants nutrition of Alfalfa populations under saline conditions”, J. Agric. Sci. and Technology, 16, 301-314.
- Feillet P. 2000.** Le grain de blé : composition et utilisation. INRA. Paris.
- Gasmi W., Dehiri A. 2019.** Effet de stress salin sur la germination et la croissance des deux variétés de blé dur (*Triticum durum Desf*). *Mémoire de Master. Algérie : Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi* B.B.A.
- GATE P., 1995.** Ecophysiologie du blé de la plante à la culture. *Edit. Tec et Doc.* Lavoisier, Paris PP.223-226
- Gouia, H., Ghorbal, M. H., & Touraine, B. 1994.** Effects of NaCl on flows of N and mineral ions and on NO₃-reduction rate within whole plants of salt-sensitive bean and salttolerant cotton. *Plant Physiology*, 105(4), 1409-1418.
- Hajlaoui, H., Denden, M., & Bouslama, M. (2007).** Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum L.*) au stade germination. *Tropicultura*, 25(3), 168-173.
- Hamdy A., 1999-** Saline irrigation assessment for a sustainable use. *Salinirrigation .Halophyte production and utilization.* Projects n 18 CT 96-0055 :152-162 .
- Haouala, F., Ferjani, H., & El Hadj, S. B. 2007.** Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca²⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray grass anglais et du chiendent. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 11(3), 235-244.
- Harlan J.R. & De Wet. J.M.J. 1972.** A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Science*. 12, 172-176p

Références bibliographiques

- Hassani A, Dellal A, Belkhodja, Kaid- Harche M ., 2008-** Effet de la Salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum Vulgare L.*). *European Journal of scientific Research* Vol.23n°.1. PP. 61-69.
- Hayek, T., &Abdelly, C. 2004.** Effets de la salinité sur l'état hydrique foliaire, la conductance stomatique, la transpiration et le rendement en grains chez 3 populations de mil (*Pennisetum glaucum L.*). *Revue des régions arides*, 1, 273-284.
- Heller a. 1985.** historia y vida cotidiana. aportación a la sociología socialista
- Hikosaka, K., Kato, M. C., & Hirose, T. 2004.** Photosynthetic rates and partitioning of absorbed light energy in photoinhibited leaves. *Physiologia Plantarum*, 121(4), 699-708.
- Hikosaka, K., Kato, M. C., & Hirose, T. 2006.** Photosynthetic rates and partitioning of absorbed light energy in photoinhibited leaves. *Physiologia Plantarum*, 121(4), 699-708.
- Hopkins, W. G. 2003.** Physiologie végétale. Bruxelles, Belgique: Editions De Boeck Supérieur.
- House L. R., 1987.** Manuel pour la sélection du sorgho deuxième édition ICRISAT, HYDERABAD, INDE.
- House L.R., 1987.** Manuel pour la sélection du sorgho. Deuxième édition. Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 229
- Jajoo, A. 2013.** Changes in photosystem II in response to salt stress. In *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress* (pp. 149-168). Springer, New York, NY.
- Kefu, Z., Munns, R., & King, R. W. 1991.** Abscisic acid levels in NaCl-treated barley, cotton and saltbush. *Functional Plant Biology*, 18(1), 17-24.
- Khadi Mounayenint Mohamed., 2012.** effet de la salinité sur la proline et les glucides chez la fève (*vicia faba L*) p59
- Kinet J.M., Benrebiha F., Bouzid S., Lailhacar S & Dutuit P., 1999 :** Le réseau Atriplex ou comment allier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions semi-arides et arides. In *estemeds , actualités*

scientifiques: Biotechnologie, amélioration des plantes et sécurité alimentaire, 89-93.

Koffi K., Germain C., Akanvou L., Akanvou R., Zoro B. I. A., Kouakou C. K. & N'da H. A. 2011. Diversité morphologique du sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivé au Nord de la Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie* 17, 125-142p.

Kpinkoun, J. K., Zanklan, S. A., Komlan, F. A., Mensah, A. C., Montcho, D., Kinsou, E., & Gandonou, C. B. 2019. Évaluation de la résistance à la salinité au stade jeune plant de quelques cultivars de piment (*Capsicum* spp.) du Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 133(1), 13561-13573.

Lamaze, T., Tousch, D., Sarda X., Grignon, C., Depigny, D., Monneveux, P. & Belhassen, E. 1994. Résistance de plantes à la sécheresse : mécanismes physiologiques. *Le sélectionneur Français*, 45: 75-85.

Larcher, W. 1995. Plant under stress. In *Physiological Plant Ecology*. 3^{ème} ed. Springer: 321-448.

Läuchli et Epstein. 1990. Saline culture of crops. A genetic approach, *Science* 2310, 399-404.

Lemzeri H., 2006. Réponses écophysiologicals de trois espèces forestières du genre *Acacia*, *Eucalyptus* et *Schinus* (*A. cyanophylla*, *E. gomphocephala* et *S. molle*) soumises à un stress salin. *Mémoire de magistère, Université de Mentouri, Constantine*, 180 p + annexe.

Levingneron, A., Lopez, F., Vansuyt, G., Berthomieu, P., Fourcroy, P., & Casse-Delbart, F. 1995. Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*, 4(4), 263-273.

Levingneron A, Lopez F, Vansuyt G, Berthomieu P, Poureroy P, Casse-Delbart F, 1995- Les plantes face au stress salin. *Cahier agricultures*, vol n° 4, pp. 263-273.

Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stress, Volume 1: Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses. Academic Press.

Louise A., Paul K. and Akanza M.B., 2007 : Bien cultiver le sorgho en Côte d'Ivoire, CNRA, 123.

Références bibliographiques

- Maas, E. V., & Poss, J. A. 1989.** Salt sensitivity of wheat at various growth stages. *Irrigation Science*, 10(1), 29-40.
- Maillard J. 2001.** Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone aride : Risques et Recommandations. Handicap International. Novembre 2001. 35p.
- Marcum K.B., 2006.** Use of saline and non-potable water in the turf grass industry : constraints and developments . *Agri .Water Manag* 80, 132-146.
- Marguerit, E. 2010.** Déterminisme génétique des réponses au déficit hydrique de la transpiration et de la croissance, induites par le porte-greffe, chez la vigne. *Thèse de doctorat. Université de Bordeaux France.* 229p.
- Marlet, S. 2005.** Gestion de l'eau et salinisation des sols dans les systèmes Irrigués Synthèse de l'atelier du PCSI sur : Vers une maîtrise des impacts Environnementaux de l'irrigation. CIRAD/AMIS, Montpellier, France, n°40, pp. 12-23.
- Marouf A. et Reynaud J., 2007.** La botanique de A à Z. 1662 définitions. Ed Dunod:P.286.
- Mascher, R., Nagy, E., Lippmann, B., Hörnlein, S., Fischer, S., Scheiding, W., & Bergmann, H. 2005.** Improvement of tolerance to paraquat and drought in barley (*Hordeum vulgare L.*) by exogenous 2-aminoethanol: effects on superoxide dismutase activity and chloroplast ultrastructure. *Plant Science*, 168(3), 691-698.
- Massaly F, 1992.** Etude de l'influence de la qualité des semences sur la levée, la croissance et le développement du sorgho, 23-25
- MATSUURA A. INANAGA S. et SUGIMOTO, Y. 1996.** Mechanism of interspecific differences among four graminaceous crops in growth response to soil drying. *Japanese J. of Crop Science.* 65: 352-360.
- Maury, P., Langlade, N., Grieu, P., Rengel, D., Sarrafi, A., Debaeke, P., & Vincourt, P. 2011.** Ecophysiologie et génétique de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol. *Innovations Agronomiques*, 14, 123-138.
- Mayek-Perez, N., Garcia-Espinosa, R., Lopez-Castaneda, C., Acosta-Gallegos, J. A., & Simpson, J. 2002.** Water relations, histopathology and growth of common bean

Références bibliographiques

- (*Phaseolus vulgaris L.*) during pathogenesis of Macrophomina phaseolina under drought stress. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 60(4), 185-195.
- Mermoud, A. 2006.** Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 23 p.
- Moaveni, S. 2011.** Finite element analysis theory and application with ANSYS, 3/e. Pearson Education India.
- Mohammad M., Shibli R., Adjouni M. & Nimri L. 1998.** Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *J. Plant Nutr* 21,1667-1680.
- Moorby, J., and Besford, R.T 1983.** In "Inorganic plant Nutrition" (A. Läuchli and R.L Bielecki, eds) *Encycl. plant physiol. New Ser.* 15B. 481-527.
- Moulineau, C. 1993.** Variation sous contraintes hydrique de la teneur en acides aminés libres foliaires du mil. *Centre d'étude de Cadarache* 13108 Saint Paul les Durance Cedex : 234-244 p.
- Munns, R., James, R. A., & Läuchli, A. 2006.** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of experimental botany*, 57(5), 1025-1043.
- NEBIE B., 2009.** Etude de la variabilité agro morphologique de quelques écotypes de sorghos sucrés (*Sorghum bicolor (L.) Moench*) du Burkina Faso. *Mémoire DEA, UFR/SVT Univ. Ouaga*, 62 p.
- Neumann P. M. 1995.** Inhibition of root growth by salinity stress : Toxicity or an adaptive biophysical Response, In : structure and function of roots. *Developments in plant and soil sciences* (eds. Baluska, F., Ciamporova, M., Gasparikova, O., Barlow, P.W.), Kluwer Academic publishers, Dordrecht, Netherlands, 299-304.
- Nouri, L. 2002.** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*), en condition de déficit hydrique. *Mémoire de Magistère. Université des frères Mentouri Constantine*. 77p.
- Nyachiro, J. M., Briggs, K. G., Hoddinott, J., & Johnson-Flanagan, A. M. 2001.** Chlorophyll content, chlorophyll fluorescence and water deficit in spring wheat. *Cereal Research Communications*, 135-142.

Références bibliographiques

- Ouerghi, Z., Zid, E., Hajji, M., & Soltani, A. 1998.** Comportement physiologique du blé dur (*Triticum durum L.*) en milieu salé. CIHEAM-Options Méditerranéennes, 309-31.
- Oukarroum, A. 2007.** Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare L.*) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. *Thèse de doctorat. Université de Genève Suisse.* 16p.
- Parwata, I., Indradewa, D., Yudono, P., Kertonegoro, B. D., & Kusmarwiyah, R. 2012.** Physiological Responses of Jatropha to Drought Stress in Coastal Sandy Land Conditions. *Makara Journal of Science*, 115-121.
- Price, A. H., & Hendry, G. A. F. 1991.** Iron-catalysed oxygen radical formation and its possible contribution to drought damage in nine native grasses and three cereals. *Plant, Cell & Environment*, 14(5), 477-484.
- Prota, 2009.** Rapport annuel 2009. Sous la coordination de Siemonsma, J.S. ; protaNetherlands, Paysbas. 44
- Radhouane, L. 2006.** Diversité morpho-phénologique, caractérisation agro-physiologique et mécanismes d'adaptation aux contraintes hydriques et salines de populations autochtones de mil. *Thèse de doctorat d'état, INAT. Université de Carthage Tunisie.* 289p.
- Rahal-Bouziane H. 2008.** Evaluation de la variabilité génétique chez quelques mils penicillaires (*Pennisetum glaucum L.R. Br*) cultivés dans les oasis de la région d'Adrar (Algérie). *Journal Algérien des régions arides.* 7, 35-43
- Rahal-Bouziane H., Mossab K., Khelid M., Kharsi M. & Hamdi S. 2004.** Résultats prometteurs chez une céréale d'été des oasis d'Adrar : le sorgho "*Sorghum sp.*". *INRAA, Recherche agronomique* 14, 57-64
- Redondo-Gomez, S., Wharmby, C., Castillo, J.M., Mateos-Naranjo, E., Luque, C.J., De Cires, A., Luque, T., Davy, A.J., & Figueroa, M.E. 2006.** Growth and photosynthetic responses to salinity in an extreme halophyte, *Sarcocornia fruticosa*. *Physiol Plant*, 128, 116-124.
- Rezgui, M., Bizid, E., & Ben Mechlia, N. 2004.** Etude de la sensibilité au déficit hydrique chez quatre variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*) cultivées en conditions pluviales et irriguées en Tunisie. *Revue des Régions Arides*, 1, 258-265.

Références bibliographiques

- RICHARDS RA., PASSIOURA GB., 1981.** Seminal roots morphology and water use Of wheat. I: environmentaleffects. Edit. Cropsci, Vol. 21, pp 249-252
- Robin Vergonjeanne., 2014 .**Algérie: le sorgho, fourrage d'avenir. terre-net média.
- Sautier D., O'deyeM , 1989.** Mil,Mais ,Sorgho techniques et alimentation au sahel . harmattan .paris, France. 171.
- Savouré A., Jaoua S., Hua XueJun., Ardiles W., Van Montagu M. &Verbruggen N.,1995.**Isolation, characterization, and chromosomal location of a geneencoding the DELTA 1-
- Sene L. 1995.** Réponse de la variété du sorgho à l'alimentation en eau : effets du stress hydrique sur le rendement et la qualité des semences 3ème promotion, CE 145-66
- Shannon M. C., 1986.**New insights in plant breeding efforts for improved salt tolerance.Hort. Technol 6, 96–99.
- Shewale S. D. &Pandit A. B. 2011.**Chapter 1 : Uses of sorghum and value addition. T.D. pereira, éd. Sorghum : cultivation, varieties and uses. Nova Science Publishers, Inc., New York. 181p
- Smith C.W.Frederiksen R.A., 2000.**Sorghum: Origin, History, Technology and Production. WileyJohn and Sons, New York, 824.
- Sreenivasulu, N., Grimm, B., Wobus, U., &Weschke, W. 2000.**Differential response of antioxidant compounds to salinity stress in salt-tolerant and salt-sensitive seedlings of foxtail millet (*Setariaitalica*). *PhysiologiaPlantarum*, 109(4), 435-442.
- Suhayda C.G., Wang X.Y. &Redmann R.E. 1992.**Identification of physiologicalecotypes in *Hordeumjubatum*based on responses to salinity stress. *Canadian journal of botany* 70 (6), 1123- 1130.
- Szabolcs I., 1994.** Soils and salinization. In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker, New York: 3-11.
- TayebAmeziane El Hassani. 1995.** Croissance et développement des plantes cultivées. Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, 120-150.
- Teggar, N. 2015.** Etude de l'effet du stress salin sur la nodulation et sur quelques paramètres biochimiques et morphologiques de la lentille (*lensculinaris L*)*mémoire de Magister en Ecophysiologie végétale. Université d'Oran*, 68 p

Références bibliographiques

- Toumi, M., Barris, S., & Aid, F. 2014.** Effects of water and osmotic stress on the accumulation of proline and malondialdehyde (MDA) in two varieties of colza (*Brassic napus L.*). *Bulletin de l'Institut Scientifique: Section Sciences de la Vie*, 36, 17-24.
- USDA-ARS United States Department of Agriculture Agricultural Research Service 2012.** National Genetic Resources Program. Germ plasm Resources Information Network-(GRAIN). National Germ plasm Resources Library, Beltsville, MD, USA. Available Online: <http://www.ars-grain.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon> (14 Oct. 2015).
- Vannozzi G. P., Paolini R 1982 .** Taking advantage of variability in the genus *Helianthus* for sunflower breeding. Present research in Italy. Workshop on sunflower, Athens, 1982.
- Vavilov 1951.** The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. *Soil Science*. 72, 482p.
- Veselovsky, H. 1985.** Sunflower growing. *J. Selskoe Hozayaystvo I lesovodstvo*. T.O. XLVIII (In Russian).
- Villegas, D., Aparicio, N., Blanco, R., & Royo, C. 2001.** Biomass accumulation and main stem elongation of durum wheat grown under Mediterranean conditions. *Annals of Botany*, 88(4), 617-627.
- Wilfried C., 2005.** Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Sci* 168 : 241- 248.
- Xu, F.S. 1990.** New genus and species of Polyplacophora (Mollusca) from the East China Sea. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 8.4: 375-377.
- Yokota, A., Takahara, K., & Akashi, K. 2006.** Water stress. In *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants* (pp. 15-39). Springer, Dordrecht.
- Yokota, A., Takahara, K., & Akashi, K. 2006.** Water stress. In *Physiology and Molecular*.
- Zhao J., Ren W., Zhi D., Wang L. & Xia G. 2007.** Arabidopsis DREB1A/CBF3 bestowed transgenic tall fescue increased tolerance to drought stress. *Plant Cell Reports* 26(9), 1521-1528.

Références bibliographiques

ZONGO J.D., 1991. Ressources génétiques des sorghos [*Sorghumbicolor(L)Moench*] du Burkina Faso: Evaluation agro morphologique et génétique. *Thèse de doct., Univ. d'Abidjan*, 175p.

Zurich, 2012 : Production végétale : Le sorgho - une grande culture intéressante encore inconnue en Suisse *Recherche Agronomique Suisse* 3 (11–12), 524–531.

