

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE  
LA NATURE ET DE LA VIE

N°: .....



DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE  
ET DE LA VIE

FILIERE : BIOTECHNOLOGIE

OPTION :BIOTECHNOLOGIE  
VEGETALE

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Par: Douida Chahrazad et Debabeche Rachida

Intitulé

**Etude de l'influence du stress salin sur le maïs**  
**(*Zea mays* L.)**

Soutenu devant le jury composé de:

Dr. BELKASSAM ABDELOUAHAB	MCA	Université de M'Sila	Président.
Dr. GUETTOUCHI AHLEM	MCA	Université de M'Sila	Rapporteur.
Dr. HADJI ABBASE	MCB	Université de M'Sila	Examineur.

Année universitaire : 2023 /2024

# Remerciement

*Tout d'abord nous remercions Allah le tout Puissant qui nous a éclairées vers le bon chemin.*

*Je tiens à remercier sincèrement notre enseignante Guettouchi Athlem pour ses conseils avisés et ses encouragements constants, pour la réalisation de ce mémoire. A Monsieur Belkassam*

*Abdelouahab d'avoir accepter de présider le jury A Monsieur Hadji Abbase d'avoir accepter d'examiner ce travail*

*Nos vifs remerciements vont à tous les enseignants, ainsi qu'aux personnes qui ont participé de près ou de loin au bon déroulement de mon travail.*

*Je tiens à remercier également tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, durant nos 5 années d'études*

# Dédicace

إلهي..... لا يطيب الليل الا بشكرك ولا يطيب النهار الا بطاعتك ولا تطيب اللحظات الا بذكرك ولا تطيب  
الآخرة الا بعفوك ولا تطيب الجنة الا برويتك .....الله عز وجل  
الى من بلغ الرسالة وادي الامانة ونصح الامة الى نبي الرحمة ونور العالمين الى سيد الخلق ورسولنا  
الكريم سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم ومن تبعه بإحسان الى يوم الدين  
ما أصعب ان اجمع احبائي في سطور وما اكثرها صعوبة ان اذكر واحد وأهمل واحد وان أنسى فضلهم ما  
حييت. من قال انا لها نالها... انا لها وان ابت رغما عنها اتيت بها. لم تكن الرحلة قصيرة ولا الطريق  
محفوفا بالتسهيلات لكنني فعلتها فالحمد لله الذي يسر البدايات وبلغنا النهايات  
وفي اللحظة الاكثر فخرا اهدي عملي هذا الى من احمل اسمه بكل افتخار الى من كلفه الله  
بالهبة والوقار الذي حصد الاشواك عن دربي ليمهد لي طريق العلم طاب بك العمر يا سيد  
الرجال وطبت لي عمر يا ابي الغالي .....ارجو من الله ان يمدك بالعمر الطويل  
الى قدوتي الاولى ومعنى الحب والتفاني .... الى بسمه الحياة وسر الوجود الى من كان دعاؤه  
سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي ...الى من ارشدتني ورافقتني في كل مشاوير حياتي ولا تزال  
... تفعل الى الان

الهم احفظها وارزقها العفو والعافية امي الحبيب

الى ضلعي الثابت وامان ايامي الى من شددت عضدي بهم اخوتي (عيسى \_ مهدي)

الى بهجة قلبي اخر العنقود اخي محمد اطل الله في عمرا

الى القلوب الكبيرة التي كانت تسعني الى خيرة ايامي وصفوتها الى قرة عيني اخواتي (صورية \_ نبيلة  
\_ امال حكيمة)

الى ازواج اخواتي (يوسف برباخ \_ يوسف لقويرح)

الى عمتي التي لطالما تمنيت ان تكون معي في هذا اليوم ولكن شانت القبور ان تحتضنك رحمة  
...الله عليك

الى من سيشاركني رحلة الحياة الى رفيق دربي الى من رهن على نجاحي واقف خلفي مثل  
ظلي

(محمد الأمين)

الى جدتي حبيبة قلبي الى كل الامل والعائلة الكريمة كل باسمه ومقامه .....وبالأخص عمتي  
رهواجة

الى أصدقاء السنين وأصحاب الشدائد وملهمين نجاحي الى من رسموا بسمتي وقت الصعاب  
الى من ذكروني بمدى قوتي واستطاعتي الى الذين لا يحبطونني ويؤمنون بشجاعتي الى  
الشموع التي تنير لي الطريق دوما (صديقاتي)

ولا أنسى مؤطرتي في هذا العمل الأستاذة (أحلام قطوشي) وصديقتي وشريكتي في هذا العمل  
(دويدة شهرزاد) واساتذتي الكرام الذين اختارهم الله ليكونوا مصابيح تنير ابصارنا حفظهم الله  
وفي الختام أتمنى ان أحظى بأيام تليق بي وبضحكات تنعش قلبي وان امضي في درب انا احبه  
وان تفتح لي الحياة ذراعيها وتزرع في طريقي اكواما من الازهار

# Dédicace

الحمد لله وشكرا وامتنانا على البدء والختام

(وَآخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ)

لم تكن الرحلة قصيرة ولا الطريق محفوفا بالتسهيلات، لكنني فعلتها، فالحمد لله الذي يسر

البدايات وبلغنا النهايات بفضلته وكرمه

وبكل حب اهدي ثمرة نجاحي وتخرجي:

اهدي هذا النجاح لنفسي الطموحة أولا ابتدت بطموح وانتهت بنجاح ثم الى كل من سعى معي

الاتمام مسيرتي الجامعية مرحلة الماجستير.

الى العزيز الذي حملت اسمه فخرا، الذي بذل جهد السنين من اجل ان اعلى سلالم النجاح،

يامن افتقده ويرتعش قلبي لذكره، الى من فارقتي بجسده وروحه ما زلت ترفرف في سماء

حياتي الى تلك الروح الطاهرة والذي العزيز رحمه الله عليه الذي لطالما عاهدته بهذا النجاح ها

انا اتممت وعدي واهديته اليك.

الى من كانت الداعمة الاولى، معلمتي وحببيتي امي الذي كان وجودها يمدني بالسعي دون ملل،

التي ظلت دعواتها تضم اسمي دائما، اهديك هذا الإنجاز الذي لولاك لم يكن، اهديك مراحلتي و

الانجازاتي كلها، فالفضل والثناء للمولى عز وجل ثم لكفاحك الاجلي، وعطائك الذي يضم

تعبتي.

الى ضلعي الثابت وامان ايامي، الى من شددت عضدي بهم، الى خيرة ايامي وصفوتها (اخي واخواتي)

ولا أنسى مؤطرتي في هذا العمل الأستاذة (أحلام قطوشي) وصديقتي وشريكتي في هذا العمل (دبابش

رشيدة)

الى رفقاء السنين وأصحاب الشدائد والأزمات اهديكم هذا الإنجاز وثمره نجاحي الذي طالما تمنيت.

أخيرا الشكر موصول لنفسي على الصبر والعزيمة والإصرار، والتي كانت اهلا للمصاعب، ها انا

اختم كل ما مررت به بفخر ونجاح الحمد لله من قبل و من بعد، راجية من الله تعالى ان ينفعني بما

علمني وان يعطمني ما اجهل ويجعله حجة لي لا علي .



# Sommaire

Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I :Généralités sur le maïs</b>	
I.1. Origine du maïs : .....	3
I.2. Position taxonomique .....	3
I.3. Morphologie du maïs :.....	4
I.4. Les organes reproducteurs :.....	4
I.4.1. Les fleurs males:.....	4
I.4.2. Les fleurs femelles :.....	5
I.5. Etude physiologique : .....	5
I.6. Variétés de maïs :.....	6
I.6.1. Maïs denté .....	6
I.6.2. Maïs à farine .....	6
I.6.3. Maïs à éclater .....	6
I.6.4. Maïs sucré : .....	6
I.6.5. Maïs hi-lysine : .....	7
I..Utilisation du maïs :.....	7
I.7.1. Alimentation animale : .....	7
I.7.2. Alimentation humaine : .....	7
I.7.3. Industries agro-alimentaires : .....	7
I.8. Production mondiale : .....	8
I.9. Production Algerian: .....	8
I.10. Les maladies et ravageurs : .....	9
I.10.1. Antrachnose : .....	10
I.10.2. Charbon commun : .....	10
I.10.3. Le mildiou : .....	11
I.10.4. Rouille : .....	11
I.11. Cycle de développement du maïs : .....	11
I.11.1. La phase végétative : .....	12

I.11.2. La phase de reproduction :	12
I.11.3. La phase de développement du grain et de maturation :	13
I.12. Culture de maïs :	13
I.12.1. Culture de maïs en Algérie :	14
I.12.2. Culture de maïs en le monde :	14
I.13.Exigences écologiques :	14
I.13.1. Sol:	14
I.13.2. Température:	14
I.13.3. Besoins en eau :	15

## Chapitre II : Généralités sur le stress

II. 1. Le stress :	16
II.2. Les stress abiotiques et biotiques et leurs effets sur la plante :	16
II.3. Classification du stress :	17
II.3.1. Stress biotiques :	17
II.3.1.1. Définition du stress biotique :	17
II.3.1.2. Effets des stress biotique sur les plantes :	17
II.3.2. Stress abiotique :	19
II.3.2.1. Stress hydrique :	19
II.3.2.2. Stress thermique :	20
II.3.2.1. Effet du stress thermique sur les plantes :	20
II.3.2.2. Améliorer les cultures pour résister au stress thermique :	22
II.3.2.3. Stress salin :	22
II.4. Définition de la salinité :	23
II.4.1. Types de salinité :	23
II.4.2. Conséquences de la salinité sur la plante :	23
II.4.3. Effet de la salinité sur la germination :	24
II.4.4. Effet de la salinité sur la croissance et le développement :	24
II.4.5. Effet de la salinité sur la biochimie de la plante :	25
II.4.6. Effet de la salinité sur les processus physiologiques de la plante :	26

## Chapitre III : Effet de stress salin sur le maïs

<b>III.1. Effet de stress salin sur le maïs (<i>Zea mays</i> L.) :</b> .....	<b>27</b>
<b>III.1.1. Effet de stress salin sur la germination et la croissance des grains :</b> .....	<b>27</b>
<b>III.1.2. L'effet du stress salin sur les feuilles et les racines</b> .....	<b>28</b>
<b>III.1.3. Effet du stress salin sur la chlorophylle :</b> .....	<b>28</b>
<b>III.1.4. L'effet du stress salin sur les échanges gazeux et hydriques :</b> .....	<b>29</b>
<b>III.1.5. L'effet du stress salin aux niveaux moléculaire et cellulaire :</b> .....	<b>29</b>
<b>III.1.6. Effet sur le développement et le rendement :</b> .....	<b>30</b>
<b>III.1.7. Effet sur la qualité des grains :</b> .....	<b>30</b>
<b>III.2. Mécanismes de résistance :</b> .....	<b>31</b>
<b>III.2.1. Osmorégulation et osmoprotection :</b> .....	<b>31</b>
<b>III.2.2. Homéostasie ionique :</b> .....	<b>31</b>
<b>III.2.3. Acidification apoplastique :</b> .....	<b>31</b>
<b>III.2.4. Régulation hormonale :</b> .....	<b>32</b>
<b>III.2.5. Mécanismes moléculaires :</b> .....	<b>32</b>
<b>III.3. Approches récentes pour améliorer la tolérance du maïs à la salinité :</b> .....	<b>32</b>
<b>III.3.1. Application d'hormones et d'osmoprotecteur :</b> .....	<b>32</b>
<b>III.3.2. Amorçage des semences :</b> .....	<b>33</b>
<b>III.3.3. Amélioration génétique de la tolérance du maïs au stress salin :</b> .....	<b>34</b>
<b>III.4. Biotechnologie et génomique fonctionnelle</b> .....	<b>34</b>
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>366</b>
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>37</b>

## Liste des tableaux

Tableau	page
Tableau 1: Production du maïs en Algérie	14

## Liste des figures

<b>Figure</b>	<b>page</b>
Figure 01 : La fleur male du maï	<b>5</b>
Figure 02: La fleur femelle du maïs	<b>5</b>
Figure 03: Production mondiale de maïs en 2001/2012	<b>8</b>
Figure 04: Ustilago maydis du maïs	<b>11</b>
Figure 05 : Facteurs influencent la croissance des plantes	<b>16</b>
Figure 06: facteurs déterminant la réponse de la plante au stress.	<b>26</b>

---

# **Introduction générale**

---

Les cultures céréalières revêtent une importance fondamentale dans la construction de la vie humaine et ont joué un rôle important dans le passé, C'était le pilier sur lequel reposaient les civilisations du monde, et il joue encore ce rôle dans les civilisations modernes. En général, la culture des graminées est considérée comme l'une des activités humaines les plus anciennes. Son histoire remonte à l'histoire de l'humanité et reste à ce jour la principale source de nutrition dans le monde.

Le maïs fait partie des graminées, car il est considéré comme la troisième culture céréalière importante et largement cultivée dans le monde, après le blé et le riz, en termes de productivité et de superficie. Les rendements élevés et l'importante production en Amérique du Nord et en Amérique centrale sont principalement dus aux Etats-Unis, qui produisent davantage que de pays comme le Mexique où le maïs est la principale céréale de base (**LOBELL et al., 2011**). Récolté en grain ou avec toute la plante, le maïs est largement utilisé dans l'alimentation animale et humaine, et pour des usages industriels. Maïs (*Zea mays* L.) ou blé indien, cette plante est originaire du Mexique, depuis le 16<sup>ème</sup> siècle le maïs est apparu en Afrique et au Sahara. La culture du maïs est introduite en l'Algérie et l'Espagne par les Arabes. Ceci est une plante cultivée dans les zones tribales, ainsi que dans les oasis du Sahara avant l'incursion des Turcs et des Français en Algérie.

Les plantes répondent aux contraintes de l'environnement par de nombreux Changements, révèlent le caractère multifactoriel des mécanismes de tolérance et d'adaptation aux stress abiotiques (**BATAILLONET al., 2006**).

Le stress salin implique un excès de sel dans le sol. La salinité affecte les rendements des cultures. Une salinité excessive peut détériorer les propriétés physiques du sol et le rendre plus susceptible à la dégradation.

En Algérie, on évalue aujourd'hui à 1,5 million d'hectares la superficie des sols salés dont 49 milles se situent dans le sud du pays (**MADR, 2004 et ABDELHAFID, 2010**).

En Algérie, environ 20 % des sols irrigués sont concernés par le problème de salinité. Ce problème a été observé dans plusieurs régions. Dans l'est algérien, plusieurs périmètres irrigués sont soumis à de graves problèmes de salinisation et de la remontée de la nappe qui se traduisent par une dégradation des sols et une baisse de productivité (**ABDELHAFID, 2010**).

La salinisation des sols est un phénomène assez fréquent dans la région de Sétif qui est caractérisée par une faible pluviométrie (**ANONYME, 2011 et BOUTOUTAOU, 2012**).

Actuellement, les programmes d'amélioration du maïs s'intéressent de plus à l'amélioration génétique de la tolérance au stress salin. Cette amélioration exige d'étudier, d'identifier et de vérifier les caractères phénologiques, morpho physiologiques et biochimiques liés au rendement en condition de stress salin (**PFEIFFER et al., 2000**).

Comment le stress salin affecte-t-il le maïs et est-ce que la biotechnologie aide à surmonter le stress salin dans le maïs ?

Ce travail vise à connaître l'effet du stress salin sur la germination du maïs et l'ampleur de son effet sur ses différentes composantes telles que les racines et feuilles.

Notre étude est basée sur trois chapitres principaux :

**Le premier chapitre et Deuxième chapitre** : est une synthèse bibliographique qui présente une description générale de maïs, quelques notions de stress salin, et les mécanismes de tolérance des plantes au stress salin.

**Le troisième chapitre** : L'effet du stress salin sur le maïs et résistances mécanismes.

---

**Chapitre I :**  
**Généralités sur le maïs**

---

## I.1. Origine du maïs :

Les scientifiques, grâce à l'archéologie, ont retrouvé l'origine du maïs. C'est une graminée, la téosinte, découverte dans le Sud du Mexique dans la haute vallée du Rio Balsas. Elle a commencé à être domestiquée il y a 9000 ans environ. Cette plante a subi petit à petit des transformations : les grains et les épis ont grossi. L'épi s'est doté d'une rafle (l'axe sur lequel sont fixés les grains). La coque qui protégeait la téosinte a disparu la rendant beaucoup plus digeste pour les humains et le bétail. Le maïs est devenu l'élément essentiel des civilisations maya et aztèque. La culture a d'abord été introduite aux Amériques après la découverte du continent par des voyageurs européens au cours du XV<sup>ème</sup> siècle, plus tard, elle s'est répandue en Afrique subsaharienne et dans le reste du monde. Au fil du temps, chaque région a maintenu des cultures de maïs spécifiques adaptées à ses conditions. Aujourd'hui, elle est la plus cultivée au monde. Partout, les agriculteurs s'efforcent continuellement d'améliorer cette culture pour l'adapter aux multiples habitudes alimentaires et aux diverses conditions climatiques. <https://www.ofb.gouv.fr/>

## I.2. Position taxonomique

Selon (ILTIS ET DOEBLEY, 1980) le maïs appartient à la classification suivante :

Taxon	Nom scientifique et commun
Règne	Végétal
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnolio
Classe	Liliopsidées
Sous classe	Commeliniadae
Ordre	Cypéales
Famille	Poacées
Sous-famille	Panicoidées
Tribu	Maydeae
Genre	<i>Zea</i>
Espèce	<i>Zea mays</i> L.
Sous-espèce	<i>Zea mays</i> sub sp

### **I.3. Morphologie du maïs :**

C'est une plante herbacée annuelle monoïque à grand développement végétatif (1 à 3m de hauteur), ayant une tige souvent unique. Ses graines sont portées par une inflorescence (l'épi) protégée par des spathes ce qui empêche leur dissémination. C'est une caractéristique qui le distingue des autres céréales (**GOVERNMENT, 2008**).

Le système racinaire est fasciculé et adventif, alors que la tige est dressée, ronde (3 à 6 cm de diamètre) et remplie d'une moelle sucrée. Elle est composée de nœuds et d'entre-nœuds, courts à la base et allongés au sommet (**FARE, 2004**).

Les feuilles, sont réparties de façon alterne et opposée. Les fleurs sont des épillets regroupés sur des inflorescences mâles, positionnées sur la panicule terminale ramifiée, et les fleurs femelles, associées sur un ou quelques épis insérés à l'aisselle des feuilles. Ce regroupement permet au maïs d'être auto fertile (**HUBERT, 1978**).

Les épis apparaissent à l'aisselle des feuilles médianes. Un total de 4 à 5 épis peut se former,

Dont 1 généralement atteint le stade final. Cette dernière mesure entre 10 à 30 cm de long, enveloppé dans 5 à 20 spathes (**FARE, 2004**).

### **I.4. Les organes reproducteurs :**

Les fleurs, autre caractéristique qui distingue le maïs des autres graminées, sont unisexuées et regroupées en inflorescences mâles et femelles composées d'épillets de deux fleurs.

#### **I.4.1. Les fleurs mâles:**

Les organes reproducteurs mâles se développent au sommet de la plante et sont portés par ce qu'on appelle la panicule. La panicule présente un brin central dressé puis des nombreuses ramifications qui ressemblent un peu à des très longs épis de blé. La panicule est constituée d'une multitude d'épillets regroupant deux glumes (sorte de petite feuille) et deux fleurs mâles. Chaque fleur mâle possède 3 « sacs de pollens » que l'on nomme les anthères. Au moment de la floraison, les épillets s'ouvrent et laissent pendre les anthères qui libèrent alors le pollen dans l'atmosphère (**NOEL, 2021**).



**Figure 01 :** La fleur male du maïs (ANONYME, 2011)

<https://www.superprof.fr/ressources/wp-content/uploads/2011/02/champs-fleur-mais.jpg>

#### **I.4.2. Les fleurs femelles :**

Les fleurs femelles sont situées plus bas et capteront le pollen grâce à de spectaculaires styles. De deux ou quatre épis peuvent engager un développement mais généralement un seul arrive à maturité. Un seul plant de maïs peut produire jusqu'à 500 et même 1000 fleurs de sexe femelle est le futur « épi » (forme miniature de l'épi inséré à l'aisselle d'une feuille, qui va se développer après fécondation) (OLIVIER, 2011).



**Figure 02:** La fleur femelle du maïs (ANONYME, 2020)

<https://www.maizeurop.com/cest-le-debut-de-la-floraison-femelle/>

#### **I.5. Etude physiologique :**

Effectivement, la durée nécessaire pour que le maïs atteigne sa maturité physiologique peut varier considérablement en fonction de divers facteurs tels que la variété de maïs, les températures de croissance et l'altitude à laquelle il est cultivé.

Dans les régions tropicales, où les températures sont généralement plus élevées et plus constantes, le maïs peut atteindre sa maturité plus rapidement, généralement entre 90 et 130 jours après l'émergence de la plante. Cependant, à des altitudes plus élevées, où les températures peuvent être plus fraîches et les saisons de croissance plus courtes, le maïs peut prendre plus de temps pour atteindre sa maturité, parfois entre 200 et 300 jours.

De plus, même à la même altitude et avec des conditions de croissance similaires, différentes variétés de maïs peuvent avoir des périodes de maturation différentes. Certaines variétés sont ce que l'on appelle des variétés précoces, ce qui signifie qu'elles atteignent leur maturité plus rapidement que d'autres. Cela peut être un avantage dans les régions où les saisons de croissance sont courtes ou où il existe un risque de conditions météorologiques défavorables plus tard dans la saison. (TANAKA et YAMAGUCHI, 1972).

## **I.6. Variétés de maïs :**

Selon (GAY, 1984) le maïs est une plante très diversifiée, avec de nombreuses variétés cultivées dans le monde entier pour différents usages, allant de l'alimentation humaine et animale à la production industrielle de biocarburants et de matériaux. Voici quelques-unes des variétés les plus courantes :

### **I.6.1. Maïs denté :**

C'est le maïs le plus cultivé dans le monde, nommé pour la forme des grains, est souvent utilisé dans l'alimentation animale et pour la production d'amidon.

### **I.6.2. Maïs à farine:**

Il est cultivé pour sa teneur élevée en amidon et est utilisé pour la fabrication de farine de maïs, de tortillas, de chips et d'autres produits alimentaires. Il est plus susceptible à l'attaque des insectes d'entreposage et se casse plus facilement que les espèces plus dures.

### **I.6.3. Maïs à éclater:**

Aussi connu sous le nom de maïs à popcorn, C'est en fait une forme extrême du maïs vitreux. Il est cultivé pour ses grains qui éclatent et gonflent lorsqu'ils sont chauffés.

### **I.6.4. Maïs sucré :**

Ce type de maïs est cultivé pour sa saveur sucrée. Il est souvent consommé frais, Il est plus susceptible à l'attaque des insectes lors de sa culture, ceux-ci s'attaquant particulièrement aux épis.

**I.6.5. Maïs hi-lysine :**

À haute teneur en lysine dont le contenu en lysine est plus du double. Cette espèce en est presque au stade d'application en masse, mais il faudra résoudre certains problèmes de culture et d'entreposage avant d'en arriver à ce stade.

**I.7.Utilisation du maïs :****I.7.1.Alimentation animale :**

L'utilisation du maïs dans l'alimentation animale est de loin le premier débouché (environ les deux tiers globalement) et concerne surtout les pays industrialisés. Cette utilisation représente la majeure partie de la production de maïs dans de nombreux pays, le maïs est une source importante de nutriments pour le bétail, les volailles et autres animaux d'élevage. Son utilisation dans l'alimentation animale contribue à la production de viande, de lait et d'autres produits d'origine animale.

**I.7.2.Alimentation humaine :**

Dans les pays en voie de développement, notamment l'Afrique subsaharienne et l'Amérique latine, la consommation du maïs est particulièrement importante (**JOSEPH CLOVIS DONGMO, 2009**).

Le maïs y constitue le plus souvent l'alimentation de base, Cette consommation est plus marginale dans les pays industrialisés, où son utilisation est beaucoup plus orientée vers les industries de transformation. (**JOSEPH CLOVIS DONGMO, 2009**).

**I.7.3.Industries agro-alimentaires :**

Le maïs est également utilisé dans l'industrie agroalimentaire pour la production de divers produits tels que l'huile de maïs, le sirop de maïs à haute teneur en fructose (HFCS), les céréales pour petit-déjeuner, les snacks, etc.

Environ 25 % de la production est destinée aux industries qui transforment le maïs en produit alimentaire ou non (**ANONYME, 1994**).

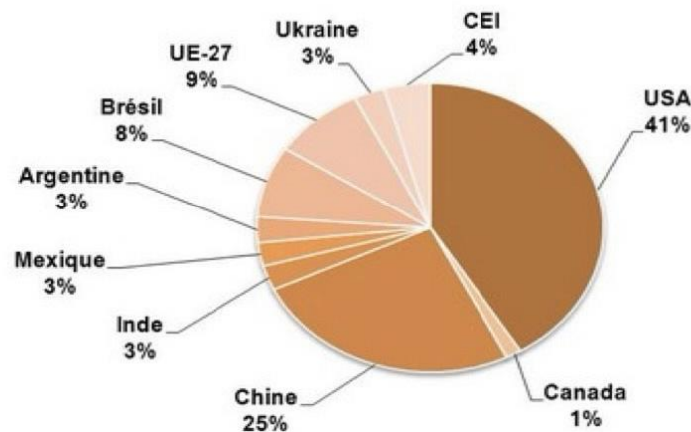
La semoulerie, qui sépare l'amidon farineux du germe, produit des farines spéciales, des semoules, des flocons à partir de l'amidon et une huile riche en vitamine E et F à partir du germe. L'amidonnerie quant à elle transforme par hydrolyse l'amidon en divers produits avec le glucose comme dérivé ultime. Ce glucose est utilisé en biscuiterie, en confiserie et en pharmacie. Au-delà de l'industrie agroalimentaire le maïs intervient également dans l'industrie de la fabrication de l'éthanol, des colles industrielles, des textiles, le papier, les matières plastiques biodégradables etc... (**JOSEPH CLOVIS DONGMO, 2009**).

### I.8. Production mondiale :

Le maïs est la céréale la plus produite dans le monde, tant en termes de production que d'exportation, avec environ 850 millions de tonnes produites sur approximativement 162 millions d'hectares, soit un rendement moyen de 5.2 t/ha.

Les USA et la Chine sont les plus importants pays producteurs avec respectivement 37 % et 21 % de la production mondiale (<https://www.yara.fr/fertilisation/solutions-pour-cultures/maïs/panorama-culture-maïs/>).

Les USA, Argentine et Brésil sont les plus importants exportateurs avec 70 Mt exportées en 2010, soit moins de 10 % de la production mondiale. La capacité d'exportation de ces pays contribue également à fournir du maïs à de nombreuses régions du monde, ce qui en fait une culture véritablement mondiale.



**Figure 03:** Production mondiale de maïs en 2001/2012 (ANONYME, 2019).

<http://elearning.univbiskra.dz/moodle2019/pluginfile.php>

### I.9. Production Algerian:

La période coloniale allant de 1854 à 1878 était marquée, par l'introduction de variétés de maïs françaises et espagnoles et par un élargissement considérable et rapide des plantations de maïs partant de 5076 ha à 33075 ha respectivement par la suite, une nette régression était enregistrée et la culture fut progressivement abandonnée (IRAM & MERIEME, 2013).

Après l'indépendance, de 1961 à 1989, la superficie cultivée en maïs est passée de 6 000 hectares à 1 000 hectares. Depuis les années 1990, cette culture est devenue totalement négligée et les superficies cultivées ont chuté à 450 hectares. En 2009, une superficie de 168 hectares lui a été allouée, avec une productivité totale de 34,226 q/ha.

**Tableau 1:** Production du maïs en Algérie (FAO, 2012).

Années	Superficies	Rendement (q/ha)	Production (tonnes)
1991	260	19,230	500
1994	410	45,12	185
1997	120	21,416	257
2000	430	36,186	1556
2003	340	28,852	981
2009	168	34,226	575
2010	139	25,827	359
2011	246	23,374	575
2012	686	25,558	1755

### **I.10. Les maladies et ravageurs :**

Le maïs est Occupe (*Zea Mays* L.) en second lieu après le blé en termes de production dans le monde tel qu'il est l'une des cultures agricoles les plus importantes en Afrique du Sud (FAO, 1996). Le maïs est une source majeure d'énergie pour les humains et les animaux, étant largement utilisé dans de nombreux produits alimentaires. Cependant, cette plante à risque d'agents pathogènes fongiques qui causent des pertes importantes à la culture.

**I.10.1. Antrachnose :**

Cette maladie est causée par le champignon *Colletotrichum graninicola* à la fin du stade végétatif, *Zea Mays* L. montrent des lignes noires sur la partie inférieure de la tige, ce récent spectacle en noir puis rot après que la poursuite de la brun foncé sur le tissage domestique de pâte (de la tige, les feuilles flétries et mourir, ce qui conduit à la mort de la plante soudainement avant l'échéance où il apparaît le maïs grain à l'état congelé (**CROUCH & BEIRN, 2009**).

**I.10.2. Charbon commun :**

Ce champignon originaire du Mexique a été décrit pour la première fois en France en 1815 par le mycologue de Candolle. Causé par le champignon dans cette maladie est *Ustilago maydis* présentent des symptômes de ce champignon sous la forme de pustules sur la base de la tige, la couleur blanche et douce, puis devenir gris, rempli de poussière noire la taille des galles peut atteindre 6 cm de diamètre tandis que sur les feuilles, elles se limitent à un diamètre allant de 0,6 à 1,2 cm. Il maintient le champignon pathogène dans le sol et les restes de plantes pendant plusieurs années sous la forme de bactéries, mais après propagation un maïs peut contaminer en tout stade végétatif contribue également à stabiliser la blessure à la stabilité du champignon pathogène, multiplie la dernière présence de quantités importantes de pluie et une moyenne de un niveau élevé d'humidité et de la chaleur. Les spores sont dispersées par le vent et peuvent contaminer les autres plants. Pour limiter au maximum la propagation de ce parasite, il est fortement conseillé de détruire par le feu les plants infectés (**Figure 1**) (**MUNKACSI et al., 2007**).



**Figure 04:** Ustilago maydis du maïs (ANONYME, 2023)

<https://cipf.be/fr/mais/maladies/charbon-commun-usilago-maydis>

### **I.10.3. Le mildiou :**

Une maladie qui attaque le maïs et le sorgho, est provoquée par le cryptogame *Peronosclerospora sorghi*, où il l'affecte les parties aériennes de la plante, provoquant des taches jaunâtres sur les feuilles et les tiges. Cela peut entraîner un retard de croissance et une réduction du rendement. La maladie peut provoquer 100 % de pertes de rendement. (KITTY et al., 1996).

### **I.10.4. Rouille :**

Une maladie causée par le champignon *Puccinia sorghi*. Cette maladie se manifeste généralement après la floraison du maïs, sur les tissus verts de la plante. Elle commence par de petits points chlorotiques qui se développent en pustules brun rougeâtre, donnant à la plante une apparence rouillée, d'où son nom. Les pustules sont poussiéreuses et de couleur sombre, avec un diamètre d'environ 1 mm. Elles sont présentes sur les feuilles et peuvent se propager rapidement. Les spores libérées par ces pustules peuvent infecter d'autres plantes, favorisant ainsi la propagation de la maladie (BERQUIST et MASIAS, 1974).

### **I.11. Cycle de développement du maïs :**

Le cycle de croissance du maïs se divise généralement en trois principales phases de développement, chacune marquée par des événements clés dans la croissance de la plante et la formation de ses organes essentiels :

<https://www.uscpd.com/mais/>

#### **I.11.1. La phase végétative :**

S'étend de la germination jusqu'à la transition florale (initiation des panicules et des épis). Cette transition survient généralement lorsque la plante a produit environ 50 % du nombre total de feuilles visibles et coïncide avec le début de la montaison de la tige, où celle-ci commence à s'allonger significativement en vue de la formation des structures florales. Se termine généralement lorsque la plante présente environ 12 à 14 feuilles visibles l'extérieur. À ce stade, la plante mesure généralement entre 20 et 40 cm de hauteur. La durée de cette phase peut varier considérablement, allant de deux à huit semaines depuis le semis, en fonction de la précocité des hybrides de maïs et des conditions climatiques locales. Pendant cette période, la tige et les feuilles se développent activement, permettant au jeune plant de maïs de devenir progressivement autotrophe, c'est-à-dire capable de produire sa propre nourriture par photosynthèse.

<https://www.semae-pedagogie.org/sujet/mais-origine-caracteristiques/>

#### **I.11.2. La phase de reproduction :**

Cette phase est caractérisée par trois principaux phénomènes : l'émission de la panicule, appelée floraison mâle, suivie d'une émission d'épis et de soies, dite floraison femelle, et le remplissage des grains formés. En effet, après la sortie de la dernière feuille, la panicule commence à se former à l'extrémité de la tige par le bourgeon terminal, C'est donc la floraison mâle. Elle est atteinte sur une parcelle lorsque plus de 50% des plantes ont une panicule (INRA, 1983).

Un nombre variable de rangées de grains qui fournissent entre 300 et 1000 grains pesant 190 à 300 g par 1000 grains se forment sur les épis (ALPHONSE, 2014). Chaque grain est composé d'un germe (embryon + cotylédon), d'un albumen et d'un péricarpe (CTA/ISF, 2012).

Les grains représentent environ 42% du poids sec de la plante et leur poids dépend des facteurs génétiques, environnementaux et agronomiques (ALPHONSE, 2014).

### **I.11.3. La phase de développement du grain et de maturation :**

A ce stade de développement, les ovules déjà fécondés commencent à gonfler et se transforment pour devenir plus tard ce qu'on nomme les grains de maïs.

- **Développement du grain:**

Environ 10 jours après la pollinisation, le grain de maïs est principalement liquide avec peu de matière solide. À ce stade, le grain est en phase de développement initial et commence à accumuler des réserves de matière solide. A 21 jours après pollinisation, les grains ont accumulé environ un tiers du rendement total en matière solide qu'ils auront à leur maturité physiologique. <http://www.gnis.fr/>

Au fur et à mesure que l'on se rapproche de la maturité, les feuilles du bas jaunissent et meurent. Chez une plante saine et bien nourrie, ceci ne devrait se produire que lorsque l'épi est pratiquement mûr. Cependant, tout facteur de stress sérieux, sécheresse, faible fertilité du sol, chaleur excessive, maladies peut causer la perte prématurée des feuilles.

(AHMADOU CHEIKH, 2018).

- **Maturation :**

A la maturité physiologique, les grains ont atteint leur rendement maximal et ont cessé d'accumuler davantage de matières sèches. Toutefois, leur teneur en eau de 30 à 35 % est trop élevée pour une récolte mécanique sans risque de dommages. (AHMADOU CHEIKH, 2018).

### **I.12. Culture de maïs :**

Les facteurs climatiques sont parmi les facteurs fondamentaux les plus importants qui déterminent la croissance et la production du maïs. Les températures déterminent le climat approprié pour cette culture, tandis que la quantité d'eau disponible joue un rôle majeur dans la croissance de la plante et dans la quantité de production. , la vitesse du vent et l'humidité de l'air affectent également la hauteur de la plante à toutes les étapes de sa croissance. La meilleure utilisation est que ces facteurs aideront à augmenter la production en sélectionnant les variétés appropriées et en déterminant les dates de plantation, d'arrosage et de récolte.

Le maïs (*Zea mays .L*) est souvent cultivé avant le blé, car il permet de réduire le potentiel d'infection en adventices de ce dernier, qui profite également de l'arrière effet des fumures organiques apportées au maïs. La monoculture de maïs est toutefois un phénomène courant,

notamment dans les régions où il est surtout produit pour le grain et où il est valorisé par l'irrigation (AGPM, 1976).

### **I.12.1. Culture de maïs en Algérie :**

#### **✓ Les variétés cultivées**

Les maïs rencontrés en Algérie peuvent être classés en trois grandes catégories, suivant l'origine de semence : le maïs indigène ; le maïs européen ; le maïs exotique.

#### **✓ Le rendement**

Le rendement algérien en maïs est très variable suivant les années, la culture et les lieux (LAUMONT, 2005).

Le rendement est très faible entre (1938-2005) traduit le peu de soins accordés à la culture du maïs en Algérie (LAUMONT, 2005).

### **I.12.2. Culture de maïs en le monde :**

Le maïs est aujourd'hui la culture la plus cultivée dans le monde, devant le riz et le blé. Les États-Unis sont le premier producteur de maïs, avec 314 millions de tonnes en 2011, ce qui représente 35,5 % de la production mondiale. Suit la Chine, avec 193 millions de tonnes, et le Brésil, avec 56 millions de tonnes. <https://www.lebulletin.com/>

L'Europe, avec 5 % seulement de la production mondiale, fait figure de « nain jaune ». Mais, la France ; en particulier, le Grand Sud-ouest, son grenier à maïs ; est de loin le premier pays producteur de maïs en Europe (plus de 40 %) (BASSALER, 2000).

### **I.13. Exigences écologiques :**

Pour leur bon développement les céréales exigent le regroupement d'un certain nombre de facteurs ; ces facteurs peuvent être intérieurs (l'état du grain lui-même) et/ou extérieurs (sol, climat, fertilisation.)

#### **I.13.1. Sol:**

Le maïs s'adapte mieux dans les sols à forte teneur en matière organique (ROUANET, 1997). Le maïs pousse sur des sols de fertilité, de texture et de profondeur très variables, mais préfère des sols profonds à texture fine, bien drainés et d'un pH entre 5.5 et 7.0 (BENLAHRECH, 2012).

#### **I.13.2. Température:**

Le maïs pousse bien dans la zone tropicale chaude. D'ailleurs, la chaleur est d'une importance capitale car elle règle le rythme de développement des plantes. Il a des exigences en température assez importantes à la germination (**MEMENTO DE L'AGRONOME, 2002**).

La plante exige des températures de 20 à 25 °C pendant la germination, de 20 à 30 °C pour la croissance et 21 à 30 °C pour une bonne floraison. Sa floraison est plus rapide durant les jours courts et les meilleurs rendements s'obtiennent avec 11 à 14 heures de lumière par jour (**BONILLA, 2009**).

### **I.13.3. Besoins en eau :**

Le maïs est également une plante exigeante en eau : il faut environ 500 | d'eau pour produire 1kg de grain et 350 | pour 1 kg de matière sèche soit, pour un rendement de 80 q/ha ou 12 t de matière sèche, 4 000 m<sup>3</sup>/ha, surtout en phase de germination, croissance, floraison, fécondation et grossissement des grains. Mais la période la plus critique pour l'eau s'étend sur les 15 jours qui précèdent et les 15 jours qui suivent l'apparition des inflorescences mâles (**HUBERT, 1978 et CIRAD-GRET, 2002**). Un déficit en eau durant cette période peut entraîner des pertes de rendement peuvent atteindre 50 %. Un apport d'eau par irrigation pendant cette période est capitale. Au final, si la température définit l'aire possible de la culture de maïs, l'eau est essentiel pour le potentiel de production (**BARRIERE, 2001**).

---

## **Chapitre II :**

### **Généralités sur le stress**

---

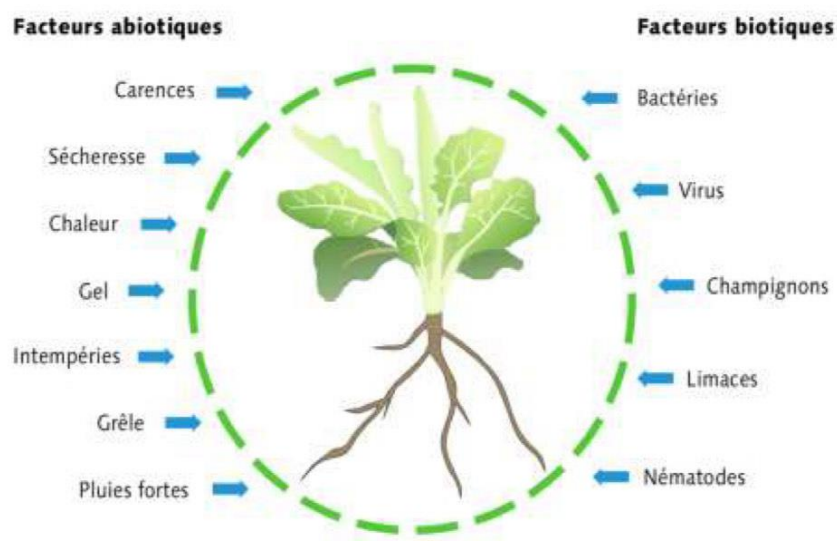
## II. 1. Le stress :

Le stress est une réaction naturelle de l'organisme face à des situations stressantes ou menaçantes. Il s'agit de la « réponse au stress » qui permet d'agir et de réagir ; c'est-à-dire de s'adapter à un changement quelconque.

Le stress pour une plante peut être défini comme toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant son fonctionnement habituel où provoquent des changements des processus physiologiques résultant éventuellement en dégâts, dommages, blessures, inhibition de la croissance ou de développement. La réponse de la plante dépend de divers paramètres environnementaux tels que le type de contrainte, son intensité et sa durée, ainsi que de facteurs génétiques (HOPKIN, 2003).

## II.2. Les stress abiotiques et biotiques et leurs effets sur la plante :

La plante est souvent soumise à une série de contraintes de stress abiotiques et biotiques tels que la salinité, la sécheresse, la chaleur, le froid, le stress oxydatif, l'effet des bactéries, des champignons, des virus et des nématodes. Face à ces différents types de stress, les plantes adoptent des systèmes d'acclimatation et de tolérance qui diffèrent en fonction de l'espèce et des conditions du milieu et qui font intervenir une large combinaison et de modification des facteurs morphologiques, physiologique, biochimique et moléculaire (BOUCHOUKH , 2010).



**Figure 05 :** Facteurs influencent la croissance des plantes (ROUMEISA, 2021).

Les organismes sont généralement soumis à deux types de stress : les stress biotiques (dus à une agression par un autre organisme) et les stress abiotiques (qui sont dus principalement à

des facteurs environnementaux). Ces deux types de stress peuvent avoir des effets différents sur les organismes et peuvent souvent interagir de manière complexe dans les écosystèmes. (VINCENT R, 2006)

### **II.3. Classification du stress :**

#### **II.3.1. Stress biotiques :**

##### **II.3.1.1. Définition du stress biotique :**

De nombreux agents pathogènes pénètrent dans la plante et ont pour origine les virus, les organismes phytophages et les pathogènes. Afin d'y faire face, la plante met en place un système de défense qui fait intervenir une chaîne de réactions, Par exemple, elle peut renforcer ses barrières physiques, comme les parois cellulaires, par la lignification, rendant ainsi plus difficile la pénétration des agents pathogènes, de plus, les plantes peuvent sécréter des substances chimiques toxiques pour les parasites telles que les polyphénols, les phytoalexines et d'autres dérivés de phénylalanine. Ces composés peuvent inhiber la croissance ou la reproduction des pathogènes, limitant ainsi leur capacité à causer des dommages.

Les plantes peuvent produire des enzymes inhibitrices qui ciblent les enzymes des parasites, comme les protéases, les amylases et les cellulases. En inhibant ces enzymes, les plantes privent les parasites de la capacité de se nourrir en dégradant les tissus de la plante hôte.

En général, Ces mécanismes de défense travaillent ensemble pour protéger les plantes contre les infections et maintenir leur santé. Cependant, les agents pathogènes évoluent également pour contourner ces défenses, ce qui entraîne une coévolution entre les plantes et leurs parasites. (LAVAL-MARTIN & MAZLIAK, 1995).

##### **II.3.1.2. Effets des stress biotique sur les plantes :**

Les microorganismes jouent un rôle essentiel à ce niveau. Ils influencent directement ou indirectement la croissance des plantes et leur santé. Alors que certains microorganismes agissent négativement sur la vitalité de la plante (par exemple les agents pathogènes), certains autres favorisent positivement leur développement (comme les mycorhizes ou les antagonistes). Les interactions entre ces différents acteurs – microorganismes «négatifs», microorganismes «positifs» et plantes – déterminent, sous l'influence des compartiments inertes du sol, la fertilité du sol. (JACQUES G, 1999).

Certains champignons agissent en tant que pathogènes, ce qui signifie qu'ils peuvent causer des maladies chez les plantes, tandis que d'autres agissent en tant qu'antagonistes,

protégeant ainsi les plantes contre les infections pathogènes. L'équilibre entre ses divers organismes détermine l'état de santé des plantes croissant dans ce milieu. (JACQUES G, 1999)

Les bactéries jouent un rôle essentiel dans la santé des plantes et la productivité agricole. Les bactéries pathogènes peuvent causer des maladies graves chez les plantes, entraînant des pertes de rendement importantes pour les agriculteurs. Cependant, il existe également des bactéries bénéfiques, souvent appelées antagonistes, qui protègent les plantes contre les pathogènes en compétitionnant pour les ressources ou en produisant des substances antimicrobiennes telles que des antibiotiques. Ces interactions entre les bactéries pathogènes et bénéfiques contribuent à maintenir l'équilibre microbien dans le sol et à protéger la santé des plantes. La plupart de ces bactéries produisent des antibiotiques qui semblent jouer un rôle non négligeable dans les mécanismes de protection des plantes (HOPKIN, 2003).

Les insectes herbivores ou phytophages sont caractérisés par le fait qu'ils se nourrissent de végétaux. Toutes les parties de la plante (tige, feuille, racine, graine, fruit, sève, nectar, pollen) sont susceptibles d'être consommées. Pour les insectes, se nourrir de plantes leur fournit une source d'énergie et de nutriments essentiels pour leur croissance et leur reproduction. En revanche, les plantes subissent des pertes d'énergie et de ressources lorsque leurs tissus sont consommés par les insectes herbivores. Pour compenser ces pertes, les plantes ont développé de nombreux mécanismes de défense, incluant par exemple des barrières physiques (e.g. trichomes) et des défenses chimiques (synthèse de toxines, de substances volatiles et autres métabolites secondaires). En parallèle, les insectes ont développé diverses stratégies pour surmonter les défenses des plantes comme la détoxification ou la séquestration des composés toxiques, ainsi que des mécanismes d'évitement. Ces interactions constituent un bel exemple de coévolution. Cette interaction complexe entre les insectes herbivores et les plantes a des implications importantes pour les écosystèmes, car elle influence la structure et la dynamique des communautés végétales, la diversité des espèces, et même des processus écologiques tels que la décomposition des matières organiques et le cycle des éléments nutritifs. (<https://www.gembloux.ulg.ac.be/entomologie-fonctionnelle-et-evolutive/recherche/rerelations-plantes-insectes/> )

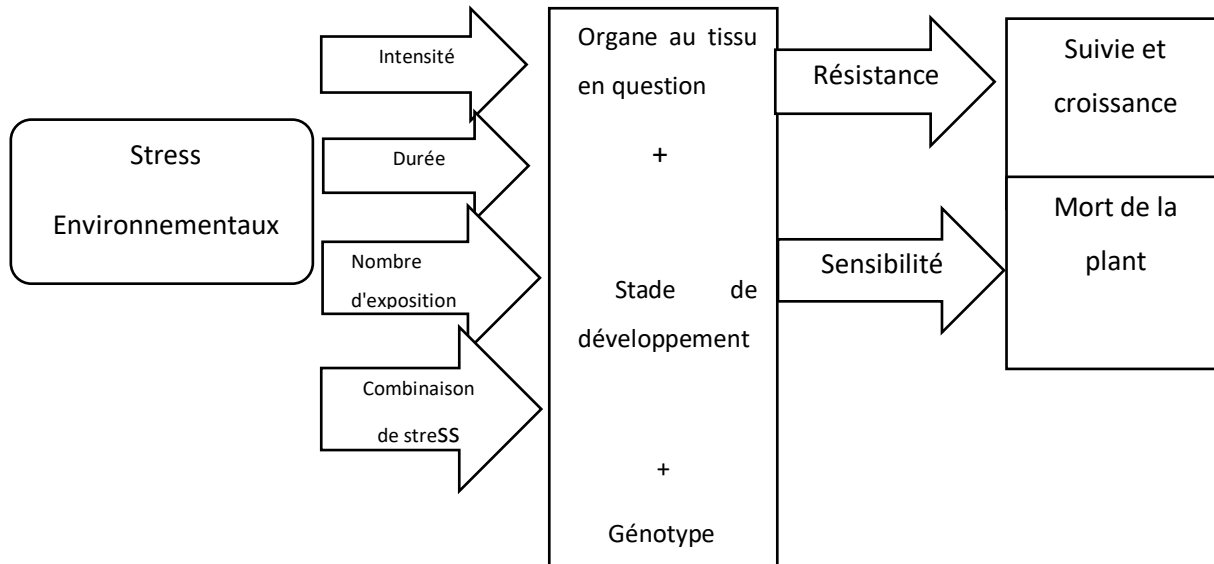
Les insectes n'interagissent pas avec la plante seulement pour leur alimentation mais également pour se réfugier, pondre et se reproduire. De manière générale, le choix de la plante hôte se fait par effets attracteurs comme vu précédemment. Le choix de la plante hôte pour la ponte se fait souvent par la mère. En général, elle privilégie un site où la quantité et la qualité des ressources est importante afin de maximiser le succès reproducteur de sa

descendance. En effet, pour des espèces où les larves ou les juvéniles ne sont pas capables de se déplacer sur de longues distances, l'accessibilité des ressources est primordiale. De plus, la plante n'est pas seulement un site de nutrition mais aussi un endroit de protection contre les prédateurs des jeunes insectes (HOPKIN, 2003).

### II.3.2. Stress abiotique :

Le stress abiotique est défini comme l'impact négatif des facteurs non vivants sur des organismes vivants dans un environnement spécifique (VINEBROOKE *et al.*, 2004).

Le stress abiotique est un facteur environnemental susceptible de déclencher des modifications chimiques ou physiques dommageables. Divers stress abiotiques sont distingués tels que la disponibilité d'eau (sécheresse ou inondation), les températures extrêmes (froid, gel, chaleur), la salinité, les carences nutritionnelles et la structure des sols etc. Les stress environnementaux nés de la fluctuation des facteurs abiotiques (sécheresse, salinité, température) affectent les conditions de croissance, le développement et le rendement des plantes. Les stress abiotiques peuvent imposer aux plantes des modifications métaboliques, physiologiques, phénologiques et peuvent même entraîner la mort des plantes. (MADHAVA RAO K.V., 2006).



**Figure 06:** facteurs déterminant la réponse de la plante au stress (BRAY *et al.*, 2000).

#### II.3.2.1. Stress hydrique :

Également appelé « pénurie d'eau », voire « rareté de l'eau » dans les cas les plus extrêmes, le stress hydrique est une situation critique qui surgit lorsque les ressources en eau disponibles sont inférieures à la demande en eau. (<https://www.cieau.com/> )

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants, affectant la productivité agricole autour du monde ( **BOYER, 1982**), Il est provoqué par un déficit en eau constituant une menace permanente pour la survie des plantes, néanmoins, beaucoup d'entre elles produisent des modifications morphologiques et physiologiques qui leurs permettent de survivre dans les régions de faible pluviosité dont la teneur en eau des sols est peu élevée (**HOPKIN, 2003**), Le déficit hydrique est la majeure contrainte environnementale qui affecte la production agricole mondiale, spécialement dans les zones aride et semi-aride . La première manifestation du stress hydriques chez une plante est le flétrissement mais des recherches ont montré qu'on ne peut se baser sur le flétrissement du feuillage pour détecter le stress, car les fonctions métaboliques sont affectées chez une plante stressée avant que le stress ne soit visible. Il faut avoir recours à des mesures au niveau de la plante, du sol ou à des estimations (**PINDARD, 2000**).

#### **II.3.2.1.1. Effet du stress hydrique sur la germination :**

En absence d'humidité suffisante, la graine même si elle est correctement placé dans le sol, elle n'évolue pas, retardant ainsi, la levée de la culture et en cas de persistance de sécheresse la situation peut se traduit par une absence de levée (**FELIACHIK, 2001**). La sécheresse est l'un de principaux facteurs environnementaux qui affecte grandement la germination des espèces cultivées et réduit leur survie au cours des stades précoces de développement. Au cours de cette phase, c'est le métabolisme des carbohydrates qui se trouve fortement affecté (**INGRAM, 1996**)

#### **II.3.2.2. Stress thermique :**

L'impact du stress thermique dépend fortement de l'intensité, la durée, et le rythme de changement de température, qu'elles soient élevées ou basses suffisant pour qu'elles endommagent la croissance et la fonction de la plante. Ces conditions peuvent perturber de nombreux processus biologiques dans les plantes, y compris la photosynthèse, la respiration, la croissance et le développement (**OUKARROUM, 2007**).

#### **II.3.2.1. Effet du stress thermique sur les plantes :**

- **Stress thermique par la chaleur :**

Une température au dessus de 5°C de la température optimale du développement ou plus enregistre un état de stress pour la plante. Le stress thermique affecte l'appareil végétatif et reproducteur de la plante. L'aptitude de cette dernière à tolérer la chaleur excessive varie non seulement avec leur stade de développement mais aussi avec l'espèce et le génotype. (**BARNABÁS et al., 2008; SAKATA et HIGASHITANI, 2008**). Elles exercent un effet néfaste sur la croissance et la productivité de plusieurs cultures particulièrement les céréales telles que le blé (**BITA et GERATS, 2013**). Les hautes températures induisent l'évaporation de l'eau cellulaire qui conduit à un déficit hydrique à cause de l'augmentation de la transpiration (**HELLER et al., 1989, LEINONEN et JONES, 2004; KOSOVÁ et al., 2015**). Ce stress engendre de diverses modifications physiologiques chez la plante, telles que l'abscission et la sénescence des feuilles, la brûlure des feuilles et des tiges, l'inhibition de la croissance des pousses et des racines ou les dégâts causés aux fruits, qui mènent de ce fait à une baisse du rendement (**VOLLENWEIDER et GÜNTHARDT-GOERG, 2005 ; WAHID et al., 2007**). Pour contrer les effets du stress thermique, les plantes ont développé divers mécanismes de défense. Cela inclut la production de protéines de choc thermique qui agissent comme des chaperons moléculaires pour protéger les protéines contre la dénaturation ou l'agrégation. De plus, les plantes peuvent induire des enzymes antioxydantes telles que l'ascorbate peroxydase et la catalase pour neutraliser les espèces réactives et réduire les dommages oxydatifs. En résumé, le stress thermique a des effets néfastes sur les plantes, mais celles-ci ont évolué pour développer des mécanismes de défense complexes pour atténuer ces effets et survivre dans des conditions environnementales difficiles.

- **Stress thermique par le froid :**

Est un stress abiotique qui détruit le développement et la productivité des végétaux (**GUO et al., 2018; LIU et al., 2018**). Les effets du froid sur les plantes sont variés et touchent plusieurs processus cellulaires et métaboliques. Tout d'abord, les basses températures affectent la rigidité de la membrane cellulaire, perturbent la stabilité des protéines et réduisent l'activité des enzymes, ce qui compromet le fonctionnement cellulaire normal, y compris la photosynthèse (**SIDDIQUI et CAVICCHIOLI, 2006; RUELLANDET et al., 2009; KOSOVA et al., 2015**). La gelée est un état plus stressant et plus désastreux pour les plantes que le froid et peut même causer la mort des plantes. Dans des conditions naturelles, les dégâts de congélation commencent par la nucléation extracellulaire de la glace (**PEARCE, 2001 ; YAGLIN, 2019**). Une fois que les cristaux de glace sont formés. Ils se propagent dans l'apoplaste où ils induisent un écoulement d'eau entraînant la déshydratation des cellules.

Pour survivre à ces conditions extrêmes, les plantes ont développé divers mécanismes d'acclimatation. Ces mécanismes peuvent inclure l'accumulation de protéines protectrices telles que les protéines LEA, les protéines antigé, et les protéines cold stock. Par exemple, les protéines LEA, comme COR15A, jouent un rôle important dans la stabilisation des membranes cellulaires pendant la déshydratation. Les protéines antigé, telles que les AFP, interagissent avec les cristaux de glace pour inhiber leur croissance, tandis que les protéines cold stock, comme CSP2 et CSP3, agissent comme des régulateurs de tolérance au gel (HOUDE *et al.*, 2004; QIU *et al.*, 2014; SASAKI *et al.*, 2014; LIU *et al.*, 2015).

### II.3.2.2. Améliorer les cultures pour résister au stress thermique :

Selon les analyses et études climatiques actuelles, le changement climatique et l'augmentation de la température atmosphérique réduiront la productivité de nombreuses variétés cultivées de cultures telles que le maïs, il convient donc de suivre plusieurs voies pour améliorer les variétés cultivées de ces cultures, telles que l'utilisation de nouveaux gènes et mécanismes capables de résister au stress thermique. Il est également nécessaire d'étudier l'analyse des variétés et espèces sauvages, la résistance au stress thermique et existant dans la nature, et de connaître la base génétique de cette résistance. Récemment, des techniques de génie génétique et de transfert de gènes ont été utilisées avec succès pour transformer l'expression génique de certaines protéines de choc thermique et de gènes de résistance chez certaines plantes d'essai. De nouveaux gènes et allèles d'espèces végétales et non végétales ont également été utilisés, les transférant aux variétés souhaitées et utilisant des composants de signalisation cellulaire pour augmenter la résistance (AHMED, 2016).

### II.3.2.3. Stress salin :

La salinité des sols constitue l'un des principaux stress abiotiques limitant la croissance des plantes cultivées (EPSTEIN *et al.* 1980; BOYER *et al.* 1982; TANJI *et al.* 1990; ABDELLY *et al.* 2008; MUNNS et TESTER, 2008). Cette salinité peut être naturelle ou induite par les activités agricoles comme l'irrigation (avec de l'eau de faible qualité) ou l'utilisation de certains types d'engrais (BARTELS et NELSON, 1994; RUBIO *et al.* 1995). Le taux élevé de sel dans les sols exerce un effet toxique sur les plantes et crée un désordre métabolique et une inhibition de la croissance et du développement (DJANAGUIRAMAN, *et al.* 2012). Chez plusieurs espèces végétales, les dégâts produits par le stress salin se manifestent communément par une séquence de changements morphologiques et physiologiques (LEVIGNERON *et al.* 1995). La salinité des sols plutôt un phénomène dynamique que statique, donc plusieurs mesures sont nécessaires pour évaluer son statut. Les

principales manifestations de l'installation de ce phénomène sont les quantités importantes des sels plus solubles que le gypse dans la solution du sol. Mais également l'importance du sodium sur le complexe d'échange. Il est généralement établi une fois l'apparition de ce phénomène est souvent accompagnée par la formation des sols. La salinité se rencontre en de nombreuses zones arides et semi arides du bassin méditerranéen (**DREVON et al, 2001**).

#### II.4. Définition de la salinité :

La salinisation des sols est en effet un problème majeur qui affecte l'agriculture et la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale. La salinité est l'un des stress abiotiques les plus sévères qui atteignent la productivité des plantes en causant de graves dommages, dans certains cas elle peut conduire à leur perte (**BOURIZG, 2019**), qui limitent la croissance et le développement des plantes, est la salinité des sols et des eaux comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  sous forme de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées. Actuellement, 6% de la surface terrestre et 20% des terres arables sont touchées par ce phénomène, ce qui équivaut à 800 millions d'hectares. De ce fait, elle constitue une grave menace sur la sécurité alimentaire mondiale. Par ailleurs, 50% des terres arables mondiales seraient affectées par le sel en 2050. Ainsi, la salinité atteint la structure du sol et peut causer la réduction de la biodiversité, ce qui conduit à la transformation de la matière organique et la disponibilité des éléments nutritifs, pour qu'à la fin, une terre fertile devienne une terre non productive. Effectivement, les sols salins produisent 50% en moins de que les sols normaux. En revanche, les techniques de sélection génétique peuvent être bénéfiques dans l'amélioration des cultures face à ce type de stress (**BOURIZG, 2019**).

##### II.4.1. Types de salinité :

En général on distingue deux formes de salinité : Primaire et secondaire

- ❖ **La salinité primaire (Natural)** : résulte de l'accumulation des sels dans le sol (ex : processus naturel de dégradation des roches salines..etc.).
- ❖ **La salinité secondaire (human-induced salinity)** : résultant des activités humaines (ex : l'irrigation avec des eaux chargées de sels.) <https://plantstress.com/>

##### II.4.2. Conséquences de la salinité sur la plante :

La salinité des sols est l'un des principaux facteurs entravant le développement agricole en raison de l'impact négatif de la salinité des sols sur la production de la plupart des cultures agricoles, Les effets de la salinité sont: l'arrêt de la croissance, le dépérissement des tissus

sous forme de nécroses marginales, suivi par une perte de turgescence, par une chute des feuilles et finalement par la mort de la plante (ZID, 1982).

Des études ont montré que différentes espèces, telles que le riz (KHAN *et al.* 1997) et la pomme de terre, sont sensibles à l'augmentation de la salinité, ce qui peut compromettre leur rendement et leur qualité (BOUAZIZ, 1980).

#### **II.4.3. Effet de la salinité sur la germination :**

La germination et les premiers stades de croissance sont cruciaux pour l'établissement des espèces se développant dans des environnements salins. Ce stade germinatif est souvent limité par la salinité du sol et se montre plus sensible par rapport aux autres stades de développements (OUHADDACH, 2016). Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (UNGAR, 1978 et KABAR, 1987 ; BOUCHOUKH, 2010).

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

##### **➤ Les effets osmotiques :**

Cela signifie que les graines ne peuvent pas absorber assez d'eau pour atteindre le niveau d'hydratation critique nécessaire au déclenchement du processus de germination.

##### **➤ Les effets toxiques :**

Cette accumulation cellulaire de sels peut perturber le fonctionnement des enzymes impliquées dans le processus de germination des graines, à une diminution de la capacité de germination. (REJILIET *al.*, 2006 ; KAROUNE, 2016).

#### **II.4.4. Effet de la salinité sur la croissance et le développement :**

La germination et les premiers stades de croissance sont cruciaux pour l'établissement des espèces se développant dans des environnements salins. Ce stade germinatif est souvent limité par la salinité du sol et se montre plus sensible par rapport aux autres stades de développements (OUHADDACH, 2016).

Le stress salin entraîne des modifications morphologiques, mais c'est le poids de la matière végétale sèche et la longueur des tiges qui rendent compte du milieu de la tolérance ou de sensibilité des plantes au sel (BEKHOUCHE, 1992). La présence d'une quantité de sels dans le berceau de la graine entrave l'absorption d'eau par les graines et réduit le nombre de racines embryonnaires et de radicules en raison de l'augmentation de la pression osmotique, ce qui entraîne un retard dans la germination, Les résultats ont montré que l'augmentation de

la tension osmotique dans la solution du sol entraîne une diminution du taux de germination des graines, où une augmentation brutale de la salinité du sol se traduit par une réduction immédiate de la croissance foliaire. Un retard de croissance important est signalé chez la plupart des glycophytes dès 50mm/l de NaCl dans la solution du sol.

Par contre chez les halophytes leur croissance ne semble diminuer que pour des concentrations beaucoup plus élevées; par exemple chez *Atriplexhalimus* L. c'est à partir de 480 mm/l de NaCl que sa production diminue (**BRUN, 1980**) due à deux raisons, tout d'abord, la présence de sel dans la solution de sol qui réduit la capacité des plantes d'absorbés l'eau, et cela a conduit à une croissance plus lente, par effet osmotique ou un déficit hydrique et a des quantités excessives de sel dans le flux de transpiration qui endommage les cellules foliaires responsables de la transpiration qui réduit encore la croissance (**CHAIMA & SOUMIA, 2021**).

Les cultures agricoles diffèrent dans leur capacité à tolérer la salinité, les céréales (blé, orge, avoine, maïs) montrant une plus grande tolérance à la salinité que les légumineuses (pois, lentilles, trèfle rouge, trèfle blanc) lorsqu'elles sont testées pour leur réponse à la salinité à partir d'un mélange de sels (**SIHAM, 2010**). Une autre étude à l'effet de la salinité sur la croissance, la production, le poids sec et la production de grains de l'orge, il a été constaté qu'une augmentation de la concentration en sel dans le sol de plus de 08 millimoles par centimètre entraîne une baisse de la production, une augmentation du nombre de talles et une diminution de la longueur des tiges. De plus, le poids des grains dans les talles était inférieur à celui des grains dans la tige principale (**SIHAM, 2010**). L'effet de la salinité sur la germination des graines est varié en fonction de l'intensité du stress et la variété des plantes et cela, soit en diminuant la quantité d'eau et la vitesse de son absorption par la graine, soit par l'accroissement de la pression osmotique de l'eau d'imbibition qui est trop élevée pour permettre la germination (**KATEMBE et al., 1998**), où en augmentant la pénétration d'ions qui peuvent s'accumuler dans la graine à des doses qui deviennent toxiques (**DEBEZ et al., 2001**). Quand le stress salin est levé et que la germination est remise dans des conditions normales, les graines reprennent leur activité (**DUAN et al., 2004**).

#### **II.4.5. Effet de la salinité sur la biochimie de la plante :**

Le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique et protéique au niveau de la membrane cellulaire ce qui affecte sa stabilité, (**ALEM & AMRI, 2005**), il y a un changement dans le modèle d'expression des gènes, ce qui peut modifier la synthèse des

protéines tant au niveau qualitatifs et quantitatifs. Cette altération peut être observée dans la membrane cellulaire (REYNOLDS *et al.*, 2001).

La présence du sel en forte concentration inhibe principalement le métabolisme cellulaire et la photosynthèse (TREMBLIN & COUDRET, 1986) en imposant un stress osmotique sur la cellule (HAYASHI & MURATA, 1998). La salinité entraîne une diminution de la vitesse de la photosynthèse, principalement en raison de la réduction de la conduction stomatique du CO<sub>2</sub>. Ce phénomène est causé par plusieurs facteurs, notamment la déshydratation des membranes cellulaires, qui diminue leur perméabilité au CO<sub>2</sub>, la toxicité du sel, la fermeture des stomates qui réduit l'approvisionnement en CO<sub>2</sub>, l'augmentation de la sénescence induite par la salinité et les changements dans l'activité enzymatique dus aux modifications de la structure cytoplasmique (Ikram & Hayat, 2018), et plus, la toxicité du sodium et du chlorure dans le cytoplasme contribue à cette perturbation (NIU *et al.*, 1995). Chez diverses espèces, plus ou moins résistantes, on a observé une augmentation des sucres totaux résultant d'un blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d'une forte hydrolyse de l'amidon (ASLOUM, 1990). Selon (HADJADJ, 2009). L'accumulation des sucres solubles est importante dans les feuilles des plantes d'*Atriplex halimus* L. et d'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. Soumises à un stress salin.

#### II.4.6. Effet de la salinité sur les processus physiologiques de la plante :

Un excès de sel dans le protoplasme conduit à des modifications dans la balance ionique, des perturbations des enzymes, membranes et autres macro-molécules. Ces perturbations entraînent une faible production d'énergie par la phosphorylation et la photorespiration, une assimilation de l'azote est perturbée, et un dérèglement de nombreuses voies métaboliques. Perturbations fonctionnelles apparaissent au niveau de la photosynthèse, par effet du sel dans le stroma des chloroplastes qui perturbe le transport des électrons. La glycolyse et le cycle de Krebs sont aussi affectés. L'acquisition de substances minérales, comme le potassium, les nitrates ou le calcium est également réduite. La plante montre alors des signes de stress par la production d'anthocyanes ou la destruction de la chlorophylle. Si chez certaines halophytes, la croissance est stimulée par un apport modéré de sel, ce phénomène reste limité par un niveau de tolérance. Des stress extrêmes conduisent au nanisme et à l'inhibition de la croissance. Les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir terminé leur croissance et développement, et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite (BABASIDI-KACI, 2010).

---

## **Chapitre III :**

**Effet de stress salin sur le maïs**

---

### III.1. Effet de stress salin sur le maïs (*Zea mays L.*) :

Le stress salin affecte la croissance et le développement du maïs ; cependant, la réponse des plantes varie selon le degré de stress et le stade de croissance de la culture. L'exposition à court terme des plants de maïs au stress salin influence la croissance des plantes en raison du stress osmotique dans la première phase du stress salin (SÜMER *et al.*, 2004) sans atteindre des concentrations toxiques de sodium (FORTMEIER et SCHUBERT 1995).

#### III.1.1. Effet de stress salin sur la germination et la croissance des grains :

Les espèces végétales varient considérablement dans leur croissance dans des conditions de stress salin. Nous constatons que certaines plantes poussent bien dans des conditions salées, tandis que d'autres ont une croissance faible et peuvent même atteindre le point d'inhibition de la croissance ou de flétrissement et de mort.

Le maïs (*Zea mays L.*) est l'une des cultures céréalières les plus importantes au monde après le blé et le riz, et c'est l'une des cultures modérément sensibles à la tolérance au sel (KATERJI *et al.*, 2000).

L'établissement des plantules est une phase importante du cycle de vie du maïs. Le stress salin affecte négativement la germination des graines (BORLU HO *et al.*, 2018) , en raison de la diminution du potentiel osmotique créé dans la solution du sol qui empêche l'entrée d'eau dans la graine (TAIZ et ZEIGER, 2003). Lors de l'établissement des plantules, l'apport d'ions sodium et chlorure provoque une toxicité dans les cellules végétales, réduisant ainsi les taux de germination des graines et la croissance des plantules déjà germées (CARPÝCÝ *et al.*, 2009) Outre son impact négatif sur les taux de germination, le stress salin retarde également le processus global de germination, réduisant ainsi les chances de survie des graines qui ont pu germer (ASHRAF et FOOLAD, 2005 ; BOJOVIC *et al.*, 2010). En raison de son potentiel de réduction drastique de la productivité des cultures, il est primordial de reconnaître ces premiers impacts délétères de la salinité du sol et de l'eau sur la croissance et le développement des plantes (GOLDSWORTHY, 1994). Selon (CARPICI *et al.*, 2009) le taux de germination diminuait de manière significative Très significative avec une salinité élevée.

Solen (SHARMAN *et al.*, 1985) ont constaté que la croissance des plantes était considérablement réduite et que l'augmentation de la salinité entraînait un retard de croissance dans la plupart des cultures, le retard de croissance est associé à une réduction significative du transport des solution.

### III.1.2. L'effet du stress salin sur les feuilles et les racines

Le stress salin sur feuilles Il a fait l'objet de nombreuses études en raison de son importance dans le processus de photosynthèse en général. Une réduction de la surface foliaire a été enregistrée chez les plantes sensibles sous l'influence de la salinité (**MOHEB, 2006**)

Indiqué (**LAKIDI, 2012**) que l'ajout de chlorure de sodium à des concentrations croissantes et l'espacement des périodes d'irrigation ont entraîné une diminution significative du nombre de feuilles du plant de maïs. La raison de cette diminution peut être attribuée à l'augmentation de la concentration de sels de chlorure de sodium dans le maïs. Milieu de croissance entravant la croissance de la plante en général, y compris la diminution du nombre de feuilles, qui jouent un rôle efficace dans le processus de photosynthèse.

Dans son étude, Shaker a expliqué l'effet de trois concentrations de chlorure de sodium (0, 50 et 100 mm) et de trois périodes d'irrigation (irrigation continue, irrigation tous les quatre jours et irrigation tous les six jours) sur les caractéristiques physiologiques du plant de maïs. (*Zea mays L.*), 6 semaines après la germination des graines.

Ses résultats indiquent que les niveaux de salinité, les périodes d'irrigation et l'effet de l'interférence ont entraîné une diminution significative de la longueur des racines et des plantes, les valeurs les plus élevées et les plus basses de la longueur des racines et des plantes étant atteintes (29,118 et 13,204 cm) et (53,404 et 20,906 cm). (Pour le traitement de comparaison et la période d'irrigation tous les six jours, respectivement. Quant à l'effet d'interaction, la valeur la plus basse atteinte (11,053 et 19,347 cm) pour la combinaison d'irrigation tous les six jours. Six jours et le niveau de sel (100 mm) pour la racine et la longueur de la plante, respectivement. La raison peut être que la salinité inhibe le processus de photosynthèse et la fabrication de glucides et affecte ainsi négativement la division cellulaire puis la croissance des plantes (**AL-HUMAYSHI, 2006**).

### III.1.3. Effet du stress salin sur la chlorophylle :

En étudiant l'effet de la salinité de l'eau d'irrigation sur certaines variétés de maïs jaune, (**ABDEL MAJEED, 2002**) a constaté que l'augmentation de la conductivité électrique de l'eau d'irrigation à 6 mm/cm entraînait une diminution du pourcentage de chlorophylle totale et de chlorophylle A d'environ 20 %, pour cent et la chlorophylle B de 39 %.

(**OMAR, 1996**), en étudiant l'effet du stress salin sur la culture du maïs, a expliqué que l'augmentation de la salinité du sol entraînait une diminution de la teneur en chlorophylle des feuilles.

La salinité entraîne une réduction significative du taux de transpiration, des pigments et de la matière sèche. L'effet nocif de la chlorophylle est responsable de la formation de glucides, et l'augmentation du taux de salinité réduit la clarté de la teneur en chlorophylle (A) et en chlorophylle (B) (SINGH *et al.*, 1993).

La présence de chlorure de sodium dans le sol empêche l'absorption du Pi, Ca<sup>++</sup>, k<sup>+</sup>, No<sup>3-</sup>, (GRENWAY *et al.*, 1980, KLOPUS *et al.*, 1988), La teneur de la partie végétative de la plante en ces éléments diminue en présence de NaCl (GORHAM *et al.*, 1985, TOURAINE *et al.*, 1985).

Cette diminution est due à l'empêchement de l'absorption des éléments précités par les racines (GORHAM *et al.*, 1996, KLOBUS *et al.*, 1988).

#### III.1.4. L'effet du stress salin sur les échanges gazeux et hydriques :

Le stress salin affecte les aspects physiologiques du maïs, tels que la photosynthèse et les relations hydriques. Une carence en eau ou une augmentation ionique résultant d'un pourcentage élevé de sels dans le substrat de culture réduit le potentiel de photosynthèse, ce qui entraîne une croissance réduite.

- ✓ **Levitt 1980** a découvert qu'un stress accru dû au sel entraîne une augmentation de la respiration du maïs.

La salinité affecte la pression osmotique, ce qui entraîne une réduction du bilan hydrique, en plus de la perte d'eau dans les cellules, ainsi qu'une sénescence prématurée des feuilles.

#### III.1.5. L'effet du stress salin aux niveaux moléculaire et cellulaire :

Le stress salin peut affecter l'intégrité de la membrane plasmique, déplaçant ainsi le calcium des sites de liaison et provoquant des fuites membranaires (CRAMER *et al.*, 1988). Cela peut également affecter le processus d'acidification de la paroi cellulaire, qui dépend du pompage de protons par l'ATPase à travers la membrane plasmique intacte (SPANSWICK, 1981). L'acidification de l'apoplaste est essentielle pour augmenter l'extensibilité de la paroi cellulaire et contrôler la croissance par extension (HAGER, 2003).

Sous stress salin, le pH apoplastique augmente dans les génotypes de maïs sensibles, réduisant ainsi la croissance par extension en raison d'une moindre acidification (PITANN *et al.*, 2009). Le pompage H<sup>+</sup> de la membrane plasmique par l'ATPase est inhibé, probablement à cause de l'expression d'isoformes inefficaces (ZÖRB *et al.*, 2005). Cependant, le génotype

de maïs résistant au sel maintient le pompage  $H^+$  et exprime un pH apoplastique réduit (PITANN *et al.*, 2009), favorisant le relâchement de la paroi cellulaire.

Malgré le maintien de l'acidification de la paroi, la croissance du maïs résistant diminue pendant la première phase de stress, suggérant que d'autres facteurs, comme les protéines de paroi cellulaire telles que les expansines, limitent la croissance (PITANN *et al.*, 2009 ; COSGROVE, 2000 ; UDDIN *et al.*, 2013). Les  $\beta$ -expansines, plus abondantes chez le maïs, sont moins affectées par le stress salin chez le génotype résistant (PITANN *ET al.*, 2009A ; WU *et al.* 2001).

Enfin, l'apport d'assimilation aux tissus en croissance n'est pas limitant pendant la première phase de stress, indiquant que la photosynthèse n'est pas responsable de la réduction de croissance (DE COSTA *et al.*, 2007).

### III.1.6. Effet sur le développement et le rendement :

Le rendement en grains du maïs est principalement déterminé par le nombre et le poids des grains (MUBEEN *et al.*, 2016 ; MUBEEN *et al.*, 2021 ; BATTAGLIA *et al.*, 2018 ; BATTAGLIA *et al.*, 2019). Une étude récente a montré qu'une concentration de 100 mm de NaCl appliquée pendant la phase de reproduction du maïs a réduit le rendement et le poids du grain de 25 % et 8 % respectivement, par rapport à des conditions non salines (Kaya *et al.*, 2013).

La réduction de la photosynthèse et la limitation des puits induits par la salinité sont les principales causes d'une mauvaise nouaison et d'un nombre réduit de grains (SCHUBERT, 2011). La salinité réduit l'activité de l'invertase acide, ce qui diminue encore davantage le nombre final de grains (HÜTSCH *et al.*, 2014). La diminution de la translocation des assimilats des feuilles vers les grains émergents est le principal facteur de la réduction du poids et du rendement final en grains sous stress salin (FAROOQ *et al.*, 2014).

### III.1.7. Effet sur la qualité des grains :

Différentes conditions environnementales peuvent grandement affecter la qualité des grains de maïs (EL SABAGH *et al.*, 2020). Parmi ceux-ci, l'impact négatif du stress salin sur la qualité des grains n'a pas été étudié de manière approfondie. En travaillant avec cinq niveaux d'irrigation saline [1, 2, 3, 4 et 5 g L<sup>-1</sup> de matières dissoutes totales (TDS)] dans une étude de 2 ans en Chine, (LI *et al.*, 2019) n'ont trouvé aucune différence dans les teneurs en huile, en fibres brutes et en cendres des grains de maïs. A l'inverse, les céréales la teneur en humidité et en amidon diminue avec l'augmentation de la salinité, avec des valeurs

maximales apparaissant avec 1, 2 et 3 g L<sup>-1</sup> de TDS dans les deux cas, tandis que la teneur en protéines augmente avec l'augmentation de la salinité, atteignant des valeurs maximales > 12 % avec 4 et 5 g L<sup>-1</sup> du TDS. Alors que les impacts des différents traitements de salinité étaient antagonistes sur la teneur en amidon et en protéines, deux des composants clés de la qualité du grain de maïs, les niveaux de sel dans l'eau d'irrigation doivent équilibrer le contenu de chaque composant. Une faible teneur en humidité des grains peut être bénéfique à des fins de stockage, car ces conditions sont préjudiciables à la prolifération d'agents pathogènes fongiques, qui peuvent provoquer une contamination par les mycotoxines et une réduction de la qualité des grains de maïs (WEINBERG *et al.*, 2008).

### **III.2. Mécanismes de résistance :**

Les plants de maïs subissent une variété d'adaptations aux niveaux subcellulaire, cellulaire et organique pour croître avec succès sous salinité. La résistance au sel est un phénomène complexe ; les plants de maïs manifestent plusieurs adaptations telles que la régulation stomatique, les changements dans l'équilibre hormonal, l'activation du système de défense antioxydant, l'ajustement osmotique, le maintien de la teneur en eau des tissus, et divers mécanismes d'exclusion des ions toxiques sous stress salin (MUHAMMAD *et al.*, 2015).

Selon (MUHAMMAD *et al.*, 2015) Les plants de maïs appartiennent à la Mécanismes de résistance suivent :

#### **III.2.1. Osmorégulation et osmoprotection :**

L'osmorégulation aide les plants de maïs à minimiser les effets du stress osmotique induit par la salinité. La proline et la bétaine de glycine sont les principaux osmolytes responsables de l'osmorégulation chez le maïs en conditions de stress salin.

#### **III.2.2. Homéostasie ionique :**

L'exclusion de quantités excessives de sodium ou sa compartimentation dans les vacuoles est une stratégie adaptative importante pour les plantes sous stress salin, ce qui aide les plants de maïs à éviter les effets toxiques d'un excès de sodium et à abaisser le potentiel osmotique, contribuant ainsi à l'osmorégulation.

#### **III.2.3. Acidification apoplastique :**

L'acidification apoplastique sous stress salin, nécessaire à l'extensibilité de la paroi cellulaire, est un indicateur important de la résistance au sel ; néanmoins, elle n'est pas essentielle pour une meilleure croissance du maïs sous stress salin.

### III.2.4. Régulation hormonale :

La réponse du maïs au stress salin implique une régulation hormonale complexe, permettant à la plante de s'acclimater aux conditions difficiles.

Des niveaux plus élevés d'acide abscissique dans le maïs soumis au stress salin aident à minimiser la perte d'eau et peuvent même réguler la promotion de la croissance. La sensibilité de la croissance des feuilles diminue à mesure que les niveaux d'acide abscissique augmentent dans de telles conditions.

### III.2.5. Mécanismes moléculaires :

Accumulation ou inhibition de protéines spécifiques et la régulation positive et/ou négative de nombreux gènes trans- les scripts aident à la résistance au sel du maïs. À cet égard, la régulation lation des gènes de défense antioxydante et expression de  $\beta$ - les protéines expansines sont importantes pour la résistance au sel du maïs.

## III.3. Approches récentes pour améliorer la tolérance du maïs à la salinité :

### III.3.1. Application d'hormones et d osmoprotecteur :

- L'application externe d'hormones de croissance (comme l'acide gibbérellique) et d'osmolytes (comme la proline, la bétaine de glycine, le mannitol) s'est avérée efficace pour faire face aux impacts négatifs de la salinité du sol et de l'eau.
- Les régulateurs de croissance végétale et les osmoprotecteurs jouent un rôle crucial pour moduler les réponses physiologiques des plantes et favoriser leur adaptation aux environnements salins.
- L'accumulation d'osmolytes dans des conditions de faible potentiel hydrique, comme dans les sols salés, contribue au maintien de l'équilibre hydrique des plantes par un processus d'osmorégulation (**SERRAJ et SINCLAIR, 2002**).
- Les osmoprotecteurs peuvent être classés en deux grands groupes : les solutés osmoprotecteurs organiques (proline, bétaine, sucres) et inorganiques (calcium, potassium, phosphate) (**SHARMA et al., 2019**).
- L'application exogène d'osmoprotecteurs aide à préserver les fonctions cellulaires normales des plantes soumises au stress salin, en régulant l'activité enzymatique, l'homéostasie des espèces réactives de l'oxygène, l'intégrité membranaire et l'équilibre ionique (**AHMAD ET al., 2016 ; HASANUZZAMAN et al., 2017**).
- L'application externe d'hormones de croissance comme l'acide gibbérellique et les cytokinines a également montré des bénéfices pour atténuer les dommages causés aux

membranes cellulaires des plantes sous stress hydrique ou salin (AHMAD *et al.*, 2016 ; AHMAD *et al.*, 2021).

- L'application combinée de GA, d'acide indole-acétique et de proline avec un amendement organique a renforcé la tolérance aux métaux lourds et augmenté la protection contre le stress oxydatif chez le maïs (ADEJUMO *et al.*, 2020)
- L'acide salicylique (SA) joue un double rôle de régulateur de croissance et d'antioxydant, améliorant les performances des cultures face aux contraintes abiotiques et biotiques (HAYAT *et al.*, 2010 ; ELGAMAAL *et al.*, 2013). L'application foliaire de SA a montré des effets positifs sur le contenu en eau, la stabilité membranaire et l'activité antioxydante du maïs soumis à un stress salin ou hydrique (SARUHAN *et al.*, 2012 ; FAHAD *et al.*, 2012).
- Le prétraitement des graines de maïs avec de l'acide salicylique (2 mm) a permis une meilleure émergence et établissement des plants (WANG *et al.*, 2013).
- Le méthyl jasmonate (Meja) appliqué de manière exogène peut également améliorer la tolérance des plantes de maïs aux contraintes abiotiques comme la sécheresse et la salinité en renforçant le métabolisme de défense (SANTINO *et al.*, 2015).

Ainsi, ces régulateurs de croissance et antioxydants offrent des approches prometteuses pour améliorer la résistance du maïs aux stress abiotiques.

### III.3.2. Amorçage des semences :

L'amorçage des semences (traitement préalable des semences avant le semis) avec différents agents d'amorçage comme l'eau et les régulateurs de croissance peut faciliter le processus de germination (IQBAL, 2015). Cela permet d'augmenter le métabolisme énergétique, de favoriser la mobilisation des réserves et l'expansion de l'embryon, d'induire la formation de systèmes de réponse au stress, et de réguler à la hausse certains gènes (JAVED *et al.*, 2020 ; IQBAL *et al.*, 2014 ; JAVED *et al.*, 2021).

Les principales techniques d'amorçage sont l'hydratation non contrôlée ou amorçage hydro (AKTER *et al.*, 2018). et l'hydratation contrôlée, qui comprend l'amorçage osmotique, l'amorçage en matrice solide et l'amorçage hormonal (FOTI *et al.*, 2008). Les agents d'amorçage osmotique couramment utilisés pour le maïs comprennent le polyéthylène glycol (PEG), les chlorures, les sulfates, les nitrates, le glycérol et le sorbitol (Ashraf *et al.*, 2005)

L'amorçage avec des composés inorganiques comme le  $\text{KNO}_3$  a permis une meilleure implantation des jeunes plants de maïs à basse température (ČANAK *et al.*, 2016). Les

micronutriments ont également été utilisés comme agents d'amorçage nano-semences pour augmenter le pourcentage de germination et favoriser le développement et la vigueur des jeunes plantes (**GHARBI et RAZMJOO, 2013**).

L'amorçage des graines de maïs avec du NaCl ou du CaCl<sup>2</sup> a entraîné des changements physiologiques et biochimiques, améliorant ainsi la tolérance à la salinité et les performances dans des environnements salins (**BAKHT et al., 2011**).

### **III.3.3. Amélioration génétique de la tolérance du maïs au stress salin :**

La sélection assistée par marqueurs moléculaires et d'autres techniques biotechnologiques pour améliorer la tolérance aux contraintes abiotiques (chaleur, sécheresse, salinité) chez le maïs. Bien que ces approches aient démontré leur succès chez d'autres espèces, le succès reste limité chez le maïs, principalement en raison de techniques de dépistage et de sélection insuffisantes, de critères de sélection peu précis et d'une compréhension limitée des mécanismes de tolérance au stress (**DAS et al., 2017**).

Néanmoins, des exemples réussis d'utilisation de marqueurs moléculaires existent, comme pour le gène SKC1 contrôlant l'homéostasie du potassium chez les plantes tolérantes au sel (**DAS et al., 2015**). Le développement de plantes transgéniques résistantes aux contraintes abiotiques est également une piste envisageable, grâce aux techniques de séquençage à haut débit permettant d'étudier l'expression de gènes spécifiques de la tolérance au stress abiotique (**NGUYEN et al., 2018**).

Les possibilités d'amélioration génétique pour la salinité, la chaleur et la sécheresse sont limitées en raison d'une efficacité de sélection réduite, de techniques de dépistage inadéquates et d'une compréhension minimale de l'interaction entre l'environnement et le stress. Actuellement, la technologie des marqueurs moléculaires est utile pour développer de nouveaux cultivars de maïs avec des caractéristiques améliorées. Cependant, à ce stade, la voie raisonnable consiste à améliorer le maïs transgénique avec une résistance accrue aux contraintes de chaleur, de sécheresse et de salinité. Les approches intégrées à haut débit offertes par les technologies génomiques sont utiles pour étudier l'expression des gènes liés à toutes les contraintes abiotiques, y compris la sécheresse (**JAVED et al., 2020**).

### **III.4. Biotechnologie et génomique fonctionnelle**

Le transfert de gènes entre espèces, appelé approche transgénique, est une solution plus rapide et précise que la sélection conventionnelle pour développer des plantes résistantes au stress salin. Les progrès de la génomique fonctionnelle et de la biotechnologie ont permis

d'identifier des gènes impliqués dans la tolérance au sel, comme ZmNHX, qui peuvent être introduits dans des plantes pour augmenter leur résistance en séquestrant le sodium dans les vacuoles (BLUMWALD, 2000 ; HASEGAWA *et al.*, 2000 ; PITANN *et al.*, 2013). Des études ont montré que le maïs transgénique exprimant ces gènes a une meilleure productivité en conditions salines, avec un rendement en grains plus élevé et une meilleure accumulation de potassium (LI *et al.*, 2010 ; YIN *et al.*, 2004 ; CHEN *et al.*, 2007). Les approches transgéniques permettent également d'éliminer les marqueurs de sélection pour améliorer la biosécurité (LI *et al.*, 2010).

---

## **Conclusion générale**

---

Le maïs est une culture versatile qui pousse sur des zones agro-climatiques contrastées (**GOVERNMENT, 2008**). Une partie de la production est destinée à l'alimentation humaine et animale, alors qu'une autre est utilisée comme matière première pour de nombreuses applications industrielles (**BRINK et BELAY, 2006**).

Le stress salin est une contrainte environnementale importante qui limite la productivité des plantes de culture. Les effets de la salinité peuvent varier selon plusieurs facteurs, comme les conditions climatiques, les conditions du sol, l'intensité lumineuse ou encore l'espèce végétale (**TANG et al., 2015**).

Le stress salin affecte la croissance et le développement du maïs ; cependant, la réponse des plantes varie selon le degré de stress et le stade de croissance de la culture. L'exposition à court terme des plants de maïs au stress salin influence la croissance des plantes en raison du stress osmotique dans la première phase du stress salin (**SÜMER et al. 2004**) sans atteindre des concentrations toxiques de sodium (**FORTMEIER et SCHUBERT 1995**).

L'augmentation de la concentration en sels dans le sol et l'eau a un impact négatif sur la croissance et la productivité de la culture du maïs. Le stress salin entraîne une diminution de l'absorption de l'eau et des nutriments par la plante, ce qui ralentit le processus de croissance et de développement. De plus, la salinité cause des dommages à la structure cellulaire et affecte divers processus biologiques comme la photosynthèse et la respiration. Par ailleurs, le stress salin réduit la production de grains et le rendement total de la plante. Ces effets néfastes peuvent être atténués par l'utilisation de variétés tolérantes à la salinité ou par l'amélioration des pratiques de gestion des sols et de l'irrigation. Renforcer ces efforts est crucial pour assurer la sécurité alimentaire dans les régions touchées par la salinité.

---

## **Références bibliographiques**

---

## Références bibliographiques

- (2003). Physiologie végétale: De Boeck Supérieur.(Triticum aestivum L.) au stade montaison. ,Univ.Mentouri Constantine, 85 p233- 264.
- Abdelhafid Y. (2010) Cartographie de la salinité des sols par induction électromagnétique « Cas de la zone est du périmètre irrigué de la Mina ». Mém., Mag., ENSA., El-Harrach, 102 p.
- AGPM (1976). Association générale des producteurs de maïs. France 41p.
- Ahmad B, Zaid A, Sadiq Y, Bashir S, Wani SH. Role of selective exogenous elicitors in plant responses to abiotic stress tolerance. In: Plant Abiotic Stress Tolerance. Springer: Cham; 2019, p. 273-290
- Ahmad P, Rasool S, Gul A, Sheikh SA, Akram NA, Ashraf M, Kazi AM, Gucel S. Jasmonates: multifunctional roles in stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:813
- Ahmad, P., C. A. Jaleel, M. A. Salem, G. Nabi, et S. Sharma. 2010. «Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress.» *Crit. Rev. Biotechnol.* 161–175.
- Ahmadou Cheikh, M. (2018). Evaluation de variétés hybrides de maïs dans les conditions de culture du sud du bassin arachidier du Sénégal. Mémoire de Master UNIVERSITE DE THIES, 7-9p.
- Ahmed Mansour, A.-Z. (2016). Le stress thermique et ses effets sur la production agricole. Egypte: Université de Zagazig.
- Akram M, Ashraf MY, Ahmad R, Rafiq M, Ahmad I, Iqbal J. Allometry and yield components of maize (*Zea mays* L.) hybrids to various potassium levels under saline conditions. *Archives of Biological Sciences*. 2010;62(4):1053-1061
- Akter L, Fakir OA, Alam MK, Islam MU, Chakraborti P, Alam MJ, Rashid MH, Begum M, Kader MA. Amelioration of salinity stress in maize seed germination and seedling growth attributes through seed priming. *Open Journal of Soil Science*. 2018;8(05):137
- ALEM, C., & AMRI, A. (2005). Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Reviews in Biology and Biotechnology*, (pp. Vol. 4, No. 1: 20- 31.).
- Alphonse, A. (2014). contribution à l'amélioration de la production du sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) dans les zones arides et semi-arides au Mali.

- ANAKA, A. et YAMAGUCHI, J. (1972). DRY MATTER PRODUCTION, YIELD COMPONENTS AND GRAIN YIELD OF THE MAIZE PLANT. *Journal of the Faculty of Agriculture, Hokkaido University*, 57(1) \_p71-132.
- ANONYME (2012). Office National de la Météorologie, synthèse de données climatiques de la région de Ouargla, 267 p.
- ANONYME., (2011- Croissance des végétaux sous contraintes environnementales .Doc poly.6p.
- ANONYME (2011). <https://www.superprof.fr/ressources/wp-content/uploads/2011/02/champs-fleur-mais.jpg>
- ANONYME (2020). <https://www.maizeurop.com/cest-le-debut-de-la-floraison-femelle/>
- ANONYME (2019). <http://elearning.univbiskra.dz/moodle2019/pluginfile.php>
- ANONYME (2023). <https://cipf.be/fr/mais/maladies/charbon-commun-usilago-maydis>
- aruhan N, Saglam A, Kadioglu A. Salicylic acid pretreatment induces drought tolerance and delays leaf rolling by inducing antioxidant systems in maize genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2012;34(1):97-106
- Ashraf M, Foolad MR. Pre-sowing seed treatment-A shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in agronomy*. 2005;88:223-271
- Ashraf M, Foolad MR. Pre-sowing seed treatment-A shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in agronomy*. 2005;88:223-271
- Ashraf M, Rauf H. Inducing salt tolerance in maize (*Zea mays* L.) through seed priming with chloride salts: Growth and ion transport at early growth stages. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2001;23(4):407-41
- ASLOUM , H. (1990). Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicon esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Thèse doctorat développement et amélioration des végétaux (pp. 24- 32.). Nice Sophia-Antipolis.
- BABASIDI-KACI, S. (2010). Effet du stress salin sur quelques paramètres phénologiques (biométrie, anatomie) et nutritionnels de l'Atriplex en vue d'une valorisation agronomique. Thèse magister: Agronomie Saharienne, (p. 133p.). Ouargla: Kasdi Merbah.
- Bakht J, Shafik M, Jamal Y, Sher H. Response of maize (*Zea mays* L.) to seed priming with NaCl and salinity stress. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2011(1):252-61

- Barnabás B, Jäger K, Fehér A (2008) the effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environ* 31:11–38.
- Barnabás, Beáta, Katalin Jäger, et Attila Fehér. 2008. «The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals.» *Plant, Cell & Environment*.
- Bassaler , N. (2000). Le maïs et ses avenir. Cahier publié par le GERPA avec le concours d'Electricité (p. 13p). France: Mission Prospective.
- Battaglia M, Lee C, Thomason W, Fike J, Sadeghpour A. Hail damage impacts on corn productivity: A review. *Crop Science*. 2019b:59(1):1-4
- Battaglia ML, Lee C, Thomason W. Corn yield components and yield responses to defoliation at different row widths. *Agronomy Journal*. 2018:110(1):210-225
- BEKHOUCHE, H. (1992). Etude de la germination de quelques lignées de pois chiche soumis à la salinité, croissance, anatomie des racines. Oran: Thèse doctorat Biologie .
- BENLAHRECH, S. (2012). étude de la dynamique des cycles C, N et P dans le maïs. 33p.
- BERQUIST, R. R., & MASIAS, O. R. (1974). Physiologic specialization in. *Trichomes-tasphaeria turcica*, 645-649.
- Brink, M. and Belay, G.M. (2006) Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1. Céréales et légumes secs. Foundation PROTA/Backhuys Publishers/CTA, Pays-Bas, Wageningen.
- Bitá CE, Gerats T (2013) Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Front Plant Sci* 4:273.
- Bitá, Craita, et Tom Gerats. 2013. «Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops.» *Front. Plant Sci*.
- Blumwald E (2000) Sodium transport and salt tolerance in plants. *Curr Opin Cell Biol* 12:431–434.
- BONILLA, N. M. (2009). Manuel de recommandations techniques du maïs. Costa Rica, INTA, 72 p.
- Bojović B, Đelić G, Topuzović M, Stanković M. Effects of NaCl on seed germination in some species from families Brassicaceae and Solanaceae. *Kragujevac Journal of Science*. 2010:32:83-87
- Borlu HO, Celiktas V, Duzenli S, Hossain A, EL Sabagh A. Germination and early seedling growth of five durum wheat cultivars (*Triticum durum* desf.) is affected by different levels of salinity. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2018:27(11):7746-7757
- BOUAZIZ, E. (1980). Tolérance à la salure de la pomme de terre, physiolog., (p. 18 (1)).

- BOUCHOUKH, I. (2010). Comportement écophysologique de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin. Université Mentouri (pp. pages 28-33). Constantine: Thèse de magistère.
- Bouchoukh I., (2010). Comportement écophysologique de deux chénopodiacées des
- BOUCHOUKH I., 2010- Comportement écophysologique de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin .p 16- 29- 6 -35
- BOURIZQ, Z. (2019). Caractérisation phénotypique et génotypique des germoplasmes de blé (*Triticumaestivum* L.) vis-à-vis de la salinité [En ligne]. Mémoire de Master (p. p 92). Maroc: Université Moulay Ismail.
- BOUTOUTAOU, D., SAKER, M. L., BOUHOUN, M. D., & EL HADJ, M. D. O. (2012). Détermination de l'évaporation des surfaces des plans d'eau pour les conditions climatiques de l'Algérie. *Algerian Journal of Arid Environment "AJAE"*, 2(2), 8-8.
- BOYER J. S., 1982- Plant productivity and environment. *Sci, New series*. 218:443 – 448 p.
- BOYER, J. (1982). Plant productivity and environment. *Science*, (pp. 218:443 – 448 p.).
- Bray E, Bailey-Serres J, Weretinyk E. 2000. Responses to abiotic stresses In : *Biochemistry and Molecular Biology of plants* . Buchanan W, Grissem W, Jones R, Eds . 2000 American Society of plant physiologists. P: 1158-1203
- Bray, E.A., Bailey-Serres, J. and Weretilnyk, E. (2000) Responses to abiotic stress. *Biochemistry & molecular biology of plants*. In: Grissem, W. and Jones, R., Eds., American Society of Plant Physiologists, Rockville, 1158-120
- BRUN , A. (1980). Effets comparés de différentes concentrations de NaCl sur la germination, la croissance et la composition de quelques populations de luzernes annuelles d'Algérie. Thèse doctorat 3ème cycle Montpellier.
- CTA/ISF (2012). Technical Centre for Agricultural and Rural Coopération /L'impôt de solidarité sur la fortune
- ČANAK P, Miroslavljević M, Ćirić M, Vujošević B, Kešelj J, Stanisavljević D, Mitrović B. Seed priming as a method for improving maize seed germination parameters at low temperatures. *Ratarstvo I Povrtarstvo*. 2016:53(3):106-110
- CARPICI E, Celik BN, Bayram G. 2009. Effects of Salt Stress on Germination of Some Maize (*Zea mays* L.) Cultivars. *African Journal of Biotechnology* Vol. 8 (19): 4918-4922.
- CARPÝCÝ EB, Celýk N, Bayram G. Effects of salt stress on germination of some maize (*Zea mays* L.) cultivars. *African Journal of Biotechnology*. 2009:8(19)

- CHAIMA , B., & Soumia, L. (2021). Effet de la salinité sur la croissance des plantules de l'*Anabasis articulata* (Amarantaceae). Mémoire de Master Académique (pp. 5-35). OUARGLA: UNIVERSITE KASDI MERBAH.
- CHARTZOULAKIS, k., & Klapaki, G. (2000). response of two agreen house repper hybrids to nacl salinity during different growth stages. *sci hortic* .86, 247-260.
- CHEN M, Chen Q-J, Niu X-G, Zhang R, Lin H-Q, Xu C-Y, Wang X-C, Wang G-Y, Chen J (2007) Expression of OsNHX1 gene in maize confers salt tolerance and promotes plant growth in the field. *Plant Soil Environ* 53:490–498
- CIRAD-GRET, (2002), MEMENTO DE L'AGRONOME, 34p.
- CROUCH ET BEIRN, J. (2009). Anthracnose of cereals and grasses. *Fungal Diversity*.
- CUCCI G, Lacolla G, Boari F, Mastro MA, Cantore V. Effect of water salinity and irrigation regime on maize (*Zea mays* L.) cultivated on clay loam soil and irrigated by furrow in Southern Italy. *Agricultural Water Management*. 2019:222:118-24
- DAS G, Patra JK, Baek KH. Insight into MAS: a molecular tool for development of stress resistant and quality of rice through gene stacking. *Frontiers in Plant Science*. 2017:8:985
- DAS G, Rao GJ. Molecular marker assisted gene stacking for biotic and abiotic stress resistance genes in an elite rice cultivar. *Frontiers in Plant Science*. 2015:6:698
- DEBEZ A., CHAIBI W. et BOUZID S., 2001. Effet du NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d'*Atriplex halimus* L. *Agricultures* 10 ,(2), p.135-138
- DEJUMO SA, Awoyemi V, Togun AO. Exogenous proline and hormone in combination with compost improves growth and tolerance of maize under heavy metal stress. *Plants and Environment*. 2020:2(1):40-53
- DUAN D., LIU X., AJMAL KHA N M. et GUL B., 2004. Effects of salts and water stress on germination of *Chenopodium glaucum* L. seed.- *Pack. J. Bot.*, 36, (4),p. 793-800.
- EINBERG ZG, Yan Y, Chen Y, Finkelman S, Ashbell G, Navarro S. The effect of moisture level on high-moisture maize (*Zea mays* L.) under hermetic storage conditions— in vitro studies. *Journal of Stored Products Research*. 2008:44(2):136-144
- EL SABAGH A, Hossain A, Iqbal MA, Barutçular C, Islam MS, Çiğ F, Erman M, Sytar O, Brestic M, Wasaya A, Jabeen T. Maize Adaptability to Heat Stress under Changing Climate. In: *Plant Stress Physiology*. IntechOpen; 2020b
- ELGAMAAL AA, Maswada HF. Response of three yellow maize hybrids to exogenous salicylic acid under two irrigation intervals. *Asian Journal of Crop Science*. 2013:5(3):264-274
- En amont de la culture du maïs, la production de semences. (2017, avril).

- FAHAD S, and Bano A. Effect of salicylic acid on physiological and biochemical characterization of maize grown in saline area. *Pakistan Journal of Botany*. 2012;44(4): 1433e1438
- FAO. (1996). Food and Agricultural organization of the United National Year book production. Rome, Italy.
- FARE, 2004- Expérimentation agronomique et compréhension des systèmes de production paysanne en vue du développement de la culture du maïs (*Zea mays L.*) dans la région d'Ambohidratino. *Mém. Ing. Agro., Univ. Antananarivo, Madagascar*, 91 P.
- Farooq M, Hussain M, Siddique KH. Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2014;33(4):331-349
- FELIACHI K.; Ameroun R. et Khaldoun A. (2001). Impact de la sécheresse sur la production des céréales cultivées dans le nord de l'Algérie. *Rev. Cerealiculture N°35*, p.28-34
- FELIACHIK.,, A. (2001). Impact de la sécheresse sur la production des céréales cultivées dans le nord de l'Algérie: *cerealiculture N0 35*. ED. Algérie.: ED. ITGC.
- FOTI R, Abureni K, Tigere A, Gotosa J, Gere J. The efficacy of different seed priming osmotica on the establishment of maize (*Zea mays L.*) caryopses. *Journal of Arid Environments*. 2008;72(6):1127-1130
- Fortmeier R, Schubert S. 1995. Storage of non-structural carbohydrates in sweet sorghum (*Sorghumbicolor (L.) Moench*): Comparison of sterile and fertile lines. *Journal of Agronomy and Crop Science* 175, 189-193.
- GAY J.P, 1984. In physiology and production of maize. INRA, 1990. genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin. *Mém. magister en Bio. Végétale*
- GHAFARI H, Razmjoo J. Effect of foliar application of nano-iron oxidase, iron chelate and iron sulphate rates on yield and quality of wheat. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 2013;4(11):2997-3003
- GHARBI, A., & Razmjoo, J. (2013). Response of Maize (*Zea mays L.*) Cultivars to Salt Stress. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59(12), 1639-1653.
- GOLDSWORTHY. Calcium and salinity. *Applied Biology*. 1994;4:1-6
- GOVERNMENT, 2008- *Biology of Zea mays L. ssp mays (maize or corn)*. Office of the gene technology regulator, 80 P.
- GREENWAY, H., & Munns, R. (1980). Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual review of plant physiology*, 31(1), 149-190.

- HADJADJ , S. (2009). Contribution à l'étude de l'effet de la salinité sur des marqueurs biochimiques (proline et sucres solubles) de plantes juvéniles (*Atriplexhalimus* L.) et (*Atriplexcanescens* P.) Nutt. . Thèse magister en Biochimie et analyse des bioproduits, (p. 100P). Kasdi Merbah Ouargla.
- HADLOCK, F. P., Harrist, R. B., Sharman, R. S., Deter, R. L., & Park, S. K. (1985). Estimation of fetal weight with the use of head, body, and femur measurements—a prospective study. *American journal of obstetrics and gynecology*, 151(3), 333-337.
- HASANUZZAMAN M, Nahar K, Bhuiyan TF, Anee TI, Inafuku M, Oku H, Fujita M. Salicylic acid: an all-rounder in regulating abiotic stress responses in plants. *Phytohormones-Signaling Mechanisms and Crosstalk in Plant Development and Stress Responses*. 2017;16:31-75
- HASEGAWA PM, Bressan RA, Zhu JK, Bohnert HJ (2000) Plant cellular and molecular response to high salinity. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 51:463–499
- HAYASHI , H., & MURATA , N. (1998). Genetically engineered enhancement of salt tolerance in higher plants. *Stress Response of Photosynthetic Organisms: Molecular Mechanisms and Molecular Regulation* (pp. 133-148). Elsevier, Amsterdam: In: Sato Murata N.
- HAYAT Q, Hayat S, Irfan M, Ahmad A. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. *Environmental and Experimental Botany*. 2010;68(1):14-25
- HELLER, KLAUS-GERHARD, et Otto v. Helversen. 1989. «Resource partitioning of sonar frequency bands in rhinolophoid bats.» *Oecologia* 178–186.
- HOPKIN, W. (2003). *Physiologie végétale- Traduction de la 2ed. Marie Evrade Boeck univ*, (pp. P 451-466.). Bruxelles.
- HOPKINS W. G., 2003 - *Physiologie végétale*. De Boeck, Bruxelles, 514 p.
- HOUDE M, DALLAIRE S, N'Dong D, Sarhan F. 2004. Overexpression of the acidic dehydrin WCOR410 improves freezing tolerance in transgenic strawberry leaves. *Plant Biotechnology Journal* 2: 381–387.
- HUBERT P., 1978- *Recueil de fiches techniques d'Agriculture spéciale à l'usage des lycées agricoles à Madagascar*. BDPA
- HÜTSCH BW, Saqib M, Osthusenrich T, Schubert S. Invertase activity limits grain yield of maize under salt stress. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2014;177(2):278-286

- IKRAM, H., & Hayat, B. (2018). La culture du quinoa dans la région d'Oued souf vis-à-vis le problème de la salinité d'étude morphophysiological. MEMOIRE DE FIN D'ETUDE En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Sciences biologiques. El Oued.
- ILTIS & JOHN F, D. H. (1980). Taxonomy of Zea (gramineae). Subspecific categories in the Zea mays complex and a generic synopsis American. pp. 67: 994- 1004.
- INGRAM, J., B. (1996). The molecular basis of dehydration tolerance in plants. Annual Review of Plant Physiology. And plant mol. Biology., (pp. 47 :377-403.).
- INGRAM, J. BARTIZG, D. (1996). The molecular basis of dehydration tolerance in plants. Annual Review of Plant Physiology. And plant mol. Biology., 47 :377-403.
- INRA and Springer-Verlag France. 35:461–48
- IQBAL MA. Cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) germination and seedling growth as influenced by seed invigoration techniques. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 2015a:15(2):197-204
- IRAM ET MERIEME. (2013). Essai de l'association légumineuse céréales (maïs) sur la disponibilité du phosphore dans la rhizosphère. Thèse ingéniorat (pp. 5-18p). EL HARRACH. Alger: ENSA.
- JACQUES G. (1999). Les produits biologiques: bien les connaître pour mieux les utiliser. paris.
- JACQUES G., 1999- Les produits biologiques: bien les connaître pour mieux les utiliser .paris. 61p.
- JAVED T, SHABBIR R, Ali A, Afzal I, Zaheer U, Gao SJ. Transcription factors in plant stress responses: Challenges and potential for sugarcane improvement. Plants. 2020:9(4):491
- JOSEPH CLOVIS DONGMO. (2009). université de Yaoundé I. DESS.
- KABAR K., (1987). Alleviation of salinity stress by plant growth regulators on
- KATEMBE WJ., UNGARIA. et MITCHELL JP., 1998. Effect of Salinity on germination and seedling growth of two *Atriplex* species Chenopodiaceae. Ann Bot ; 82:165.
- KATERJI N, Van Hoorn JW, Hamdy A, Karam F, Mastrorilli M. Effect of salinity on water stress, growth, and yield of maize and sunflower. Agricultural Water Management. 1996:30(3):237-249
- KAYA C, Ashraf M, Dikilitas M, Tuna AL. Alleviation of salt stress-induced adverse effects on maize plants by exogenous application of indoleacetic acid (IAA) and inorganic nutrients-A field trial. Australian Journal of Crop Science. 2013:7(2):249-254

- KAYA C, Ashraf M, Dikilitas M, Tuna AL. Alleviation of salt stress-induced adverse effects on maize plants by exogenous application of indoleacetic acid (IAA) and inorganic nutrients-A field trial. *Australian Journal of Crop Science*. 2013;7(2):249-254
- KITTY F. Cardwell, Vicky Adenle, Jennifer Kling. (1996). *Le mildiou du maïs. Guide de recherché de l'ITA n° 56*
- KOSOVÁ, K., Vítámvás, P., Urban, M. O., Klíma, M., Roy, A., & Prášil, I. T. (2015). Biological networks underlying abiotic stress tolerance in temperate crops—a proteomic perspective. *International journal of molecular sciences*, 16(9), 20913-20942.
- LAUMONT, P. (2005). *Le maïs et sa culture en Algérie. Revue de l'agriculture*, (pp. 1-75).
- LAVAL-MARTIN D., et Mazliak P., 1995- *Physiologie végétale1 nutrition et métabolisme*. Harmann Editeurs des sciences et des arts
- Laval-Martin et Mazliak, D. (1995). *Physiologie végétale1 nutrition et métabolisme*. Harmann Editeurs des sciences et des arts.
- LEINONEN, I., & Jones, H. G. (2004). Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress. *Journal of experimental botany*, 55(401), 1423-1431.
- LEINONEN, ILKKA, ET HAMLYN G. Jones. 2004. «Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress.» *Journal of Experimental Botany* 1423–1431.
- *Les plantes face au stress salin. Cahiers Agricultures*. (1995). 4(4), 263-273.
- Levitt, 1980, *Reponses of plants to environnemental stresses. I-Chilling, freezing and high temperature*. Academic Press., New York, USA, 607 pages.
- Li B, Li N, Duan X, Wei A, Yang A, Zhang J (2010) Generation of marker-free transgenic maize with improved salt tolerance using the FLP/FRT recombination system. *J Biotechnol* 145:206–213.
- Li J, Chen J, Jin J, Wang S, Du B. Effects of irrigation water salinity on maize (*Zea may L.*) emergence, growth, yield, quality, and soil salt. *Water*. 2019;11(10):2095
- Liu H, Yu C, Li H, Ouyang B, Wang T, Zhang J, Wang X, Ye Z. 2015. Overexpression of ShDHN, a dehydrin gene from *Solanum habrochaites* enhances tolerance to multiple abiotic stresses in tomato. *Plant Science* 231: 198–211.
- Liu, T., Chen, X. M., Sun, J. Y., Jiang, X. S., Wu, Y., Yang, S., Huang, H. Z., Ruan, X. Z., & Du, X. G. (2018a). Palmitic Acid-Induced Podocyte Apoptosis via the Reactive Oxygen Species-Dependent Mitochondrial Pathway. *43(1)*, 206-219.

- Lobell DB, Schlenker WS, Costa-Roberts J (2011) Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 333: 616–62
- MADHAVA RAO K.V., R. A. (2006). Printed in the Netherlands. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. (pp. 1-14p.). Springer.
- MADR, 2004 – Note de conjoncture sur le secteur agricole en Algérie. Troisième trimestre 2004.
- Mémento de l'agronome, (2002). Mémento de l'agronome. Ministère de la coopération française, CIRAD-GRET, Paris, France, 1698 p.
- MUBEEN M, AHMAD A, Wajid A, Khaliq T, Hammad HM, Sultana SR, Ahmad S, Fahad S, Nasim W. Application of CSM-CERES-Maize model in optimizing irrigated conditions. *Outlook on Agriculture*. 2016;45(3):173-184
- MUBEEN M, Bano A, Ali B, Islam ZU, Ahmad A, Hussain S, Fahad S, Nasim W. Effect of plant growth promoting bacteria and drought on spring maize. *Pakistan Journal of Botany*. 2021;53:2
- MUHAMMAD Farooq, Mubshar Hussain, Abdul Wakeel et Kadambot H. M. Siddique (2015) Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management.
- MUNKACSI, AB., Stoxen, S. et May, G, (2007). Domestication of maize, sorghum and sugar cane did not drive the divergence of their smut pathogens *Evolution*, 61 :388-403.
- MUNNS R., James R. A., Lauchli A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *J. Exp. Bot*, 27: 1025-1043.
- MUNNS, RANA, et Mark Tester. 2008. «Mechanisms of Salinity Tolerance.» *Annual Review of Plant Biology* 651-681.
- Nguyen HC, Lin KH, Ho SL, Chiang CM, Yang CM. Enhancing the abiotic stress tolerance of plants: from chemical treatment to biotechnological approaches. *Physiologia Plantarum*. 2018;164(4):452-466
- NIU X., RSESSAN R A., HASEGAWA P. M., PARDO J M., 1995- Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology*. 109 (3): 735- 742.
- NOEL, R. A. (2021). LA SEXUALITÉ DU MAÏS, LA TRANSMISSION DES GÈNES D'UNE GÉNÉRATION À L'AUTRE ET LE BRASSAGE GÉNÉTIQUE. 5714
- OLIVIER. (2011, février 15).
- Ouhaddach, M., ElYacoubi, H., Douaik, A., Hmouni, D., & Rochdi, A. (2016).
- OUKARROUM ABDALLA H., 2007.- Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse doctorat. Genève.

- OUKARROUM, A. H. (2007). Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse doctora. Genève.
- Pearce RS. 2001. Plant freezing and damage. *Annals of Botany* 87: 417–424.
- Pfeiffer W.H., Sayre K.D., et Reynolds M.P., 2000 - Enhancing genetic grain yield potential and yield stability in durum wheat, *Options Méditerranéennes*, n°40, 83-93: 83 p.
- PINDARD A., 2000. La relation stress hydrique-- rendement du maïs en Bresse: quelle perspective de spatialisation? Utilisation d'un simulateur de culture (SnCS).Mémoire d'ingénieur. Etablissement National d'Enseignement Supérieur Agronomique de Dijon (France), 61 p
- PINDARD, A. (2000). La relation stress hydrique-- rendement du maïs en Bresse: quelle perspective de spatialisation? Utilisation d'un simulateur de culture (SnCS). Mémoire d'ingénieur (p. 61 p.). (France): Etablissement National d'Enseignement Supérieur.
- PITANN B, Mohamed A-K, Neubert AB, Schubert S (2013) Tonoplast Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> antiporters of newly developed maize (*Zea mays*) hybrids contribute to salt resistance during the second phase of salt stress. *J Plant Nutr Soil Sci* 176:148–156.
- QIU H, ZHANG L, Liu C, He L, Wang A, Liu HL, Zhu JB. 2014. Cloning and characterization of a novel dehydrin gene, *SiDhn2*, from *Saussurea involucre* Kar. et Kir. *Plant Molecular Biology* 84: 707–718
- Qu C, Liu C, Gong X, Li C, Hong M, Wang L, Hong F. Impairment of maize seedling photosynthesis caused by a combination of potassium deficiency and salt stress. *Environmental and Experimental Botany*. 2012;75:134-141
- R5T5Y, T., TY5TY, T., THTRY, T., TRYTRY, T., & RTYT, T. (RTYT). TYHTR. TRHRT, TT.
- REJILI M., Vadel M A., Neffat P. M., (2006). Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus*(L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*,17.1 : 65- 78
- REJILI M., VADEL M A., NEFFATP M., 2006- Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, Vol. 17, N°.1 : 65- 78.
- REYNOLDS M P., ORTIZ-MONASTERIO J I., MCNAB A., 2001-Application of Physiology in Wheat Breeding. Mexico, D.F.: CIMMYT: 101-111.
- Rouanet, G. (1997). Le maïs. Le technicien de l'agriculture. Maisonneuve et Larose.

- ROUMEISA K., 2021 - Étude de tolérance du blé en réponse aux stress abiotiques : changements moléculaires. Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master. Université des Frères Mentouri Constantine 1. p3.40
- RUELLAND, D., Guinot, V., Levavasseur, F. & Cappelaeere, B. (2009) Modelling the long-term impact of climate change on rainfall-runoff processes over a large Sudano-Sahelian catchment. Proc. of Symposium HS.2 at the Joint IAHS & IAH Convention "New Approaches to Hydrological Prediction in Data Sparse Regions", Hyderabad, India, 6-12 September 2009, IAHS Publ., 333, 59–68
- SAKATA T, HIGASHITANI A (2008) Male sterility accompanied with abnormal anther development in plants—genes and environmental stresses with special reference to high temperature injury. *Int J Plant Dev Biol* 2:42–51.
- SANTINO A, Taurino M, De Domenico S, Bonsegna S. Poltronieri P, Pastor V. Jasmonate signalling in plant defense response to multiple abiotic stresses. *Plant Cell Reports*. 2013;32:1085-1098
- SASAKI K, Christov NK, Tsuda S, Imai R. 2014. Identification of a novel LEA protein involved in freezing tolerance in wheat. *Plant and Cell Physiology* 55: 136–147.
- Schubert S. Salt resistance of crop plants: physiological characterization of a multigenic trait. *The Molecular and Physiological Basis of Nutrient Use Efficiency in Crops*. 2011;13:443-455
- SERRAJ R, Sinclair TR. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions?. *Plant, cell & environment*. 2002;25(2):333-341
- SHARMA A, Shahzad B, Kumar V, Kohli SK, Sidhu GP, Bali AS, Handa N, Kapoor D, Bhardwaj R, Zheng B. Phytohormones regulate accumulation of osmolytes under abiotic stress. *Biomolecules*. 2019;9(7):285
- Siddiqui, K. S. and Cavicchioli, R. (2006), *Annu. Rev. Biochem.* 75, 403–433.
- SIHAM , M.-Z. (2010). Étudier l'effet de différents niveaux de salinité sur le stade de germination et les stades ultérieurs de certaines grandes cultures. Département des Cultures - Faculté d'Agriculture - Université Al-Fatih (pp. 6 (3):61-72). ISSN 1687-4870.
- SARUHAN-GÜLER N, Terzi R. Dehydrins: an overview of current approaches and advancement. *Turk J Bot*. 2020;44:481–492. doi: 10.3906/bot-2005-78
- TAIZ L. and Zeiger E. *Plant physiology*. *Annals of Botany*. 2003;91(6):750
- TANAKA, A. et YAMAGUCHI, J. (1972). DRY MATTER PRODUCTION, YIELD COMPONENTS AND GRAIN YIELD OF THE MAIZE PLANT. *Journal of the Faculty of Agriculture, Hokkaido University*, 57(1) \_p71-132.

- TANG Y, et al., 2015- Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. Genotypes. *Food Chem.* 166: 380-388.
- Taxonomy of *Zea* (gramineae). Subspecific categories in the *Zea mays* complex and a generic synopsis American. . (s.d.). Taxonomy of *Zea* (gramineae). Subspecific categories in the *Zea mays* complex and a generic synopsis American. .
- TAYYAB N, Naz R, Yasmin H, Nosheen A, Keyani R, Sajjad M, Hassan MN, Roberts TH. Combined seed and foliar pre-treatments with exogenous methyl jasmonate and salicylic acid mitigate drought-induced stress in maize. *PLoS ONE.* 2020;15(5):e0232269
- TREMBLIN, G., & COUDRET, A. (1986). Salinité, transpiration et échanges de CO<sub>2</sub> chez *Halopeplisamplexicaulis* (Vahl.) Ung. *Oecol. Plant*, 7 (21) : 417-431.
- UNGAR I A., (1978). Halophyte seed germination. *The Botanical Review*, 44(2),
- VINCENT R. (2006). Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune (*Laminariadigitata*). Thèse doctorat Biologie (pp. 1- 237 p.). Rennes.
- VINCENT R., 2006- Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune (*Laminariadigitata*). Thèse doctorat Biologie. Rennes1. 237 p.
- VINEBROOKE, R. D., Schindler, D. W., Findlay, D. L. et al. 2003. Trophic dependence of ecosystem resistance and species compensation in experimentally acidified Lake 302S (Canada). / *Ecosystems* 6: 101 / 113.
- VINEBROOKE, Rolf D., et al. 2004. Impacts of multiple stressors on biodiversity and ecosystem functioning: the role of species co-tolerance. *OIKOS.* 104: 451-457
- VOLLENWEIDER, P., & Günthardt-Goerg, M. S. (2005). Diagnosis of abiotic and biotic stress factors using the visible symptoms in foliage. *Environmental Pollution*, 137(3), 455-465.
- VOLLENWEIDER, Pierre, et Madeleine Silvia Günthardt-Goerg. 2005. «Diagnosis of abiotic and biotic stress factors using the visible symptoms in foliage.» *Environmental Pollution* 455-465.
- WAHID A., PERVEEN M., GELANI S. and BASRA S. M. A., 2007- Pretreatment of seed with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> improves salt tolerance of wheat seedlings by alleviation of oxidative damage and expression of stress proteins. *Journal of Plant Physiology*, 164: 283-294.
- WAHID, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007b, December). Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 61, 199–223.
- WAHID, A., S. Gelani, M. Ashraf, et M.R. Foolad. 2007. «Heat tolerance in plants: An overview.» *Environmental and Experimental Botany* 199-223.

- WANG J, Lv M, Islam F, Gill RA, Yang C, Ali B, Yan G, Zhou W. Salicylic acid mediates antioxidant defense system and ABA pathway related gene expression in *Oryza sativa* against quinclorac toxicity. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2016:133:146-156
- WANG, Y., & Nil, N. (2000). Changes in chlorophyll, ribulosebiphosphate carboxylase-oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 623-627.
- YIN XY, Yang AF, Zhang KW, Zhang JR (2004) Production and analysis of transgenic maize with improved salt tolerance by the introduction of AtNHX1 gene. *Acta Bot Sin* 46:854–861
- ZID, E. (1982). Relations hydriques dans la feuille de *Citrus aurantium* : effets de l'âge et de la salinité. *FAC. Sc* (pp. 2: 195-205). Tunis: Rev.
- ZÖRB C, Stracke B, Tramnitz B, Denter D, Sümer A, Mühling KH, Yan F, Schubert S (2005) Does H<sup>+</sup> pumping by plasmalemma ATPase limit leaf growth of maize (*Zea mays* L.) during the first phase of salt stress. *J Plant Nutr Soil Sci* 168:550–557.

## **SITE WEB:**

- <https://www.ofb.gouv.fr/>
- <https://www.yara.fr/fertilisation/solutions-pour-cultures/mais/panorama-culture-mais/>
- <https://www.uscped.com/mais/>
- <https://www.semae-pedagogie.org/sujet/mais-origine-caracteristiques>
- <http://www.gnis.fr/>
- <https://www.lebulletin.com>
- <https://www.gembloux.ulg.ac.be/entomologiefonctionnelle-et-evolutive/recherche/relations-plantes-insectes/>
- <https://www.cieau.com/>

## Résumé

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet du stress salin sur la germination et la croissance du maïs *zea mays* L. Les résultats obtenus montrent que la salinité a un effet négatif sur la croissance et la germination du maïs. Plus la concentration en sel augmente, plus le taux et le coefficient de germination diminuent. On en conclut que la plante de maïs tolère des niveaux de salinité faibles à modérés, mais ne tolère pas les niveaux de Salinité élevés.

**Mots-clés:** stress salin, germination, croissance, *Zea mays* L

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير الاجهاد الملحي على انبات ونمو الذرة (*Zea mays* L.) تظهر النتائج التي تم الحصول عليها ان الملوحة له تأثير سلبي على نمو وانبات الذرة. حيث كلما زادت تركيز الملوحة تتناقص نسبة ومعامل الانبات. ومنه نستنتج ان نبات الذرة يتحمل درجات ملوحة منخفضة ومتوسط ولا يتحمل مستويات عالية من الملوحة.

**الكلمات المفتاحية:** الإجهاد الملحي، إنبات ، نمو ، *Zea mays* L.

## Summary

The objective of this work is to study the effect of saline stress on the germination and growth of corn. *Zea mays* L. The results obtained show that salinity has a negative effect on the growth and germination of corn. As the salinity concentration increases, the germination rate and germination coefficient decrease. From this, we can conclude that corn plants can tolerate low and moderate levels of salinity, but cannot withstand high levels of Salinity.

**Keywords:** saline stress, corn germination, corn growth, *Zea mays* L