



République Algérienne Démocratique et  
Populaire

Ministère de l'Enseignement  
Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

Université de Tissemsilt

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de  
Master académique en

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Production végétale

Présenté par :

- M<sup>lle</sup> SOKER Somiya

- M<sup>lle</sup> DJAOUI Noura

### *Thème*

---

## **Amélioration de la tolérance au stress salin chez le carthame (*Carthamus tinctorius* L.)**

---

Soutenu le 15/06/2023

Devant le Jury :

Mr. BOUKHALOUT S  
Mr. ZEMOUR K  
Mr. CHOUHIM KMA  
Mr. DRIS I

Président  
Encadrant  
Co-encadrant  
Examinateur

M.A.A  
M.C.B  
M.C.B  
M.C.B

Univ-Tissemsilt  
Univ-Tissemsilt  
Univ-Tissemsilt  
Univ-Tissemsilt

**Année universitaire: 2022-2023**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

1438

## **Remerciement's**

**Tout d'abord, Merci au bon dieu de nous a donné le courage, la volonté, la patience ainsi que la conscience pour mener à bien ce modeste travail**

**Nos remerciements à notre encadreur Monsieur ZEMOUR Kamel pour avoir accepté de diriger ce travail Qu'il trouve ici, l'expression de notre profonde reconnaissance, notre immense gratitude et notre grand respect, pour tous ses efforts, son savoir, ses idées, sa grande disponibilité sa confiance et ses encouragements.**

**En second lieu, nous tenons à remercier notre Co Promoteur  
Mr CHOUHIM Kadda Mohamed Amine.**

**Nous remercions, Mr BOUKHALOUT S maitre des conférences à Université de Tissemsilt, pour avoir accepté de présider le jury de notre soutenance On remercie infiniment,  
Mr Dris I maitre assistant à l'universite de Tissemsilt, pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant d'examiner et de juger ce travail**

**gratitude et notre profond respect. Nos remerciements s'adressent particulièrement à tous les ingénieurs de notre Laboratoire surtout  
Mme CHAHIH Hadjira et Mr Afer mohamed pour ses précieux conseils, sa gentillesse son aide, et son soutien moral**

**Nous remercions tous nos enseignants pour l'enseignement qu'ils nous ont donné**

**durant notre cycle universi nous remercions tous le personnel administratif de l'Institut national spécialisé en formation professionnelle, Tissemsilt, pour nous aider dans notre humble travail**

**A la fin nous ne remercions toute personne qui nous a aidés de près ou de loin**

# Dédicace

Louange à Dieu tout puissant, pour sa miséricorde.

C'est les dédiés

Ces grandes personnes qui ont toujours souhaité que leur yeux soient heureux de me voir, dans un jour, comme celui-ci

Ces qui était couvertes des terres avant de s'en rendre comptes Je leur, ai donné le secret de ma combat et de ma diligence A

Ma mère,

Ma tante Maternelle et à Mon Père, Je leur, dédie ma graduation que Dieu leur, pitié d'ils

A tous les membres de ma famille qui m'ont les plus soutes

A toute la famille de ma mère, Bellahreche

A mon adorable frère Ahmed abd el hadi et ma chère soeur, et mon frère

Fadilha et Rabeh

A tous mes enseignants tout au long de mes études.

Aux petits de ma famille Adem, Youcef, Akrem

Et à ceux qui vivent dans un petit coin de mon cœur, Fichem chell, Ista braq  
Tz, Aflem Zinet, Abeer, amrane, Soumia, Yasmine Bouchra Zahira,  
djidji Hamza Sarah, Asmaa, Nour, Sabrina, Khadidja

Et à moi qui me suis battu pour, ces moment

, et toute la promotion de Master, 21 Production végétale, avec qui j'ai partagé des moments

Indéfectibles qui m'ont marquée à jamais.

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ces travail

# Soker Somiya

# Dédicace

Louanges à Dieu tout puissant, pour sa miséricorde de m'avoir donné le courage,  
la volonté ainsi que la conscience pour que je puisse terminer mes études.

Je dédie ce travail à

Aux êtres les plus chers à mon cœur, dans ce monde, mes parents

Abderrahmane et Aïcha

Ma chère Mère La plus merveilleuse de toutes les femmes au monde, Quoique  
que je fasse ou que je dise, je ne saurais point te remercier, comme il se doit.

Ton affection mes courages, ta bienveillance mes guides et ta présence à mes côtés a  
toujours été ma source de forces pour affronter les différents obstacles.

Mon adorable père Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir, et  
m'encourager. Aucune dédicace ne saurait exprimer, l'amour, l'estime et le respect  
que j'ai toujours eu pour vous. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que, et qui m'a  
donné un magnifique modèle et qui grâce à lui je me suis devenue ce que je suis  
maintenant, mon très cher papa que Dieu te garde pour moi

Que ce travail traduise ma gratitude et mon affection.

A mes chères sœurs Khadidja, Khaira, Hamida Que Dieu vous protège et  
procure de la santé et du bonheur,

A mes frères Mohammed, Abdelkader, Zinati, merci de m'encourager toutes ces années  
et de me faire confiance, Dieu vous donne bonheur,

A les petits de ma famille

A toute ma famille

A mes collègues

L'ensemble des étudiants de la promotion master, 2

Production végétale ; 2022-2023

## Djaoui Noura

*Résumé*  
*Abstract*  
ملخص





### Résumé :

Notre travail consiste à étudier le comportement physiologique, biochimique et morphologique de carthame (*Carthamus tinctorius* L.) De variété française, soumise à l'action combinée de la salinité par l'application de trois concentrations de 0 mM, 100mM, 150 mM et 250mM préparées à base de chlorure de sodium (Na Cl), et l'acide salicylique, L'extrait aqueux de pistachier. Les résultats ont démontré que la salinité a démontré un abaissement de la croissance des Plantes dans les conditions du stress salin. Le rôle physiologique et la croissance a fait l'objectifs de nombreuses recherches scientifiques où elles prouvés leur importance de production Selon notre étude, l'addition De l'acide salicylique, l'extrait aqueux de pistachier s'avère davantage Importante.

Enfin, l'utilisation des composés organiques pourraient être constitués comme une alternative idéale pour diminuer l'effet de la salinité sur la croissance.

**Mots clés :** carthame, croissance, salinité, acide salicylique, extrait aqueux de pistachier

**Abstract:**

Our work consists in studying physiological, biochemical and Morphologic of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) French variety, subject to the combined action of salinity by the application of three concentrations of 0 mM, 100mM, 150 mM and 250mM prepared from sodium chloride (Na Cl), and salicylic acid, the aqueous extract of Pistachio.

The results showed that salinity showed a decrease in plant growth under saline stress conditions. The physiological role and growth has made the objectives of numerous scientific Researches where they proved their importance of production According to our study, the Addition of salicylic acid, the aqueous extract of pistachio tree is more important.

Finally, the use of organic compounds could be constituted as an ideal alternative to reduce the effect of salinity on growth.

**Keywords:** safflower, growth, salinity, salicylic acid, aqueous pistachio extract.

## ملخص

الإجهاد الملحي هو واحد من العوائق البيئية التي تؤثر على إنتاج الزراعة عالمياً. تظهر آثار هذا الإجهاد في مراحل مختلفة من نمو النبات، وذلك اعتماداً على شدته ومدته. تركز دراستنا على السلوك الفسيولوجي والكيميائي والشكلي لنبات القرطم (*Carthamus tinctorius* L) المعرض لتأثير مشترك لمستويات مختلفة من الملوحة (0 ، 100 ، 150 و 250 mM) إلى جانب حمض الساليسيليك ومستخلص مائي من الفستق. أظهرت النتائج أن الملوحة تؤدي إلى انخفاض في نمو نباتات القرطم. ومع ذلك، تبين أن إضافة حمض الساليسيليك ومستخلص مائي من الفستق تكون ذات أهمية بالغة. فبالفعل، ساهم تأثير هذين المحفزين الحيويين في التخفيف من التأثير السلبي للإجهاد الملحي على نباتات القرطم. وبالتالي، يمكن أن يكون استخدام هذه المركبات بديلاً مثاليًا للحد من تأثير الملوحة على نمو النبات.

**الكلمات المفتاحية:** قرطم، الملوحة ، حمض الساليسيليك ، مستخلص الفستق المائي.

# *Table de matière*



## Table de matière

*Remerciements*

*Dédicace*

*Résumé*

*Abstract*

*ملخص*

*Liste des Figures*

*Liste des Tableaux*

## Table des matières

<i>Introduction.....</i>	<i>1</i>
<i>Chapitre I : .....</i>	<i>3</i>
<i>1. Généralités sur Carthamus tinctorius L.....</i>	<i>3</i>
<i>3- Caractéristiques botaniques de carthame .....</i>	<i>4</i>
4. Les exigences de plante .....	4
5-L'itinéraire technique.....	5
<i>Chapitre II : Généralités sur la salinité .....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.- Stress salin :La notion de stress .....</i>	<i>7</i>
1.2. Définition de la terre salée .....	7
1.3. Type salinité .....	7
<i>1.La notion de salinisation .....</i>	<i>7</i>
<i>2.Différents types de stress.....</i>	<i>8</i>
3.La plante et le stress abiotique .....	8
4.Adaptation au stress salin.....	9
<i>1.Généralités sur les biostimulans.....</i>	<i>12</i>
2. Définition des phytohormones .....	12
<i>2.1. Acide abscissique .....</i>	<i>12</i>
<i>2.2. Gibberellins .....</i>	<i>12</i>
<i>2.3. Acide Salicylique :.....</i>	<i>12</i>
3. Le rôle de l'acide salicylique chez les plantes .....	12
4. Biosynthèse de l'acide salicylique.....	13
5. Relation entre l'acide salicylique et la salinité .....	13

<b>Chapitre I : Matériel et méthodes</b> .....	<b>14</b>
<b>1. Objectif de l'étude</b> .....	<b>14</b>
2. Préparation des extraits .....	14
2.1. Extrait du pistachier .....	14
2.2. Préparation de l'extrait de l'acide salicylique .....	14
3-Méthode de travail .....	15
3.2. Repiquage des plantules .....	16
<b>4- Paramètres mesurés</b> .....	<b>17</b>
4.1. La hauteur de la plante : .....	17
4.2. Nombre de feuilles .....	18
4.3. Teneur relative en eau (%) .....	18
4.4. La surface foliaire .....	20
4.5. Dosage des pigments chlorophylliens.....	21
<b>I- Interprétation des résultats</b> .....	<b>23</b>
1. Nombre total des feuilles .....	23
2. Hauteur de la plante .....	24
3- Teneur en chlorophylle (Ca) .....	25
4. Teneur en chlorophylle (Cb) .....	27
5. Teneur relative en eau (%) .....	29
6. Surface foliaire (cm <sup>2</sup> ) .....	30
Discussion .....	32
<b>Conclusion</b> .....	<b>35</b>
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>36</b>



# *Liste des Figures*



## Liste des Figures

FIGURE 1: CARACTERISTIQUES BOTANIQUES DE CARTHAME .....	4
FIGURE 2: ORIGINES DE LA SALINISATION (IPTRID, 2006) .....	8
FIGURE 3: ADAPTATION ET RESISTANCE DES PLANTES FACE AU STRESS SALIN (LEVITT, 1980) ...	9
FIGURE 4: EFFETS DELETERES LIES A LA TOXICITE DU STRESS SALIN .....	11
FIGURE 5: IMPACT DU Na <sup>+</sup> SUR LE FONCTIONNEMENT CELLULAIRE DES PLANTES EN CONDITION DE STRESS SALIN .....	11
FIGURE 6: FILTRATION DE SOLUTION DU PISTACHIER (SOKER ET DJAOUI, 2023).....	14
FIGURE 7 : SERRE EN PLASTIQUE SEMI-CONTROLEE (SOKER ET DJAOUI, 2023).....	15
FIGURE 8: GRAINES DU CATHAME, VARIETE GILA (SOKER ET DJAOUI, 2023).....	15
FIGURE 9: PREPARATION DES SOLUTIONS SALINES .....	16
FIGURE 10: APPLICATION DE STRESS SALIN SUR LES PLANTES SOUS SERRE (SOKER ET DJAOUI 2023).....	16
FIGURE 11 : APPLICATION DE L'ACIDE SALICYLIQUE ET DU PISTACHIER LENTISQUE SUR LES PLANTES SOUS SERRE (SOKER ET DJAOUI 2023).....	17
FIGURE 12: LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	17
FIGURE 13: HAUTEUR DE LA PLANTE (SOKER ET DJAOUI, 2023) .....	18
FIGURE 14: DETERMINATION DE LA TENEUR RELATIVE EN EAU (SOKER ET DJAOUI, 2023) .....	20
FIGURE 15: DOSAGE DES PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS ET DES CAROTENOÏDES (SOKER ET DJAOU, 2023).....	21
FIGURE 16 : SPECTROPHOTOMETRIE (SOKER ET DJAOUI, 2023) .....	22
FIGURE 17: VARIATION DU NOMBRE TOTAL DE FEUILLES DE LA PLANTE DE CARTHAME SOUMISE AU STRESS SALIN ET APRES APPLICATION D'EXTRAITS (PISTACHIER, ACIDE SALICYLIQUE). 24	24
FIGURE 18: VARIATION DE LA HAUTEUR DE LA PLANTE DE CARTHAME SOUMISE AU STRESS SALIN ET APRES APPLICATION D'EXTRAITS (PISTACHIER, ACIDE SALICYLIQUE).....	25
FIGURE 19: VARIATION DE LA TENEUR EN CHLOROPHYLLE (Ca) (MG/G DE MF) DE LA PLANTE DE CARTHAME SOUMISE AU STRESS SALIN ET APRES APPLICATION D'EXTRAITS (PISTACHIER, ACIDE SALICYLIQUE) .....	26
FIGURE 20 : VARIATION DE LA TENEUR EN CHLOROPHYLLE (Cb) (MG/G DE MF) DE LA PLANTE DE CARTHAME SOUMISE AU STRESS SALIN ET APRES APPLICATION D'EXTRAITS (PISTACHIER, ACIDE SALICYLIQUE). .....	28
FIGURE 21: VARIATION DE LA TENEUR RELATIVE EN EAU (%) DE LA PLANTE DE CARTHAME SOUMISE AU STRESS SALIN ET APRES APPLICATION D'EXTRAITS (PISTACHIER, ACIDE	

---

SALICYLIQUE).....	29
FIGURE 22: VARIATION DE LA SURFACE FOLIAIRE DE LA PLANTE DE CARTHAME SOUMISE AU STRESS SALIN ET APRES APPLICATION D'EXTRAITS (PISTACHIER, ACIDE SALICYLIQUE).....	30

# *Liste des Tableaux*





## Liste des Tableaux

TABLEAU 1: TAXONOMIE DE CARTHAME .....	3
FIGURE 2 : LES STADES PHENOLOGIQUES ET DE DEVELOPPEMENT DE CARTHAME (CARTHAMUS TINCTORIUS L.) .....	6
TABLEAU 3: ANALYSE STATISTIQUE DU NOMBRE TOTAL DE FEUILLES DE LA PLANTE DE CARTHAME .....	23
TABLEAU 4 : ANALYSE STATISTIQUE DE LA HAUTEUR DE LA PLANTE.....	24
TABLEAU 5 : ANALYSE STATISTIQUE DU TENEUR EN CHLOROPHYLLE (CA).....	25
TABLEAU 6: ANALYSE STATISTIQUE DU TENEUR EN CHLOROPHYLLE (CB).....	27
TABLEAU 7 : ANALYSE STATISTIQUE DU TENEUR RELATIVE EN EAU.....	29
TABLEAU 8 : ANALYSE STATISTIQUE DU SURFACE FOLIAIRE (CM2) .....	30

# *Liste des Abréviations*



## Liste des Abréviations

➤ As	➤ <b>acide salicylique</b>
➤ Cl	➤ chlorure
➤ CO <sub>2</sub>	➤ Dioxyde de carbone
➤ Cu	➤ Cuivre
➤ <b>DP</b>	➤ La dormance physiologique
➤ FAO	➤ Food and agriculture organisation
➤ Fe	➤ Fer
➤ K <sup>+</sup>	➤ Potassiu
➤ MD	➤ La dormance morphologique
➤ Mg	➤ milligramme
➤ Mg <sup>2+</sup>	➤ <b>Magnésium</b>
➤ <b>Mn</b>	➤ Manganèse
➤ Mo	➤ Molybdène
➤ PAL	➤ phénylalanine ammonia lyase
➤ N	➤ Azote
➤ Na Cl	➤ chlorure de sodium
➤ Na <sup>+</sup>	➤ sodium
➤ NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	➤ Nitrate
➤ P	➤ Phosphore
➤ pi	➤ poids initial
➤ PS	➤ poids sec
➤ Pf	➤ poids frais
➤ TRE	➤ Teneur relative en eau
➤ Zn	➤ Zinc

# *Introduction*



### Introduction

Le stress abiotique fait référence aux facteurs environnementaux non-biologiques qui peuvent affecter négativement la croissance, le développement et la productivité des plantes (Kopecká et *al.*, 2023). Les exemples de stress abiotique incluent les températures élevées ou basses, la sécheresse, les inondations, la salinité, la pauvreté des nutriments du sol, les radiations, les vents forts et les fluctuations de pH. Ces facteurs de stress peuvent perturber les processus physiologiques et métaboliques des plantes, entraînant une réduction de la croissance et de la productivité, et finalement affecter le rendement des cultures.

Parmi ces stress, le stress salin se traduit par une concentration excessive de sel dans le sol. Cela peut se produire naturellement dans les régions arides et semi-arides où il y a un mauvais drainage ou où l'eau d'irrigation contient des niveaux élevés de sel. Le stress salin peut affecter la capacité des plantes à absorber l'eau et les nutriments, ce qui peut entraîner une croissance retardée, une productivité réduite, voire la mort des plantes (Maryum et *al.*, 2022).

Le carthame (*Carthamus tinctorius* L.) est une plante annuelle de la famille des Astéracées, également connue sous le nom de safflower en anglais. Elle est cultivée pour ses graines oléagineuses, qui sont utilisées pour produire de l'huile de carthame. Cette huile a fait prouver son importance dans le domaine nutritionnel et médicinal grâce à sa richesse en acides gras insaturés (Zemour et *al.*, 2022). Le carthame est largement cultivé dans les régions semi-arides du monde pour sa résistance à la sécheresse et son adaptabilité aux sols pauvres en nutriments. Cependant, comme de nombreuses autres plantes cultivées, le carthame est vulnérable aux stress abiotiques, tels que le stress salin, qui peuvent affecter sa croissance, son développement et sa production. Des stratégies de gestion et d'atténuation des effets du stress salin sont donc nécessaires pour maintenir la croissance et le rendement des cultures de carthame dans les zones touchées.

Les plantes ont développé divers mécanismes pour faire face au stress salin, tels que l'exclusion de sel et l'accumulation de sel, mais ces mécanismes ont des limites et peuvent être dépassés dans des conditions de stress salin extrême.

La gestion et l'atténuation de l'impact du stress salin sont importantes pour soutenir la croissance des plantes et le rendement des cultures dans les régions touchées. Cette étape pourrait être atteinte en utilisant des biostimulants. De ce fait, un biostimulant est une substance ou un micro-organisme qui, appliqué aux plantes, favorise leur croissance, leur

## *Introduction*

---

développement, leur santé et leur productivité. Contrairement aux engrais et aux pesticides, les biostimulants agissent en améliorant la capacité des plantes à absorber les nutriments et l'eau du sol, en stimulant leur métabolisme et en renforçant leur système immunitaire. Les biostimulants peuvent être d'origine naturelle ou synthétique et sont souvent utilisés en combinaison avec d'autres pratiques agricoles durables pour maximiser les rendements et minimiser les impacts négatifs sur l'environnement.

Notre étude vise à comprendre et à développer une stratégie visant à atténuer l'impact du stress salin sur le carthame. Par conséquent, l'objectif global est de favoriser une production agricole durable et de garantir la sécurité alimentaire face aux défis environnementaux et aux changements climatiques.

*Partie*

*Bibliographique*



***Chapitre I***  
***Généralité sur***  
***Carthamus***  
***tinctorius L :***



## Chapitre I :

### 1. Généralités sur *Carthamus tinctorius* L.

Bien que le carthame apporte des vertus différentes, cette culture a sa place dans un système de production mondial par rapport aux autres espèces de graines oléagineuses, en particulier le soja et le tournesol. Depuis les années 1950, il est cultivé pour l'huile de carthame qui est extraite de ses graines. *Carthamus tinctorius* n'est connu que comme une espèce cultivée et est probablement originaire du Proche-Orient. Le carthame a été domestiqué depuis l'Antiquité, à l'origine pour fournir une teinture orange à travers ses fleurs, et a été cultivé en Égypte. Le carthame a été introduit au Japon depuis la Chine, où il est devenu une source importante d'huile comestible.

Généralement, les carthames cultivés ont immédiatement des feuilles épineuses, coriaces et cirées, ce qui les rend légèrement robustes contre les animaux sauvages. La plante mesure en moyenne de 30 à 150 cm par nœud, variant selon les variétés et le temps, sans une souche tenace qui rend le safran difficile à récolter. Les graines mettent environ 30 à 35 jours à arriver à maturité après la floraison, lorsque les feuilles brunissent généralement.

**2-Taxonomie de carthame :** Il existe près de 25 espèces et sous-espèces de carthame, dont *Carthamus tinctorius* L. représente sa forme cultivée. Selon Yesilyurt et *al.* (2019), le statut taxonomique de carthame est le suivant

Tableau 1: Taxonomie de carthame

<b>Règne</b>	<b>Tracheobionta</b>
<b>Embranchement</b>	Spermatophyta
<b>Division</b>	Magnoliophyta
<b>Classe</b>	Magnoliopsida
<b>Sous-classe</b>	Astéridés
<b>Ordre</b>	Astéridés

<b>Famille</b>	Astéracées
<b>Genre</b>	Carthamus
<b>Espèce</b>	<i>Carthamus tinctorius</i> L.

### 3- Caractéristiques botaniques de carthame :

Le carthame est une plante fourchue dressée qui pousse de 30 à 150 cm de haut et la levée peut prendre 26 à 31 jours selon les conditions environnementales et le type de la variété.

Les fleurs rouges apparaissent après Jusqu'à 3 semaines de semis et les sphéroïdes fusionnent pour former des rosettes.



Figure 1: caractéristiques botaniques de carthame

### 4. Les exigences de plante :

- 1 - Climat sec et chaud
- 2- Chaleur et lumière à la floraison sont utiles
- 3- La température minimale de germination est de 6C°; dont la température optimale de 18

à 20 °C

4- Engrais N = 20-30 kg/ha

K20 = 60-75 kg/ha

P205 = 60-80 kg/ha

**(C.R.S.T.R.A. 2009)**

**5-L'itinéraire technique:**

1- préparation de sol : un labour profond suivi par un ameublissement ; un amendement sableux et un nivellement avant le semis (l'essai a été installé sur un sol sans précédent cultural)

2-le semis : est effectué au début novembre ; les graines sont semées en ligne avec un écartement de 5cm.

3-les travaux d'entretien : un désherbage manuel est effectué tous les 15 jours. Une irrigation est nécessaire tous les 15 jours durant la période hivernale, chaque semaine durant la période printanière et tous les 4 à 5 jours durant la période chaude (irrigation localisée)

4-récolte : elle est réalisée, manuellement

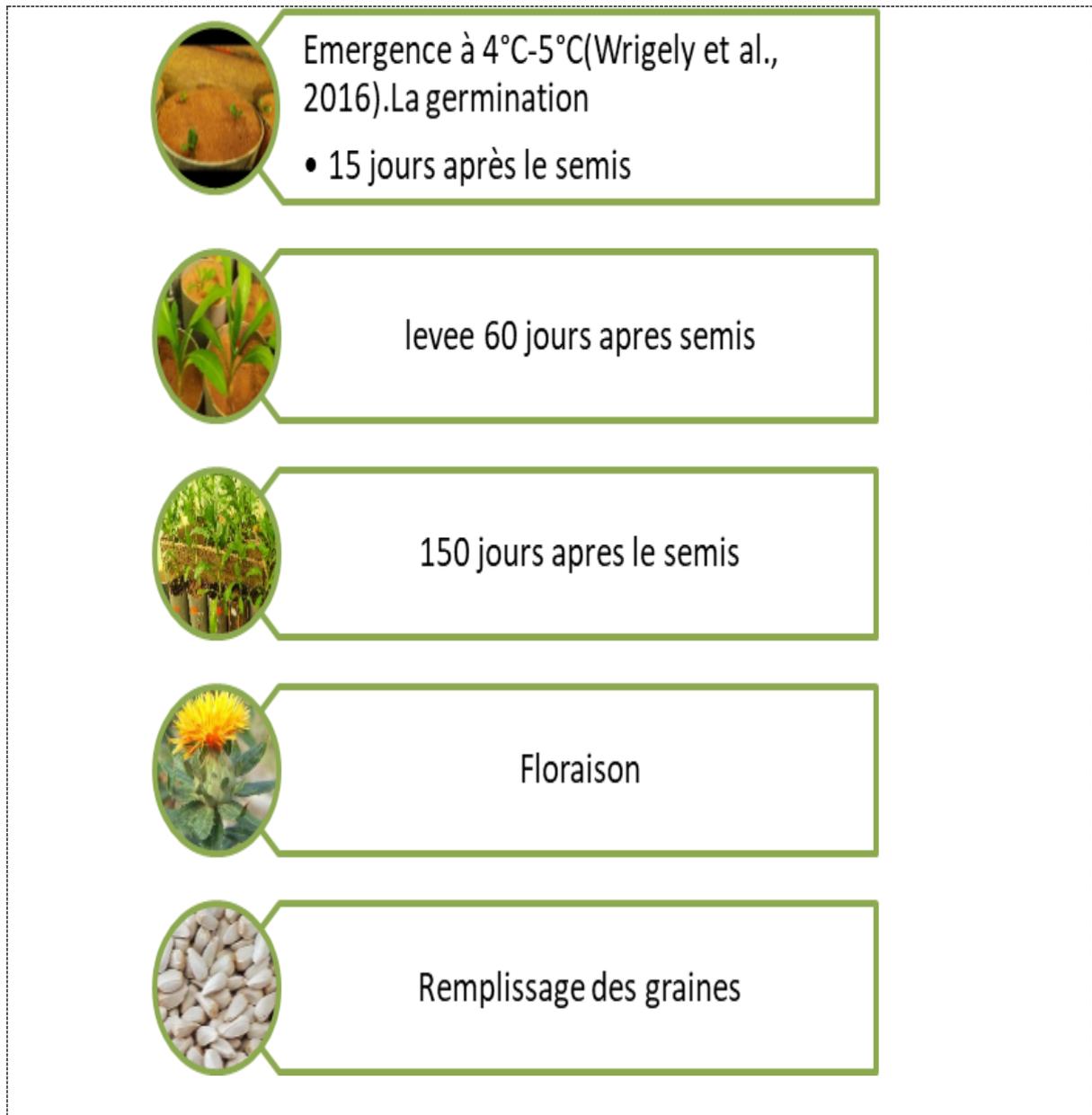


Figure 2 : Les stades phénologiques et de développement de carthame (*Carthamus tinctorius* L.)

# *Chapitre II : Généralités sur la salinité*





## Chapitre II : Généralités sur la salinité

### 1.1.- Stress salin :La notion de stress :

Le stress est un ensemble de conditions qui provoque des changements dans les processus physiologiques des plantes, entraînant finalement une déficience, une blessure, un ralentissement ou une inhibition de leur croissance (Menacer, 2007 ; Kherfi et Brahmi, 2011 ; Hodson et Bryant, 2012).

### 1.2. Définition de la terre salée:

Les sols salés se trouvent naturellement dans tous les climats et toutes les régions.

Une concentration de solution de 0,5 g/l est souvent mentionnée pour décrire les sols salins (Robert, 1996). Il s'agit d'un complexe de sodium où les cations, principalement le sodium, sont présents sous forme échangeable avec peu de sels solubles (Bouteyre et Loyer, 1992). La production agricole dans les régions arides est également concernée par ce type de sols (Hasegawa et *al.*, 1986, NDEYE THIORO, 2000).

### 1.3. Type salinité :

La salinité a diverses sources. Il existe deux principaux types de salinité qui sont énumérés ci-dessous (Chemekh, 2010).

**Salinité primaire :** La source naturelle de la salinité est catégorisée comme étant de type primaire. Des exemples de salinité primaire sont les marais salants, les lacs salés, les plaines salées, etc. Ce sont des zones naturellement salines.

**Salinité secondaire :** La source anthropique de la salinité est catégorisée comme étant de type secondaire. Les sources anthropiques sont l'agriculture et l'aménagement du territoire. Des exemples de salinité secondaire sont les terres arides, les zones irriguées, etc.

## 1. La notion de salinisation :

La salinisation est le processus d'accumulation de sels solubles dans le sol, ce qui entraîne la formation de sols salés. Plus la sécheresse est intense, plus l'irrigation devient nécessaire pour l'agriculture, mais son utilisation excessive peut également accroître le risque de salinisation. La salinisation peut avoir des origines naturelles, telles que des précipitations insuffisantes et une forte évaporation. De plus, la présence de roches-mères salines peut également contribuer à ce phénomène (Forster et *al.*, 2006).

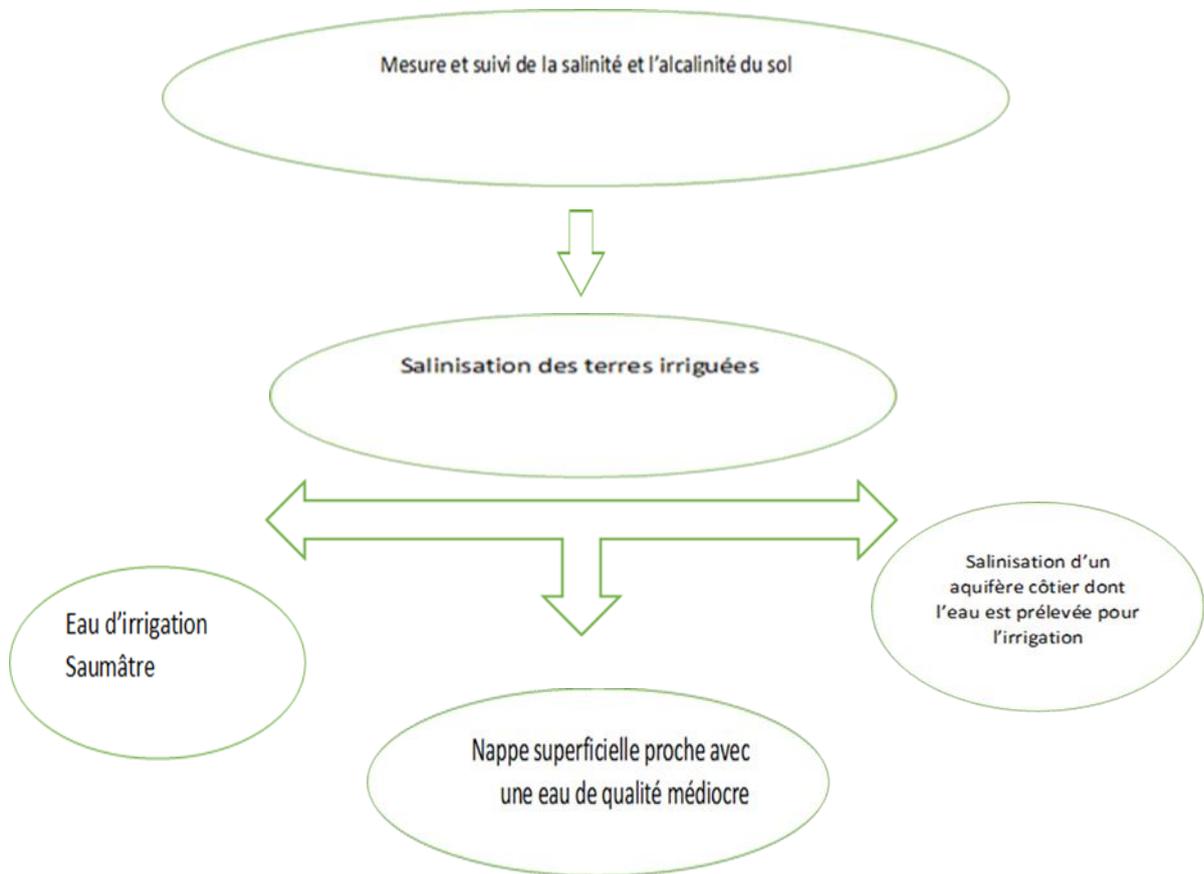


Figure 2: Origines de la salinisation (IPTRID, 2006)

## 2. Différents types de stress

**Le stress hydrique :** Il se produit lorsque les plantes subissent une menace permanente de survie en raison du manque d'eau. Cependant, de nombreuses plantes sont capables de survivre dans des zones présentant de faibles précipitations et une faible humidité du sol en effectuant des changements morphologiques et physiologiques qui leur permettent de s'adapter (Hopkins, 2003; Zemour, 2022).

**Stress thermique :** Les cultures cultivées dans des régions désertiques et semi-arides font face à des températures élevées, ainsi qu'à des niveaux élevés de rayonnement solaire, une faible humidité et une résistance du sol élevée. Tout cela contribue potentiellement à une transpiration accrue des plantes, par conséquent une faible productivité (Hopkins, 2003, Zemour, 2022).

## 3. La plante et le stress abiotique:

Les facteurs environnementaux sont perçus par les plantes comme des stimuli, à travers des phénomènes de transduction du signal dans les cellules végétales, en conséquence ils induisent un ensemble de réponses biochimiques, moléculaires (expression ou répression de certains gènes) et physiologiques (Tafforeau, 2002). Des concentrations élevées de différents ions de sel dans le sol, principalement sodium et chlorure, et d'autres ions tels que potassium, calcium, carbonate, Nitrate et sulfate entraînent une réduction de l'absorption d'eau par les racines des plantes.

La salinité du sol crée un obstacle à l'absorption d'eau par les racines, ce qui peut causer du stress aux plantes ou entraîner une toxicité en accumulant des concentrations élevées de sel. En général, les plantes développent des mécanismes d'adaptation et de résistance à l'excès de salinité. Dans des conditions salines, des voies de signalisation du stress sont activées, commençant par la détection de ce signal au niveau de la membrane des plantes (par des capteurs ou autres mécanismes), ce qui entraîne la génération de seconds messagers et l'activation de la transcription génique. Ces facteurs de transcription régulent l'expression de gènes liés à la réponse au stress, ce qui peut conduire à des changements morphologiques, biochimiques et physiologiques dans les plantes (voir schéma ci-dessus)

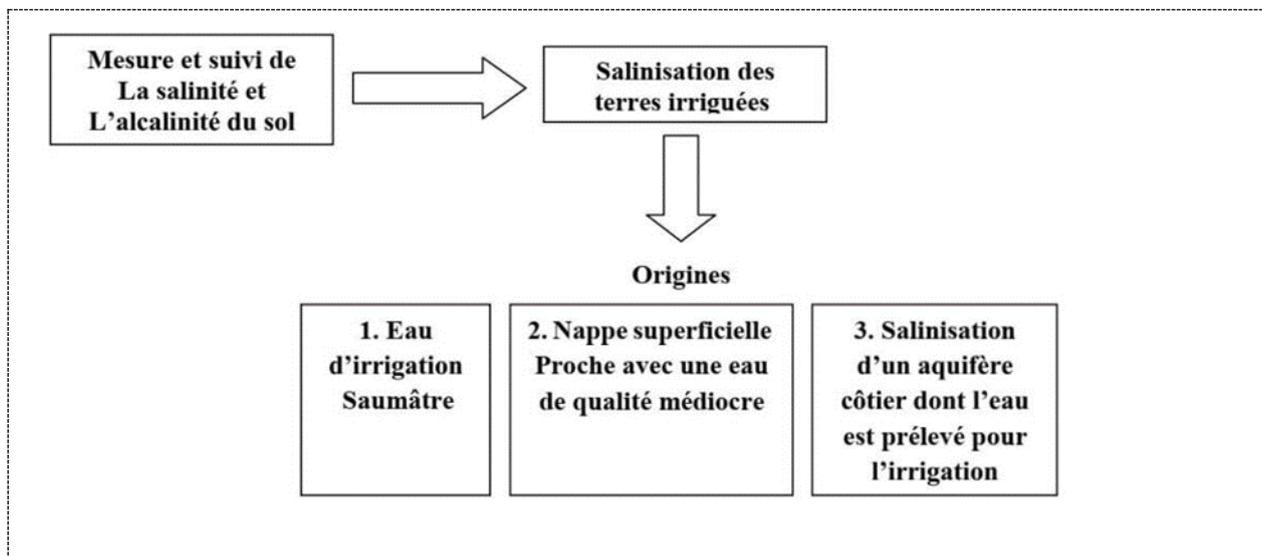


Figure 3: Adaptation et résistance des plantes face au stress salin (Levitt, 1980)

#### 4. Adaptation au stress salin:

Les plantes développent diverses stratégies d'adaptation pour faire face au stress salin. Voici quelques-unes des adaptations au stress salin :

- Excrétion ou accumulation sélective des ions : Les plantes peuvent excréter les ions

de sel excessifs par leurs feuilles ou les accumuler dans des parties spécifiques de la plante, comme les vacuoles, afin de maintenir un équilibre ionique approprié dans les cellules.

- Réduction de l'absorption du sel : Les plantes peuvent réguler l'absorption active des ions de sel à travers leurs racines en réduisant l'activité des canaux ioniques ou en modifiant la structure de leurs racines pour limiter la quantité de sel absorbée.
- Production de solutés osmotiques compatibles : Les plantes peuvent synthétiser et accumuler des solutés osmotiques compatibles, tels que les proline et les glycines bêtaïnes, qui aident à maintenir l'équilibre osmotique et à protéger les cellules des effets négatifs de la salinité.
- Réarrangement de l'architecture racinaire : Les plantes peuvent modifier la distribution de leurs racines en développant des racines latérales plus abondantes et plus profondes pour explorer les zones moins salines du sol.
- Régulation de l'activité enzymatique et des processus métaboliques : Les plantes ajustent l'activité enzymatique et les voies métaboliques pour minimiser les dommages causés par le stress salin et maintenir des processus cellulaires essentiels.

Ces adaptations permettent aux plantes de survivre et de continuer à croître dans des conditions de stress salin, bien que l'ampleur des adaptations puisse varier en fonction de la tolérance spécifique de chaque plante au sel.

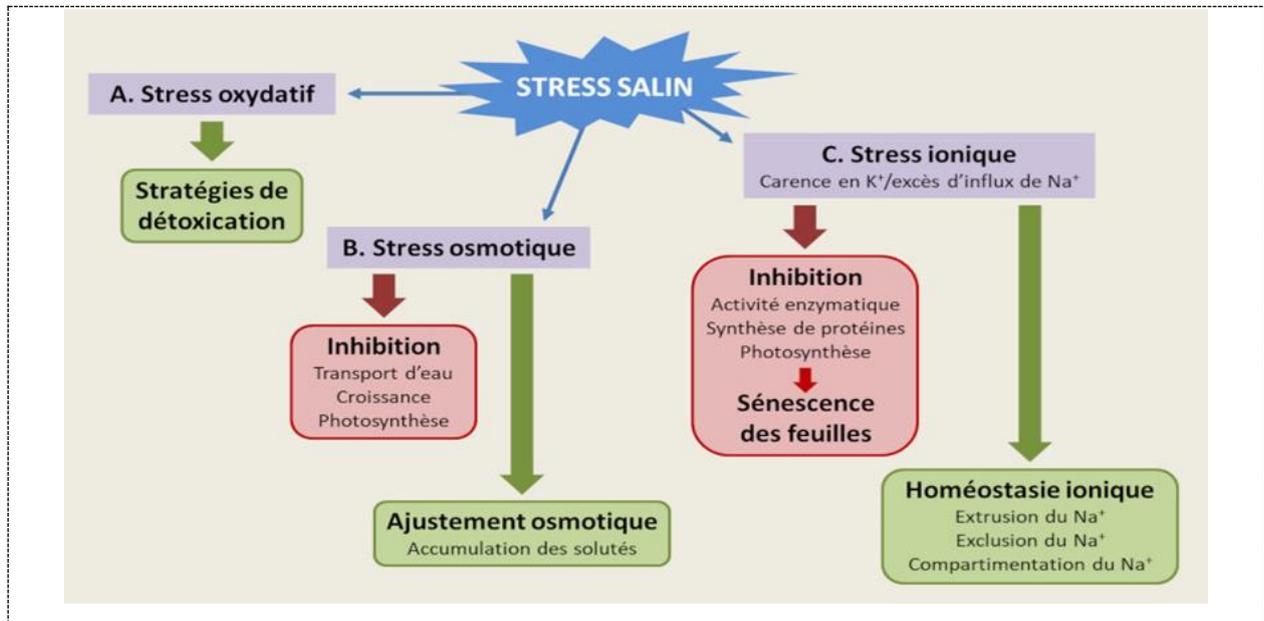


Figure 4: Effets délétères liés à la toxicité du stress salin

### 5. Mécanisme de la salinité chez les plantes:

L'entrée de grandes quantités de  $\text{Na}^+$  dans le cytosol des plantes dans une solution saline déclenche une série de réactions.  $\text{Na}^+$  entre en compétition avec  $\text{K}^+$  pour l'absorption dans les cellules racinaires. En effet, les deux ions sont transportés à travers la membrane plasmique par plusieurs systèmes de transport identiques (canaux cationiques non sélectifs de type NSCC et transporteurs de haute affinité).

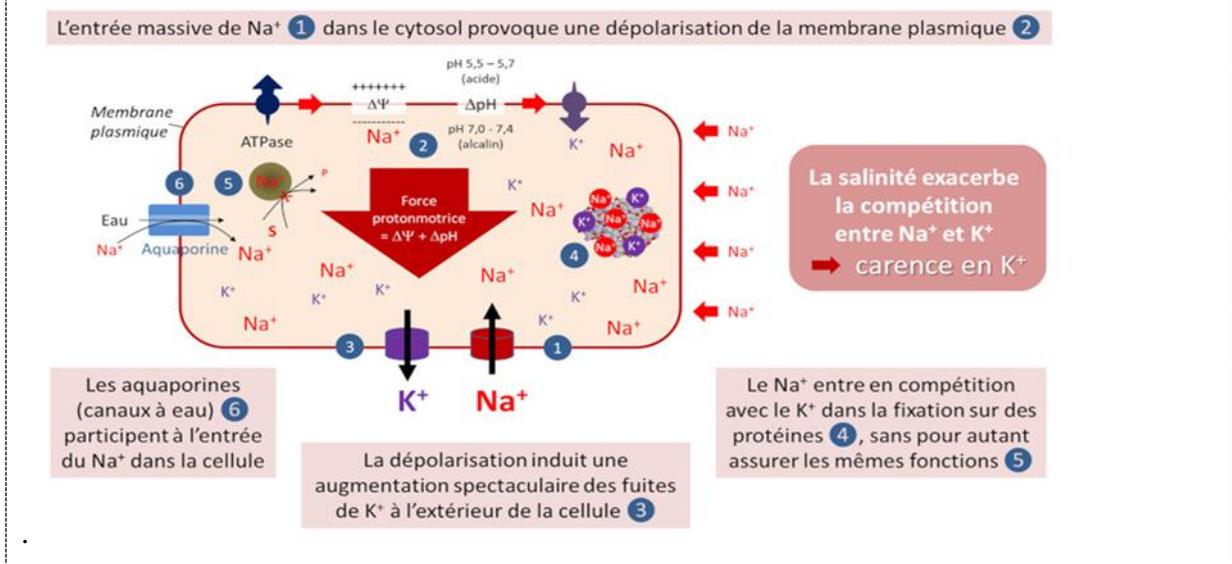


Figure 5: Impact du  $\text{Na}^+$  sur le fonctionnement cellulaire des plantes en condition de stress salin

*Chapitre III*  
***BIOSTIMULANTS***





## 1. Généralités sur les biostimulans

Les mécanismes activés par les biostimulants en réponse aux conditions de stress sont difficiles à identifier et sont encore à l'étude. Compte tenu des effets physiologiques induits par les biostimulants, il est évident de penser que les molécules bioactives contenues dans ces composés peuvent affecter le métabolisme des plantes agissant sur des voies spécifiques. Dans des conditions stressantes, les voies métaboliques activées par les biostimulants pourraient être amplifiées et pourraient aider les plantes à s'adapter puis à surmonter ou retarder les moments les plus critiques. Il est intéressant d'observer que parmi les métabolites augmentant dans les plantes traitées avec des biostimulants, il y a souvent ceux avec des propriétés antioxydantes. Il est bien connu que ces molécules protectrices jouent un rôle central dans la réduction des effets dégénératifs des radicaux libres qui s'accumulent dans les tissus végétaux dans des conditions stressantes. Bio stimulant protège les plantes modèles et les plantes cultivées des métabolites du stress oxydatif

## 2. Définition des phytohormones

Les phytohormones sont de petites molécules de signalisation endogènes présentes dans les plantes. Les gibbérellines, l'acide salicylique, l'acide jasmonique, les brassinostéroïdes, l'éthylène et l'acide humique font partie des principaux types de phyto-hormones (Irshadet al., 2022). Ils régulent à la fois les stimuli externes et internes (Kazan, 2015).

Les différents types des hormones :

### 2.1. Acide abscissique

L'acide abscissique (ABA) est le terpénoïde carboxylique de l'acide abscissique. Sa découverte remonte au début des années 1960 (Chen et al., 2019)

**2.2. Gibberellins :** Les hormones végétales gibbérellines régulent la croissance et le développement de la plante.

### 2.3. Acide Salicylique :

Acide salicylique, un autre groupe de phénols végétaux contenant des substances cycliques aromatiques. Des groupes hydroxyle ou leurs dérivés fonctionnels sont attachés (Maruri-Lopez et al., 2019).

## 3. Le rôle de l'acide salicylique chez les plantes

Il joue un rôle important dans la régulation de la croissance, du développement et de la maturation. Il a également un rôle de défense des plantes contre un stress abiotique et biotique (Miura et Tada, 2014)

#### **4. Biosynthèse de l'acide salicylique**

L'acide salicylique est un dérivé naturel de l'acide cinnamique, un intermédiaire de l'acide cinnamique. Sa biosynthèse peut se produire en deux différentes manières (Zhang et Li, 2019). La première voie synthétique indique une formation d'acide salicylique par décarboxylation de la chaîne latérale de l'acide cinnamique en acide benzoïque. La deuxième voie décrit l'hydroxylation des acides Acide cinnamique en acide coumarique (Zhang et Li, 2019).

#### **5. Relation entre l'acide salicylique et la salinité**

L'acide salicylique (SA) agit comme une molécule de signalisation endogène responsable de la tolérance des plantes aux stress abiotiques. Il joue un rôle important dans la régulation de la croissance, du développement et les interactions avec d'autres organismes et les réponses défensives au stress environnemental (Sampath *al.*, 2015).

L'acide salicylique améliore la tolérance au sel en améliorant l'alimentation du potassium et en ralentissant le transport de Na<sup>+</sup> et Cl vers les feuilles (Ben Ahmed et *al.*, 2010).



# *Partie expérimentale*





# *Chapitre I*

## *Matériels et méthodes*



## Chapitre I : Matériel et méthodes

### 1. Objectif de l'étude:

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de stress salin sur la réponse physiologique et biochimique chez carthame (*Carthamus tinctorius* L.) par l'application de quatre concentrations de 0, 100, 150 et 250mM préparées à base de chlorure de sodium (NaCl), l'acide salicylique, et l'extrait aqueux de pistachier.

### 2. Préparation des extraits

#### 2.1. Extrait du pistachier

50 g de poudre des feuilles de pistachier lentisque ont été mis dans un bécher avec 200 ml eau distillée. Après macération durant 24h, l'extrait du pistachier est obtenu par filtration.



(A)

(B)

Figure 6: Filtration de solution du pistachier (Soker et Djaoui, 2023)

(A) : Filtration de solution du pistachier / (B) : Dilution de solution du pistachier

#### 2.2. Préparation de l'extrait de l'acide salicylique :

Pour préparer 1L/eau distillée avec 1mM il nous faut 0.14g d'acide salicylique.

### 3-Méthode de travail :

L'essai est réalisé dans l'institut national spécialisé de la formation professionnelle de la wilaya de Tissemsilt, sous une serre semi-contrôlée.



Figure 7 : Serre en plastique semi-contrôlée (Soker et Djaoui, 2023).

#### a- Matériel végétal :

Cette étude est réalisé sur la variété GILA



Figure 8: Graines du cathame, variété GILA (Soker et Djaoui, 2023)

#### 3.1. Préparation des solutions salines :

Les solutions salines utilisées dans ce travail sont préparées à base de l'eau distillée et de NaCl. Les concentrations choisies sont à la fois 0mM, 100mM, 150mM et 250 mM.

Pour préparer : 1L/eau distillée avec 100mM il nous faut 5.844g de Na Cl.

1L/eau distillée avec 150mM il nous faut 8.766 g de NaCl.

1L/eau distillée avec 250mM il nous faut 14.61 g de Na Cl.



Figure 9: Préparation des solutions salines

### 3.2. Repiquage des plantules :

Après avoir assuré une bonne germination et levée des plantules, ces derniers ont été repiqués soigneusement le 13/11/2022 dans des cylindres en P.V.C de diamètre de 15 cm et de hauteur de 50cm, préalablement remplis de sable désinfecté. Une irrigation avec de l'eau de robinet a été appliquée selon l'état physique du sol.

Le stress salin a été appliqué avec différentes concentrations (0, 100, 150 et 250 mM) au stade 10 feuilles à raison de 2 fois par semaine et ce pour trois semaines. Ensuite, l'application des extraits est faite en alternance avec la solution saline.



Figure 10: application de stress salin sur les plantes sous serre (Soker et Djaoui, 2023)

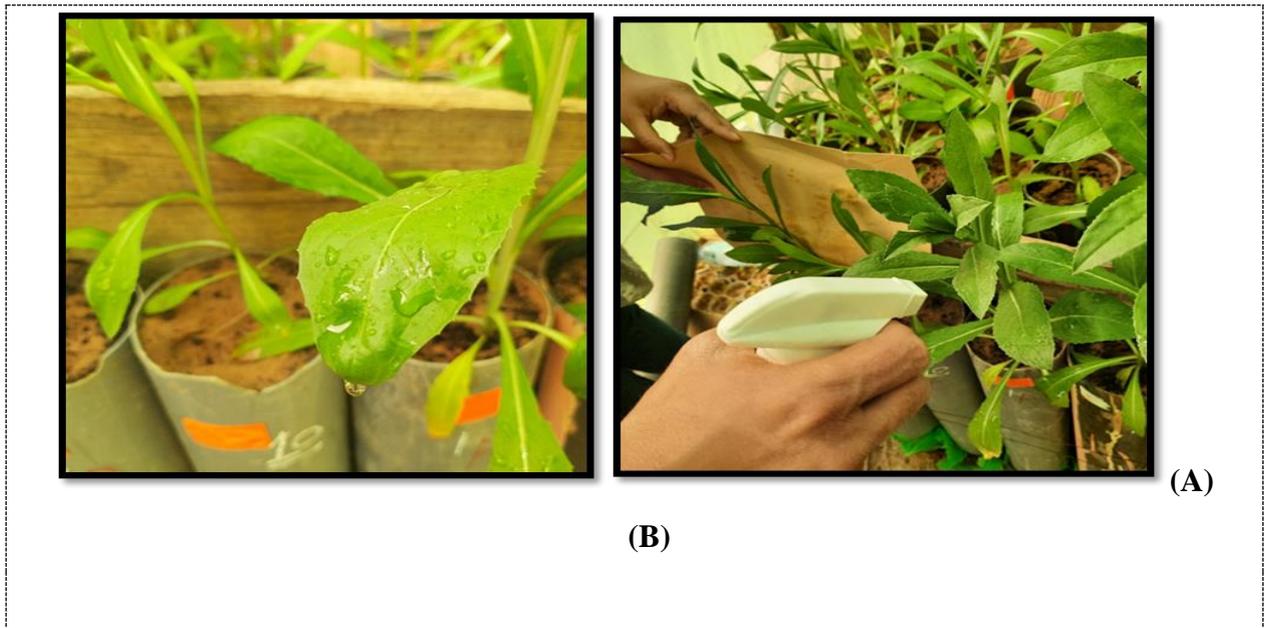


Figure 11 : Application de l'acide salicylique et du Pistachier lentisque sur les plantes sous serre (Soker et Djaoui, 2023).

(A) : feuilles pulvérisées avec l'acide salicylique

(B) : Application de l'acide salicylique

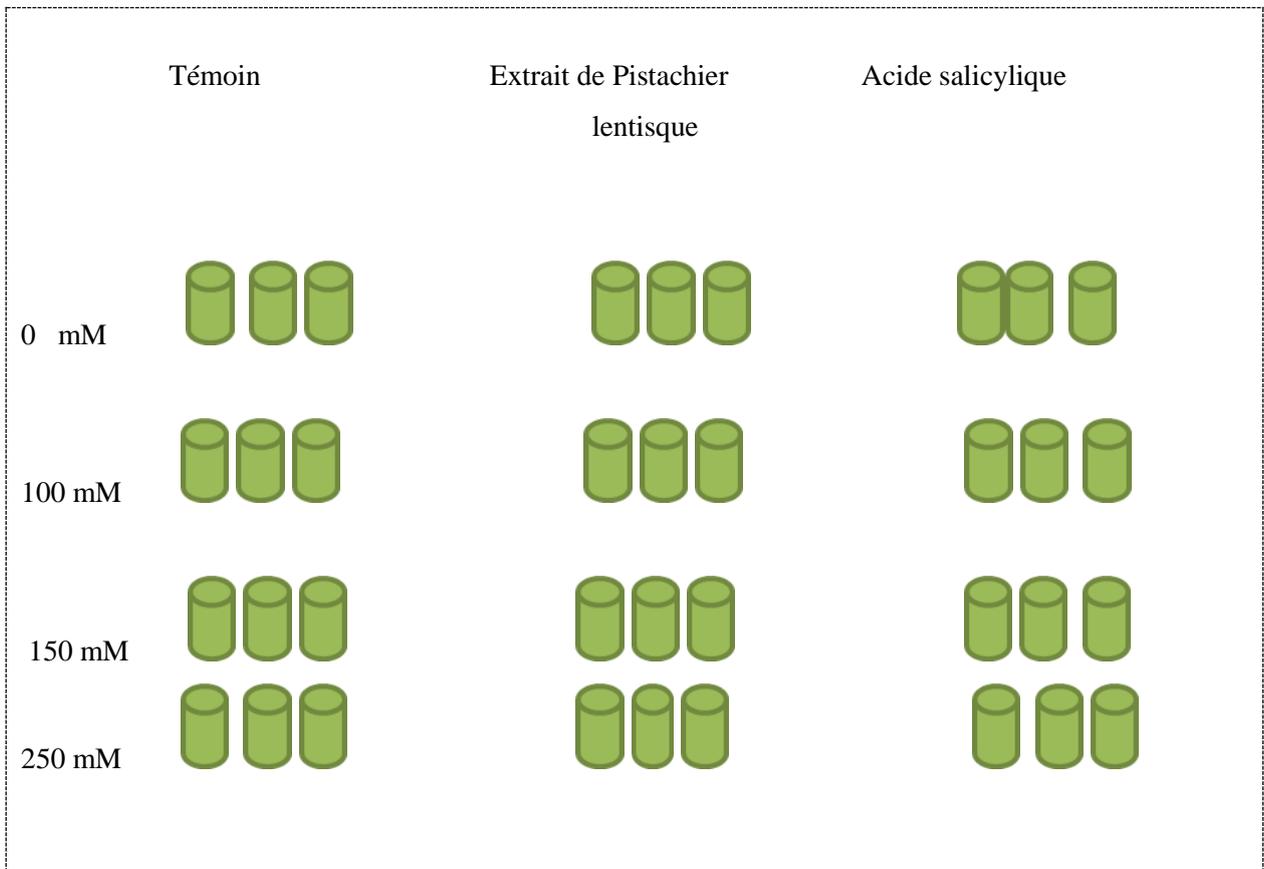


Figure 12: Le dispositif expérimental

#### 4- Paramètres mesurés :

##### 4.1. La hauteur de la plante :

Elle correspond à la longueur totale des tiges mesurée, à l'aide d'une règle millimétrique, après un mois.



Figure 13: Hauteur de la plante (Soker et Djaoui, 2023)

**4.2. Nombre de feuilles :** ce paramètre est déterminé après 1 mois de traitement salin.

#### 4.3. Teneur relative en eau (%)

Selon cette méthode, des tubes à essai remplis d'eau distillée sont préparés à l'avance. Les feuilles sont coupées à la base du limbe par un sécateur. Une prise de poids préalable des feuilles a été réalisée (PF). Ensuite, ces feuilles sont placées dans un endroit frais, après 24h, les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, pesées à nouveau pour obtenir le poids de la pleine turgescence (PT). Les échantillons sont enfin mis à l'étuve réglée à 72h et pesés pour avoir leurs poids sec (PS) (Clark et Mac-Caig, 1982). La teneur relative en eau est calculée par la formule suivante :

$$\text{TRE \%} = \frac{(\text{PF} - \text{PS})}{(\text{PT} - \text{PS})} \times 100$$

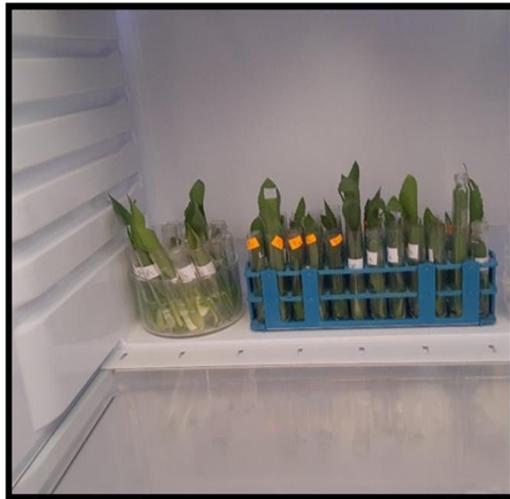
avec

TRE= teneur Relative en eau

PF : poids frais de l'échantillon

PT : Poids de turgescence

PS : Poids sec de l'échantillon



A



Figure 14: Détermination de la teneur relative en eau (Soker et Djaoui, 2023)

A : Les échantillons à 4° pendant 24 heures

B : les échantillons dans l'étuve à 60°C

C : Échantillons après les avoir placés à l'intérieur étuve pour 72 h

D : prise de poids des échantillons séchés

#### 4.4. La surface foliaire

Après un mois de traitement salin, des feuilles sont collectées sur les 3 plantes de chaque traitement. Tout d'abord, la surface foliaire est estimée en pesant la feuille pour déterminer son poids frais. Ensuite, un carré de 1 cm<sup>2</sup> est découpé sur cette même feuille. Ensuite, le poids de cette découpe est mesuré. Enfin, la surface de la feuille est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Surface foliaire (cm}^2\text{)} = (\text{Poids de carrée} \times 100) / \text{poids frais de feuille}$$

#### 4.5. Dosage des pigments chlorophylliens

Ce paramètre est mesuré en se basant sur la méthode de Rao et le blanc (1965). Des feuilles prélevées de la partie médiane des plantes sont immédiatement pesées puis broyées dans de l'acétone à 80%. L'extrait obtenu est centrifugé à 2500 g pendant 5 min. La densité optique de la totalité du surnageant obtenu est mesurée à 663 nm, à 645 nm et à 460 nm. Les concentrations en chlorophylles (Ca et Cb) exprimées en mg. g<sup>-1</sup> MF, sont données par les formules  $Ca = 12.7 * (DO_{663}) - 2.63 * (DO_{645})$

$$Cb = 22.9 * (DO_{645}) - 4.68 * (DO_{663})$$

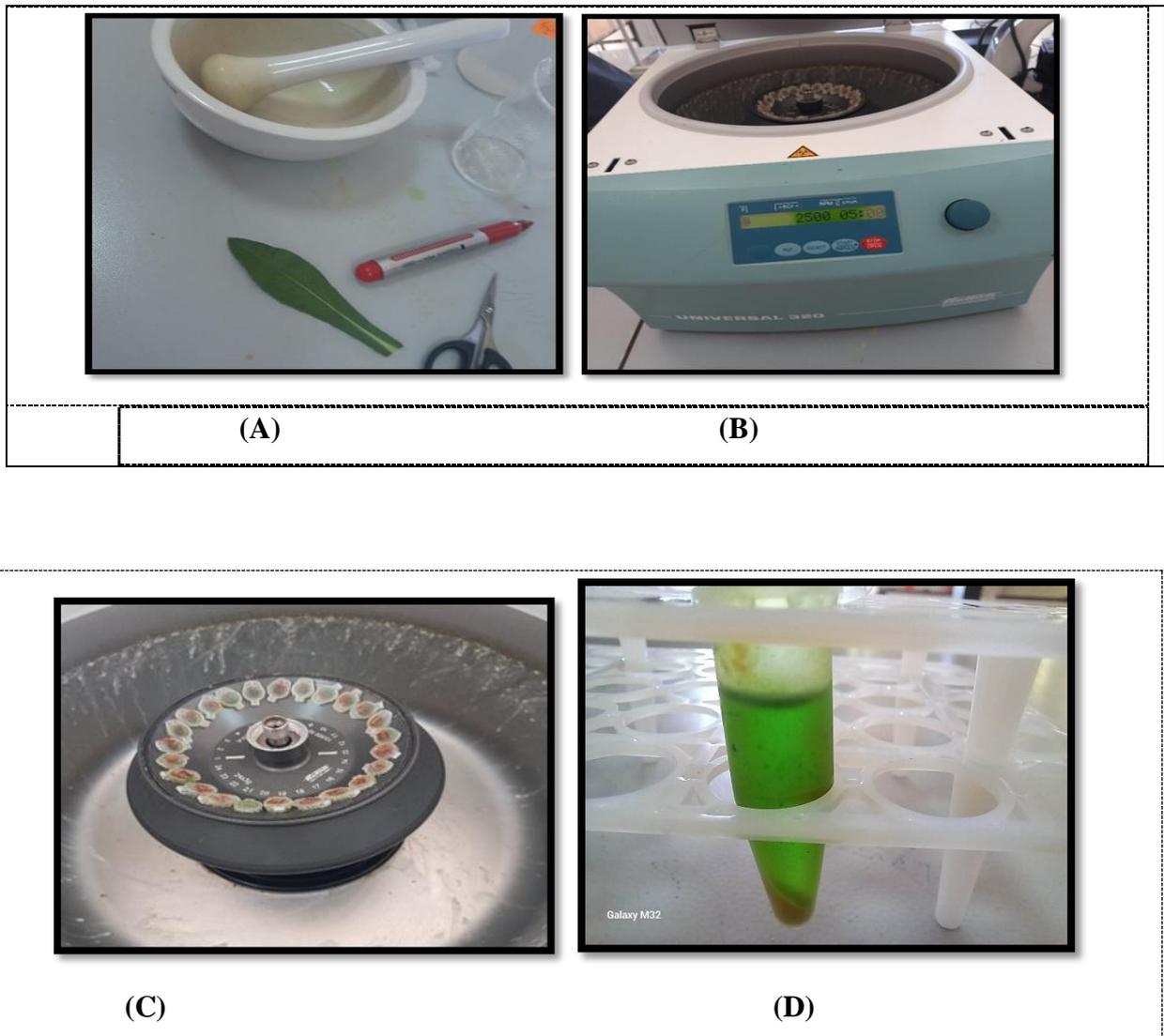


Figure 15: Dosage des pigments chlorophylliens et des caroténoïdes (Soker et Djaoui, 2023)

- (A) : Broyage de feuilles de carthame à l'acétone
- (B) : Mise en solution dans la centrifugeuse
- (C) : Centrifugation

(D) : Récupération du surnageant



Figure 16 : Spectrophotométrie (Soker et Djaoui, 2023)

### 6. Analyse statistique :

L'analyse de la variance à deux facteurs (extrait, stress salin) a été effectuée à l'aide du logiciel (OriginPro 2022).

---

## *Résultats et discussion*





## I- Interprétation des résultats

### 1. Nombre total des feuilles

Tableau 3: Analyse statistique du nombre total de feuilles de la plante de carthame

ANOVA TwoWay (03/05/2023 09:59:4)

ANOVA

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Stress salin	3	100,30556	33,43519	2,68077	0,06956
Extrait	2	53,72222	26,86111	2,15367	0,13796
Interaction	6	101,61111	16,93519	1,35783	0,27136
Model	11	255,63889	23,2399	1,86333	0,09805
Error	24	299,33333	12,47222		
Corrected Total	35	554,97222			

At the 0.05 level, the population means of **Stress salin** are not significantly different.  
 At the 0.05 level, the population means of **Extrait** are not significantly different.  
 At the 0.05 level, the interaction between **Stress salin** and **Extrait** is not significant.

Les résultats de l'analyse statistique (Tableau 03) du nombre total de feuilles montrent que l'effet du stress salin, des extraits appliqués et de leurs interactions n'est pas significatif ( $P > 0,05$ ).

Selon les résultats obtenus du nombre total de feuilles, l'application du stress salin a moyennement affecté l'expression de ce paramètre où les valeurs les plus faibles sont enregistrées à une salinité de 250mM.

Les plantes du lot traité avec 0mM qui n'ont reçu aucun extrait ont présenté un nombre de feuilles plus élevé (17 feuilles) que les plantes ayant été pulvérisées avec de l'extrait de pistachier (14 feuilles) ou de l'acide salicylique (15 feuilles).

A l'échelle du traitement salin de 100mM, l'application des biostimulants a amélioré l'élaboration du nombre de feuilles par plante. En effet, les valeurs les plus élevées sont de l'ordre de 17 et 19 feuilles chez les plantes après avoir appliqué l'extrait du pistachier et de l'acide salicylique respectivement.

Chez le traitement maintenu à 150mM, il a été constaté que l'application de l'acide salicylique a diminué l'effet de stress salin où les valeurs de nombre de feuilles sont de l'ordre de 15 et 11 feuilles pour les plantes irriguées sans extrait et les plantes irriguées avec AS. Au niveau du lot de 250mM, les résultats de nombre de feuilles s'avèrent les plus faibles. Les plantes ayant été cultivées sans extrait ont produit environ 10 feuilles, tandis que celles ayant reçu l'extrait de pistachier et l'acide salicylique ont produit respectivement environ 12 et 17 feuilles (Figure17).

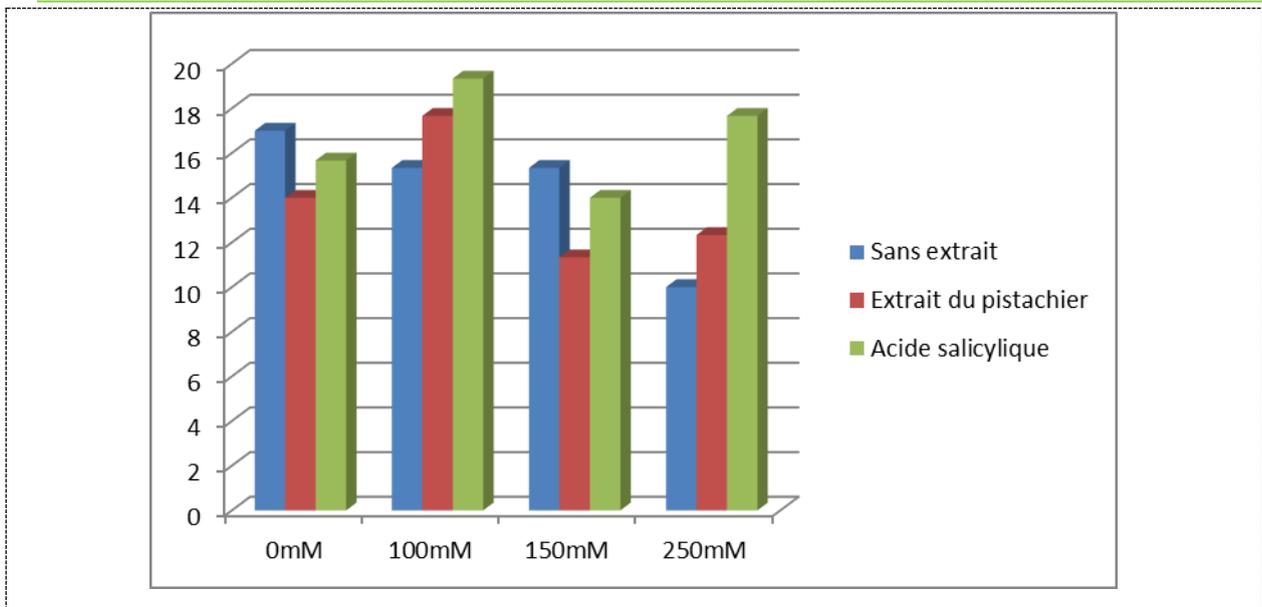


Figure 17: Variation du nombre total de feuilles de la plante de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).

## 2. Hauteur de la plante :

Tableau 4 : Analyse statistique de la hauteur de la plante

ANOVA TwoWay (03/05/2023 09:57:05)  
ANOVA  
Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Stress salin	3	792,08333	264,02778	11,02668	9,62017E-5
Extrait	2	159,05556	79,52778	3,32135	0,05329
Interaction	6	553,83333	92,30556	3,85499	0,00781
Model	11	1504,97222	136,81566	5,71388	1,80955E-4
Error	24	574,66667	23,94444		
Corrected Total	35	2079,63889			

At the 0.05 level, the population means of **Stress salin** are **significantly** different.  
At the 0.05 level, the population means of **Extrait** are **not significantly** different.  
At the 0.05 level, the interaction between **Stress salin** and **Extrait** is **significant**.

Les résultats de l'analyse statistique, présentés dans un tableau, indiquent que l'effet du stress salin, de l'application des extraits et de leurs interactions est significatif ( $P < 0,05$ ).

La lecture des résultats (Figure 20) montre que l'application du stress salin a eu un effet sur la hauteur des plantes. Les plantes du groupe témoin (traitées avec 0mM et sans extrait) ont présenté une hauteur oscillant entre 34 et 39 cm.

Lorsque le traitement salin était de 100mM, l'application des biostimulants a augmenté la hauteur des plantes. Les valeurs les plus élevées ont été observées pour l'acide salicylique (40 cm), tandis que les plantes sans extrait ont atteint une hauteur de 34 cm.

Cependant, à une concentration de 150mM, l'application de l'acide salicylique a diminué l'effet

du stress salin. Les valeurs moyennes de la hauteur des plantes étaient de 43 cm pour les Plantes traitées avec de l'acide salicylique, contre 41 cm pour le groupe témoin et 35 cm pour celui ayant reçu de l'extrait de pistachier.

Enfin, les résultats montrent que la hauteur des plantes a été la plus faible pour le groupe traité avec 250mM. Les valeurs moyennes de ce paramètre se situaient entre 29 cm pour les plantes sans extrait et 46 cm pour celles traitées avec de l'acide salicylique.

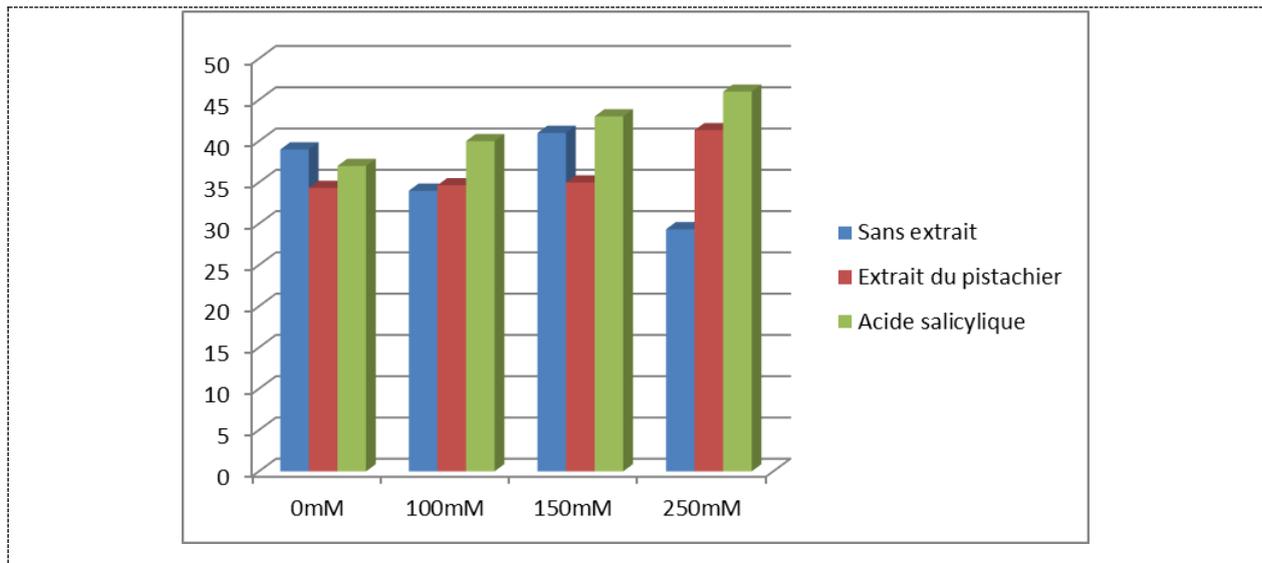


Figure 18: Variation de la hauteur de la plante de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).

### 3- Teneur en chlorophylle (Ca) :

Tableau 5 : Analyse statistique du teneur en chlorophylle (Ca)

ANOVA TwoWay (03/05/2023 10:06:50)  
ANOVA  
Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Stress salin	3	39,69517	13,23172	0,74503	0,5358
Extrait	2	171,70326	85,85163	4,83396	0,01722
Interaction	6	132,06674	22,01112	1,23936	0,32163
Model	11	343,46517	31,22411	1,7581	0,11991
Error	24	426,2424	17,7601		
Corrected Total	35	769,70757			

At the 0.05 level, the population means of **Stress salin** are **not significantly** different.  
 At the 0.05 level, the population means of **Extrait** are **significantly** different.  
 At the 0.05 level, the interaction between **Stress salin** and **Extrait** is **not significant**.

L'analyse des résultats obtenus (Tab05.), démontre que la teneur en chlorophylle a (Ca) n'est dépendante du stress salin ( $P > 0.05$ ). L'extrait conduit permet contrairement à des variations significatives sur l'expression de cette teneur ( $p < 0.001$ ). L'absence d'un effet ( $p < 0.001$ ), émanant de l'interaction de ces deux facteurs met en exergue une similarité des différents extraits appliqués en réaction aux variations des stress salins maintenus

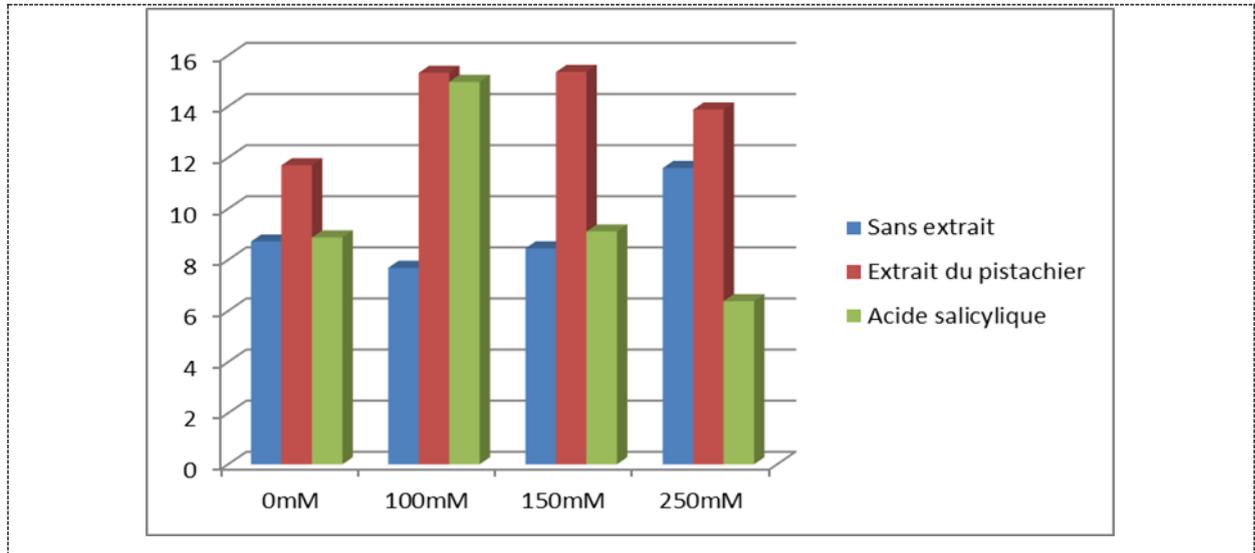


Figure 19: Variation de la teneur en chlorophylle (Ca) (mg/g de MF) de la plante de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique)

Au niveau du témoin, la moyenne de la teneur en chlorophylle (Ca) est relativement faible par rapport aux autres niveaux de salinité. De plus, après application de l'extrait du pistachier et de l'acide salicylique il a été enregistré une élévation de la teneur de ce paramètre dont les valeurs sont de l'ordre de 11,7(mg/g de MF) et 8,9(mg/g de MF) respectivement.

Selon les résultats obtenus (Figure19) l'accroissement de niveau de salinité provoque une augmentation de la teneur en chlorophylle (Ca) des feuilles de carthame. Ainsi, dans le traitement mené à 100mM, les valeurs de ce pigment sont les plus élevées avec des teneurs respectives de 8,44(mg/g de MF) (sans extrait), 15,3(mg/g de MF) (l'extrait de pistachier) et 9,1(mg/g de MF) pour l'acide salicylique.

Au niveau du milieu 250mM, la valeur de chlorophylle (Ca) s'est avéré élevée avec de l'extrait de pistachier (13,9mg/ml). Alors que, cette teneur est de l'ordre de de 11,5(mg/g de MF) (sans extrait) et 6,3(mg/g de MF) (acide salicylique).

#### 4. Teneur en chlorophylle (Cb)

Tableau 6: Analyse statistique du teneur en chlorophylle (Cb)

ANOVA TwoWay (03/05/2023 10:07:42)  
ANOVA  
Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Stress salin	3	130,10243	43,36748	0,74616	0,53517
Extrait	2	562,19228	281,09614	4,83641	0,01719
Interaction	6	432,00236	72,00039	1,23881	0,32188
Model	11	1124,29707	102,20882	1,75856	0,11981
Error	24	1394,8985	58,12077		
Corrected Total	35	2519,19557			

At the 0.05 level, the population means of **Stress salin** are **not significantly** different.  
At the 0.05 level, the population means of **Extrait** are **significantly** different.  
At the 0.05 level, the interaction between **Stress salin** and **Extrait** is **not significant**.

Les résultats de l'analyse statistique (Tableau06) de la teneur en chlorophylle (Cb) montrent que l'effet du stress salin et de l'interaction entre les facteurs d'étude n'est pas significatif ( $P > 0,05$ ). Tandis que, cet effet est significatif pour l'extrait appliqué ( $P < 0,05$ ).

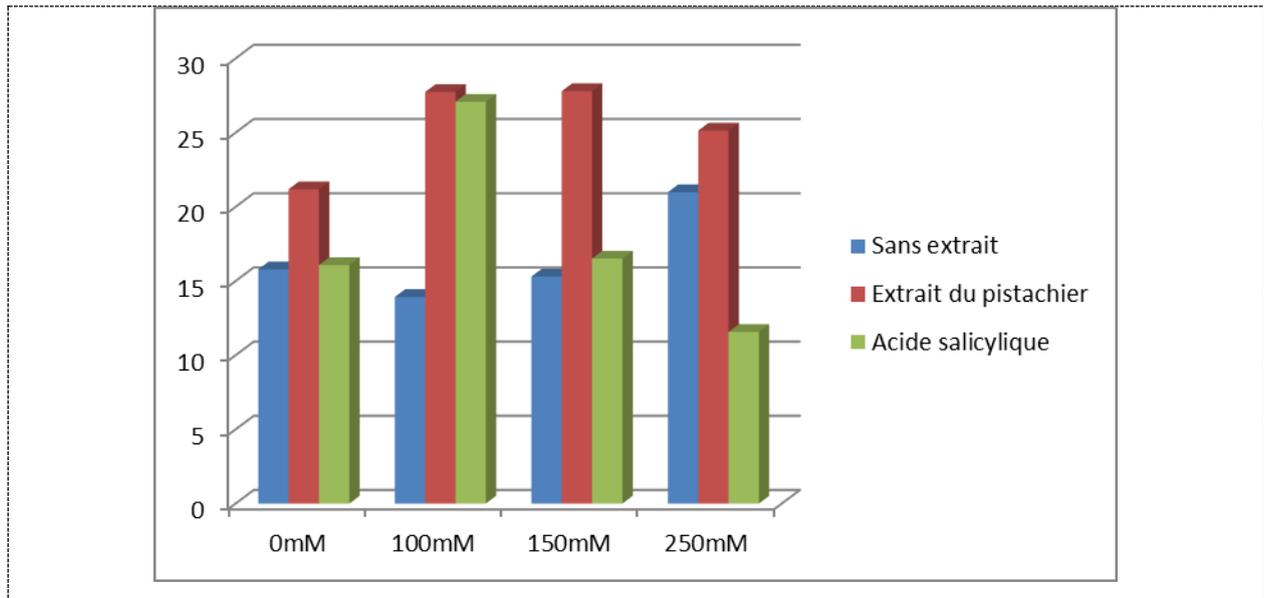


Figure 20 : Variation de la teneur en chlorophylle (Cb) (mg/g de MF) de la plante de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).

Selon les résultats la teneur en chlorophylle (Cb) au niveau du témoin, est basse comparée aux autres niveaux de salinité. De plus, l'application de l'extrait de pistachier et de l'acide salicylique a entraîné une augmentation de cette teneur, atteignant respectivement environ 21,18 (mg/g de MF) et 16,07 (mg/g de MF).

Selon la figure (20), l'augmentation du niveau de salinité entraîne une augmentation de la teneur en chlorophylle (Cb). Ainsi, dans le traitement à 100 mM, les valeurs de ce pigment dans les feuilles de carthame sont de l'ordre de 13,9 (mg/g de MF) (sans extrait), 27,7 (mg/g de MF) (extrait de pistachier) et 27,1(mg/g de MF) (acide salicylique).

Au niveau du milieu à 250 mM, la teneur en chlorophylle (Cb) s'est montrée élevée avec l'extrait de pistachier (environ 25,13(mg/g de MF)), tandis que cette teneur était d'environ 20,9 (mg/g de MF) (sans extrait) et 11,6 (mg/g de MF) (acide salicylique).

## 5. Teneur relative en eau (%)

Tableau 7 : Analyse statistique du teneur relative en eau

ANOVATwoWay (03/05/2023 10:02:5)  
ANOVA  
Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Stress salin	3	229,44654	76,48218	0,34563	0,79258
Extrait	2	344,46941	172,2347	0,77835	0,47041
Interaction	6	1815,85904	302,64317	1,36769	0,26751
Model	11	2389,77499	217,25227	0,98179	0,48835
Error	24	5310,74067	221,28086		
Corrected Total	35	7700,51566			

At the 0.05 level, the population means of **Stress salin** are **not significantly** different.  
At the 0.05 level, the population means of **Extrait** are **not significantly** different.  
At the 0.05 level, the interaction between **Stress salin** and **Extrait** is **not significant**.

Les résultats de l'analyse statistique (Tableau07) de la teneur relative des feuilles (TRE) montrent que l'effet du stress salin, des extraits appliqués et de leurs interactions n'est pas significatif ( $P > 0,05$ ).

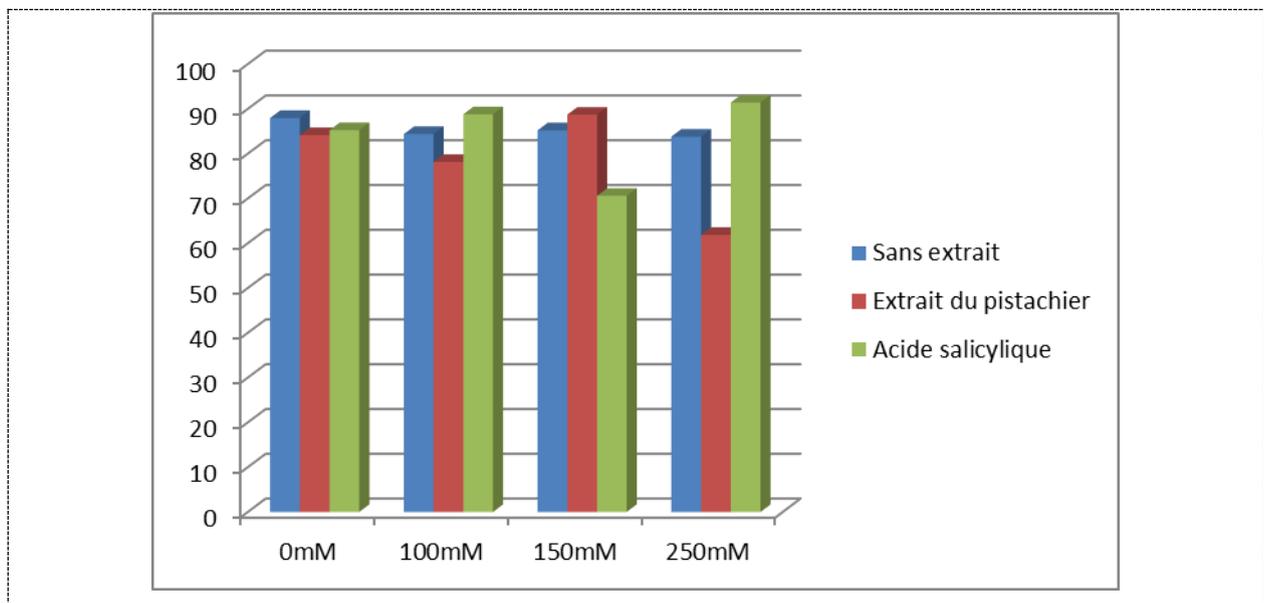


Figure 21: Variation de la teneur relative en eau (%) de la plante de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).

Dans le milieu témoin (0mM), la TRE est plus élevée pour les feuilles maintenues sans extrait (87,85%) par rapport aux valeurs d'environ 84,13% et 85,24% obtenues avec l'extrait de pistachier et l'acide salicylique respectivement.

Au niveau du milieu 100mM, la teneur relative en eau des feuilles sont de l'ordre de 84,38% (sans extrait), 78,15% (extrait du pistachier) et 88,79% (acide salicylique).

L'augmentation de la concentration de NaCl à 150mM induit une diminution de TRE dans le lot conduit sans extrait (83.78%) et celui de l'extrait du pistachier (61.86%). En revanche, une haute valeur de TRE a été divulguée par les feuilles pulvérisées avec de l'acide salicylique (91.4%).

**6. Surface foliaire (cm2) :**

Tableau 8 : Analyse statistique du Surface foliaire (cm2)

ANOVA TwoWay (03/05/2023 10:05:50)

ANOVA

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Stress salin	3	45,58736	15,19579	0,31619	0,81352
Extrait	2	267,04985	133,52493	2,77838	0,08216
Interaction	6	238,42373	39,73729	0,82685	0,56061
Model	11	551,06094	50,09645	1,04241	0,44278
Error	24	1153,40393	48,0585		
Corrected Total	35	1704,46488			

At the 0.05 level, the population means of **Stress salin** are not significantly different.

At the 0.05 level, the population means of **Extrait** are not significantly different.

At the 0.05 level, the interaction between **Stress salin** and **Extrait** is not significant.

Les résultats de l'analyse statistique (Tableau8) concernant la surface foliaire indiquent que l'effet du stress salin, des extraits appliqués et de leurs interactions n'est pas statistiquement significatif ( $p > 0,05$ ).

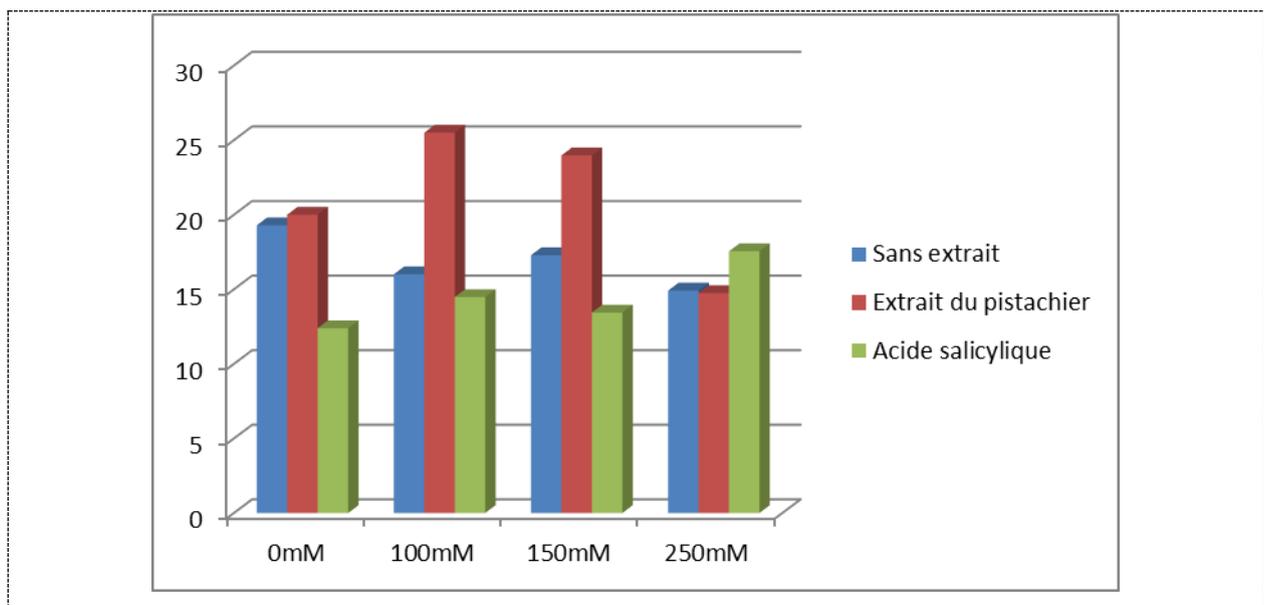


Figure 22: Variation de la surface foliaire de la plante de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).

Selon les données de ce paramètre, la recrudescence de niveau de salinité a relativement induit une diminution de la surface foliaire des plantes.

Les résultats obtenus (Figure 22.) indiquent qu'en l'absence de stress salin, la plus grande surface foliaire est observée chez les plantes maintenues sans extrait (19,29 cm<sup>2</sup>) et avec l'extrait de pistachier (20 cm<sup>2</sup>).

Dans le traitement à 100 mM de NaCl, la plus grande surface foliaire est obtenue avec l'extrait de pistachier (25 cm<sup>2</sup>), tandis que cette valeur est d'environ 16 cm<sup>2</sup> et 14,48 cm<sup>2</sup> respectivement pour les feuilles sans extrait et avec l'acide salicylique.

À un niveau élevé de salinité de 250 mM, les valeurs de la surface foliaire sont les plus faibles. En effet, ce paramètre présente des valeurs d'environ 14,91 cm<sup>2</sup>, 14,75 cm<sup>2</sup> et 17,55 cm<sup>2</sup> respectivement pour les feuilles sans extrait, avec l'extrait de pistachier et avec l'acide salicylique.

# *Discussion*





## Discussion

La présence de niveaux élevés de sel dans le sol et l'eau est un défi majeur dans de nombreux pays à travers le monde. Cela est généralement considéré comme le principal facteur abiotique limitant et altérant la productivité végétale et les rendements agricoles (Bouassaba et Chougui, 2018). Ces altérations sont principalement causées par des changements dans leurs réponses physiologiques, morphologiques, biochimiques et moléculaires (Arif et *al.*, 2020)

Le recours à des produits chimiques pour stimuler la croissance et le rendement des cultures n'a fait qu'aggraver le problème de la production agricole. Par conséquent, le développement des bio-stimulants a suscité un intérêt considérable ces dernières années (Nephali et *al.* 2021). Plusieurs études ont proposé différentes approches pour atténuer les effets nocifs de la salinité, notamment l'utilisation de régulateurs de croissance végétale appliqués de manière externe sur différentes plantes cultivées (Chouhim et *al.*, 2022 ; Bergad et Kadat, 2022). Selon Zhang et Schmidt (2000), les biostimulants sont les matériaux utilisés en quantités infimes pour favoriser la croissance des plantes.

L'objectif de cette recherche était d'étudier certains paramètres biochimiques et morphologiques pour mieux évaluer les effets néfastes de stress salin et l'application exogène de l'extrait du pistachier et de l'acide salicylique sur les plants de carthame cultivés sous serre. Les résultats ont démontré un abaissement de la croissance des plantes dans les conditions du stress salin (Merati et *al.* 2014 ; Shaki et *al.*, 2018). Cette constatation a été prouvée par nombreuses travaux ultérieurs (Ahanger et *al.*, 2020 ; Kaya et *al.*, 2020). Tandis que, L'application exogène des extraits précités a amélioré le statut morphologique des plantes (Figure 21 ;). Cette diminution de la longueur de la plante pourrait être due à l'effet négatif de ce sel sur le taux de photosynthèse, les modifications de l'activité enzymatique ainsi que la diminution du niveau de glucides et d'hormones de croissance (Mazher et *al.* 2007). En plus, la production des Espèces Réactives de l'Oxygène (ROS) et l'induction du stress oxydatif par la salinité sont les principales causes de croissance et de productivité réduites des plantes (Imran et *al.*, 2023). Ces ROS initient la formation de radicaux qui peuvent cliver les liaisons de sucre dans les polysaccharides végétaux, entraînant ainsi un relâchement de la paroi cellulaire (Schopfer, 2001). En outre, la salinité réduit le potentiel hydrique du sol, ce qui diminue la capacité des cellules végétales à absorber l'eau et la pression de turgescence cellulaire, affectant ainsi l'expansion cellulaire. Ces changements initiaux entraînent une rétraction des tissus végétaux et une perte d'eau des cellules végétales (Van Zelm et *al.*, 2020). Une augmentation de la salinité

diminue la capacité d'absorption d'eau et la photosynthèse chez les plantes, et inhibe leur croissance normale. L'absorption de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  par les racines des plantes entraîne un déséquilibre nutritionnel et un antagonisme entre les nutriments et les ions de sel (Pedro et Lao, 2018). Cependant, la salinité ne nuit pas toujours aux plantes. Par exemple, chez certaines halophytes, de faibles niveaux de stress salin peuvent accélérer la croissance des plantes, et l'inhibition de la croissance des plantes ne se produit qu'à des niveaux élevés de stress salin (Abideen et al., 2014; CI et al., 2015). De plus, lorsque la concentration de sel augmente, la capacité d'absorption d'eau des racines est inhibée, entraînant une perte d'eau importante dans les cellules, et par conséquent, une inhibition de la croissance des plantes (Yan et al. 2022).

La baisse des niveaux de chlorophylle (a) et de chlorophylle (b) pourrait être due à la sensibilité de la biosynthèse de la chlorophylle au chlorure de sodium. Cette sensibilité affecte moins la voie de biosynthèse de la chlorophylle (b) (Rhim et al. 2013). Le stress salin joue un rôle dans la diminution de l'activité de la chlorophylle et inhibe la synthèse de l'acide 5-amino-levulinique (Santos, 2004). Lors de contraintes hydriques, les réactions photochimiques de la photosynthèse sont perturbées, avec un blocage du transfert d'électrons entre LHCII et PSII. La diminution du taux de  $\text{CO}_2$  dans les feuilles est associée à une inhibition de la photosynthèse. La réduction de la teneur en chlorophylle (soit par dégradation rapide, soit par diminution de la biosynthèse) peut être utilisée comme outil par les plantes pour augmenter la capacité du mécanisme de photoprotection afin de limiter l'absorption de la lumière dans des conditions de stress (ElSheery et Cao 2008). De plus, la réduction de la teneur en chlorophylle a été attribuée au rôle de l'enzyme chlorophyllase qui altère la biosynthèse de la chlorophylle et accélère sa dégradation (Santos 2004). L'utilisation d'extraits, tels que l'acide salicylique, peut aider à protéger les pigments chlorophylliens de l'effet phytotoxique des ions et fournir une protection oxydative au niveau des chloroplastes, ce qui améliore la photosynthèse (Foyer et Shigeoka, 2011).

Cette étude a démontré que le stress salin a grandement diminué le nombre de feuilles des plantes. Résultats sont en accord avec la recherche menée par Amira et Qados (2012) sur la fève. La diminution du nombre de feuilles peut être due à l'accumulation de chlorure de sodium dans les parois cellulaires et le cytoplasme des feuilles les plus âgées. En même temps, leur sève de vacuole ne peut pas accumuler plus de sel et diminue ainsi la concentration de sel à l'intérieur des cellules, ce qui conduit finalement à leur mort rapide et à leur réduction (Munns, 2002).

Les résultats de notre étude sont en accord avec ce que Mathur et *al.* (2006) ont rapporté que le stress de la plante de haricot papillon avec des concentrations croissantes de chlorure de sodium entraînait une diminution de la surface foliaire. Cette diminution notable de la surface foliaire, constatée dans cette étude à la suite du traitement avec des concentrations accrues de chlorure de sodium, pourrait s'expliquer par l'effet négatif du sel sur la photosynthèse qui entraîne une réduction de la croissance des plantes, de la croissance des feuilles et de la teneur en chlorophylle (Netondo et *al.*, 2004).

Les feuilles sont les principaux organes de la photosynthèse, où l'eau stockée peut atténuer les changements rapides de salinité dans la rhizosphère (Daniel, 2014 ; Silvia et *al.*, 2016). La salinité peut entraîner une diminution de la teneur en eau relative (Yan et *al.*, 2022). Ceci peut s'expliquer par une faible conductance de l'eau au niveau des racines et une activité racinaire restreinte (Bazrafshan et *al.*, 2020).

Cette étude a apporté une confirmation scientifique sur l'avantage de l'extrait de pistachier et de l'acide salicylique sur le carthame cultivé sous différentes concentrations salines. Les extraits ont un rôle majeur dans la réponse de la plante aux stress abiotiques. Ils agissent en modifiant les réponses physiologiques et biologiques de la plante à travers plusieurs mécanismes, tels que la régulation de l'activité de piégeage des ROS, la protection osmotique, la stabilisation de la membrane, la régulation de l'ouverture stomatique et de la conductance du xylème, la chélation des métaux, l'amélioration de la disponibilité des nutriments et de l'eau, ainsi que la modulation de la signalisation phytohormone chez les plantes ( Van Oosten et *al.*, 2017 ; Rai et *al.*, 2021).



# *Conclusion*



## Conclusion

La salinité est parmi les stress abiotiques limitants et affectant grandement la productivité des cultures dans le monde. L'effet de cette contrainte se traduit principalement par un changement de nombreux mécanismes du métabolisme cellulaire. L'absorption des éléments nutritifs, la photosynthèse, la respiration, l'accumulation des solutés organiques et la disponibilité en eau sont les plus affectants.

Le carthame (*Carthamus tinctorius L*) est une espèce oléagineuse à grands intérêt alimentaire et économique. Cette culture a suscité un regain d'intérêt grâce à son huile végétale riche en acides gras insaturés.

Notre travail consiste à étudier le comportement physiologique, biochimique et morphologique de carthame de variété Gila (variété française) soumise à l'action combinée de la salinité (0, 100meq ; 150 meq et 250meq de Na Cl). Un autre objectif de notre étude vise à améliorer de la tolérance à ce stress par l'application de l'acide salicylique et de l'extrait Pistachier lentisques au moment du développement végétatif des plantes.

Les résultats ont montré que la salinité diminue considérablement l'ensemble des paramètres retenus à savoir la hauteur de la plante, le nombre des feuilles, TRE et la surface foliaire. Néanmoins, l'application foliaire de l'extrait de Pistachier lentisque et de l'acide salicylique s'est avérée significative et a contribué de manière considérable à atténuer les effets de la salinité.

Cette étude semble être une contribution à l'étude de l'effet de la salinité et la résistance de la culture de carthame. L'acide salicylique est connu pour ses propriétés de régulateur de stress et peut aider les plantes à mieux faire face aux conditions défavorables telles que la salinité. Son application pourrait donc potentiellement atténuer les effets néfastes du stress salin sur le carthame. En outre, l'extrait de Pistachier lentisque, quant à lui, est un composé végétal qui a été étudié pour ses propriétés anti oxydantes et sa capacité à améliorer la tolérance des plantes au stress environnemental.

Finalement, notre étude a confirmé d'une part l'effet négatif du stress salin sur la plante de carthame, et d'autre part l'importance et le rôle positif des intrants chimiques et biologiques. Ces derniers pourraient constituer la clé d'un développement agricole durable et de l'atteinte de l'autosuffisance alimentaire et économique.



# *Références bibliographiques*



## Références bibliographiques

- Abada EA. 2019.** Application of microbial enzymes in the dairy industry. In: Kuddus M (ed) Enzymes in food biotechnology. Academic Press, Cambridge, pp 61–72. DURING SALT STRESS TOLERANCE IN PLANTS. CURRENT TRENDS IN BIOTECHNOLOGY AND Références bibliographique PHARMACY.
- Abideen Z, Koyro HW, Huchzermeyer B, Ahmed MZ, Gul B, Khan MA.** Moderate salinity stimulates growth and photosynthesis of *Phragmites karka* by water relations and tissue specific ion regulation. *Environ Exp Bot.* 2014;105:70–76. doi:10.1016/j.envexpbot.2014.04.009. 9.
- Ahanger, M.A., Tomar, N.S., Tittal, M., Argal, S., Agarwal, R., 2017.** Plant growth under water/salt stress: ROS production; antioxidants and significance of added potassium under such conditions. *Physiol. Mol. Biol. Plants* 23, 731–744.
- Amira M.S. et Qados A (2011).** Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* (L.). , 10(1), 7–15.
- Arif Y., Singh P., Siddiqui H., Bajguz A., Hayat S. 2020.** Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiol. Biochem.* 156, 64–77.
- Ben Ahmed H., Mimouni H., Manaa A., et Zid E. 2010.** l'acide salicylique améliore la tolérance de la tomate cultivé (*Solanymmylicopersicum*) a la contrainte saline, *Acta bptanica gallica*, vol 157 : pp361 -368.
- Bouassaba K., Chougui S., 2018.** Effet Du Stress Salin Sur Le Comportement Biochimique Et Anatomique Chez Deux Variétés De Piment (*Capsicum Annum L.*À Mila /Algérie. *European Scientific Journal.*14(15) : 159-174.
- Bouteyre G. et Loyer J.Y., 1992.** Sols salés, eaux saumâtres des régions arides tropicales et méditerranéennes ,principaux facies pour l'agriculture. *ORSTOM*,69-80.

- Chen K., Li G.J., Bressan R.A., Song Ch. P., Zhu J.K., & Zhao Y., 2019.** Abscisic acid dynamics, signaling, and functions in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 62(1), 25–54.
- Chmekh Z., 2010.** Analyse de la réponse de quelques génotypes de blé dur (*Triticum durum* L.) à la contrainte saline dans trois gouvernorats du centre de la Tunisie, Master en agronomie et biotechnologie végétale, Institut nationale agronomique de Tunisie, 4p.
- Chouhim K.M.A. Latigui A., Belkhodja M. et Adda A. 2022.** Exogenous applications of exudates roots of common glasswort on eggplant under salt stress. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2022, 12(3), 29-35.
- Ci DW, Zhang ZM, Ding H, Song WW, Fu FP, Kang T, Dai LX.** Evaluation and selection indices of salinity tolerance in peanut seedling. *Acta Ecol Sin.* 2015;35:805–814.
- Daniel BS.** The kinematics and mechanics of leaf expansion: new pieces to the Arabidopsis puzzle. *Curr Opin Plant Biol.* 2014;22:141–148. doi:10.1016/j.pbi.2014.11.005. 43.
- Elsheery NI, Cao KF. 2008.** Gas exchange, chlorophyll fuorescence, and osmotic adjustment in two mango cultivars under drought stress. *Acta Physiol Plant* 30:769–777
- Förster H., Coffey M., Elwood H., Sogin M.L. 1990.** Sequence analysis of the small subunit ribosomal RNAs of three zoosporic fungi and implications for fungal evolution. *Mycologia*, 82.
- Foyer, C.H., Shigeoka, S., 2011.** Understanding oxidative stress and antioxidant functions to enhance photosynthesis. *Plant Physiol.* 155, 93–100.
- Hasegawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.K., Bohnert H.J. 2000.** Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Biology and Molecular Biology*, 51: 463-499. hautes salinités au stade de la germination –séminaire national sur la problématique
- Hemelikova N., Žukauskaite A., Pospisil T., Miroslav S., Dolezal K., and Mik V., 2021.** Caged Phytohormones : From Chemical Inactivation to Controlled Physiological Response.p1

- Hopkins W. G., 2003.** Physiologie végétale. 2éme édition. De Boeck, Bruxelles: 61-476.
- Imran, M.; Lee, D.-S.; Lee, C.-Y.; Kang, S.-M.; Lee, I.-J. Exogenous SA.2023.** Applications Alleviate Salinity Stress via Physiological and Biochemical changes in St John's Wort Plants. *Plants*, 12, 310.
- Kazan K., 2015.** Diverse roles of jasmonates and ethylene in abiotic stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 20(4), 219–229.
- Kopecká, R.; Kameniarová, M.; Cerný, M.; Brzobohatý, B.; ˇ Novák, J. 2023.** Abiotic Stress in Crop Production. *Int. J. Mol. Sci*, 4, 6603.
- Kosova K., Vitamvs P., Prasil I.T., Renaut J. 2011.** Plant proteome changes under abiotic stress-Contribution of proteomics studies to understanding plant stress response. *J. Prot.* 7 4: 1301-1322.
- C.R.S.T.R.A . 2009** La culture des plantes Médicinales, Condimentaires et Aromatiques dans les Régions Arides. Le carthame. *Carthamus tinctorius* L.
- Lopes M., Silva A.S., Castilho M., Cavaleiro C., Ramos F., 2021.** Halophytes as source of bioactive phenolic compounds and their potential applications.p1
- Marcheix J-J., Fleuriet A., Allemand C-J. 2005.** les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. PPUR presses polytechniques. Pp 216
- Maruri-López I., Aviles-Baltazar N.Y., Buchala A., & Serrano M. 2019.** Intra and extracellular journey of the phytohormone salicylic acid. *Frontiers in Plant Science*, 10, 423.
- Maryum Z, Luqman T, Nadeem S, Khan SMUD, Wang B, Ditta A and Khan MKR .2022.** An overview of salinity stress, mechanism of salinity tolerance and strategies for its management in cotton. *Front. Plant Sci.* 13:907937.
- Mathur, N., Singh, J., Bohra, S., Bohra, A., Vyas, A. 2006.** Biomass production, productivity and physiological changes in moth bean genotypes at different salinity levels. *Am. J. Plant Physiol.* 1 (2), 210–213

- Miura K., et Tada Y. 2014.** Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. *Frontiers in PLANT SCIENCE*. Yuriko Osakabe, RIKEN Plant Science Center, Japan, 5(4): 12 P.
- Munns, R. 2002.** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25, 239–250.
- Nephali, L., Piater L.A., Dubery I.A., Patterson V., Huyser J. et Burgess K. 2020.** Tugizimana, F. Biostimulants for Plant Growth and Mitigation of Abiotic Stresses: A Metabolomics Perspective. *Metabolites*, 10, 505.
- Netondo G. W., Onyango J. C. et Beck E. 2004.** Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. *Crop Sci.* 44, 806–811.
- Pedro GC et Lao MT. 2018.** The effects of salt stress on ornamental plants and integrative cultivation practices. *Sci Hortic (Amsterdam)*. 240:430–439. doi:10.1016/j.scienta.2018.06.022. 8.
- Rao DN. et Le Blanc BF., 1965.** Effects of sulfur dioxide on the lichen alga, with special reference to chlorophyll. *Bryologist*; 69-75.
- R'him, T. I., Tlili, I., Hnan, R., Ilahy, A., Benali et Jebari, H. 2013.** Effet du stress salin sur le comportement physiologique et métabolique de trois variétés de piment (*Capsicum annuum* L.), *Journal of Applied Biosciences*, 66 :5060-5069.
- ROBERT M. 1996.** Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Ed
- Sampath K.I., Ramgopal R.S. et Vardhini B.V. 2015.** Role of Phytohormones during Salt Stress Tolerance in Plants. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*. 9(4):334-343.
- Santos, C.V. 2004.** Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves, *Scientia Horticulturae*, 103(1): 93-99

- Schopfer P. 2001.** Hydroxyl radical-induced cell-wall loosening in vitro and in vivo: implications for the control of elongation growth. *Plant J* 28: 679–688
- Turan M., et Sezen S., 2007-**Effect of salt stress on plant nutrition uptake. University of Ataturk, Faculty of Agriculture, Turkey.
- Van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., and Maggio, A. 2017.** The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 4:5
- Van Zelm E, Zhang Y. et Testerink C. 2020.** Salt tolerance mechanisms of plants. *Annu Rev Plant Biol* 71: 403–433
- Zemour, K., Adda A. Labdelli A., Dellal A., Cerny M. and Merah O. 2021.** Effects of genotype and climatic conditions on the oil content and its fatty acids composition of *Carthamus tinctorius* L. seeds. *Agronomy* 11, (10): 2048.
- Zemour K . 2022 .** Etude de la tolérance au déficit Hydrique et au Stress Thermique Chez le Carthame (*Carthamus tinctorius* L.) et leurs effets sur le rendement et la qualité des huiles. Thèse de Doctorat. INP Toulouse et Université Ibn khaldoun Tiaret. P173.
- Zhang Y., and Li X. 2019.** Salicylic acid: biosynthesis, perception, and contributions to plant immunity. *Current Opinion in Plant B*