



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret–
Faculté Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Génétique Moléculaire et Amélioration des Plantes

Présenté par :

SIYOUCEF Djihad

LEBBOUKH Lemia

Thème

Effet du stress salin sur le comportement morphologique et
physiologique du carthame (*Carthamus tinctorius L.*)

Jury:

Présidente: SOUALEM Samira

Encadrant: ZEMOUR Kamel

Co-encadrant: CHOUHIM Kadda mohamed Amine

Examinatrice : BOUZIDI Assia

Grade

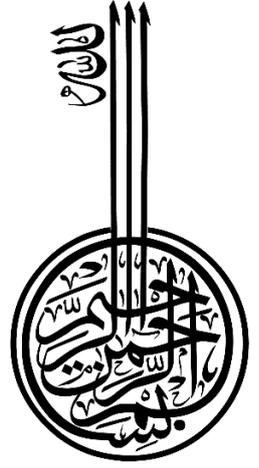
MAA (Univ Tiaret)

MCB (Univ Tissemsilt)

MCB (Univ Tissemsilt)

MCB (Univ Tiaret)

Année universitaire 2022-2023



Remerciements



Tout d'abord, nous tenons à remercier ALLAH le Clément et le Miséricordieux, le Tout Puissant qui nous a donné la force et la patience pour accomplir notre travail.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à l'aide de plusieurs personnes à qui nous voudrions témoigner nos sincères gratitude. Un très gret merci à notre encadreurs **Dr. ZEMOUR Kamel** et **Dr. CHOUHIM Kadda mohamed Amine** pour leurs précieux critiques, conseils, encouragements, leurs soutien constant et leurs disponibilité. Sincères remerciements.

Nous remercions également les membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu accorder à l'évaluation de notre travail et nous espérons avec ce mémoire être à la hauteur de leurs attentes.

Nous voudrions aussi remercier tous les professeurs qui ont contribué à notre formation sans exception.

Un gret merci à nos très chers parents qui nous ont toujours soutenu et supporté. Enfin nous remercions nos frères, sœurs, amis et tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de notre modeste travail.

Dédicaces



Je dédie ce modeste travail avec un profond amour à :

Mes chers parents Abd al-Hadi et Noura en témoignage de ma reconnaissance envers le soutien, les sacrifices et tous les efforts qu'ils ont fait pour mon éducation.

Mes chères sœurs et mon frère. Qu'ALLAH les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A mes meilleurs amis qui m'ont encouragé et partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de cette mémoire A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment, MERCI !

Djihad

Cette étude est entièrement dédiée à mes parents Ahmed et Saida, qui ont toujours été une source de soutien et de conseils pour moi, et abordent ce travail avec enthousiasme et détermination.

A mes frères et sœurs, vous avez toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.

A toutes les personnes qui m'ont encouragé et ont pris la peine de me soutenir durant cette année, en particulier ma tante, dont je n'oublierai jamais la grâce, Amina.

MERCI beaucoup du fond du coeur.

Lemia

ملخص:

يعد الجفاف الملحي أحد الضغوط البيئية غير الحيوية التي تؤثر على إنتاج النباتات المزروعة في جميع أنحاء العالم. في هذا السياق، ركزت دراستنا على التفاعلات الفسيولوجية والمورفولوجية لنبات القرطم (سلالة جيل) في مواجهة هذا الضغط، باستخدام تراكيز 100 ملي مولار، 150 ملي مولار و 250 ملي مولار من NaCl. وكان هدف آخر لهذه الدراسة تقييم تأثير إضافة مستخلص كيميائي (حمض الساليسيليك) ومستخلص بيوكيميائي (مستخلص الفستق) على استجابة النباتات التي تم اختبارها. أظهرت النتائج أن نسبة الجفاف الملحي تؤثر سلباً على انبات البذور وتطور النباتات فيما بعد، خاصةً عند تركيز 250 ملي مولار. ومع ذلك، تصرف المستخلصات المضافة كمنشطات حيوية، مما يخفف من التأثير السلبي للجفاف الملحي. في النهاية، تبين أن الكرتام يظهر بعض التحمل للجفاف الملحي، وأن استخدام المنشطات الحيوية يعزز بشكل كبير هذا الاستجابة.

كلمات مفتاحية: القرطم، ضغط ملحي، نمو، مستخلص الفستق، حمض الساليسيليك.

Abstract:

Salinity is one of the abiotic stresses that affect the production of cultivated plants worldwide. In this regard, our study focused on the physiological et morphological responses of safflower plants (Gila variety) to this stress, using concentrations of 100 mM, 150 mM, et 250 mM of NaCl. Another objective of this study was to evaluate the effect of adding a chemical extract (salicylic acid) et a biochemical extract (pistachio extract) on the response of the tested plants. The results revealed that the salinity percentage negatively impacted seed germination et subsequent plant development, particularly at a concentration of 250 mM. However, the added extracts acted as biostimulants, mitigating the negative effect of salinity. Ultimately, it was found that safflower exhibited some tolerance to salinity, et the use of biostimulants greatly enhanced this response.

Keywords: Safflower, salinity stress, growth, pistachio extract, salicylic acid..

Résumé

La salinité est l'un des stressés abiotiques qui affectent la production des plantes cultivées dans le monde. A cet effet, notre étude s'est focalisée sur les réactions physiologiques et morphologiques de la plante de carthame (variété Gila) face à ce stress, en utilisant des concentrations de 100 mM, 150 mM et 250 mM de NaCl. Un autre objectif de cette étude était d'évaluer l'effet de l'ajout d'un extrait chimique (acide salicylique) et d'un extrait biochimique (extrait de pistachier) sur la réponse des plantes testées. Les résultats ont révélé que le pourcentage de salinité a un impact négatif sur la germination des graines et le développement ultérieur des plantes notamment à une concentration de 250 mM. Cependant, les extraits ajoutés ont agi comme des biostimulants, atténuant ainsi l'effet négatif de la salinité. Finalement, il s'est avéré que le carthame a manifesté une certaine tolérance à la salinité, et l'utilisation de biostimulants a considérablement renforcé cette réponse

Mots clés : Carthame, stress salin, croissance, extrait de pistachier, acide salicylique.

Table des matières



Remerciements	III
Dédicaces	IV
Table des matières	VI
Table des figures.....	IX
Liste des tableaux	X
Introduction générale.....	1
Introduction	2
1 Généralité de carthame	4
1.1 Définition.....	5
1.2 Origine et répartition géographique.....	6
1.3 Diversité génétique de carthame	6
1.4 La classification.....	7
1.5 Utilisation de carthame	7
1.6 Description botanique.....	10
2 Généralités sur la salinité.....	12
2.1 Salinité.....	13
2.1.1 Définition de salinité	13
2.1.2 Type de salinité	13
2.1.2.1 salinité primaire/naturelle :.....	13
2.1.2.2 salinité secondaire/terre sèche :.....	14

2.1.2.3	salinité tertiaire/irriguée :	14
2.1.2.4	Salinité industrielle :	14
2.1.2.5	Stress abiotique :	14
2.2	Stress saline	15
2.2.1	Notion de stress	15
2.2.2	Types de stress.....	15
2.2.2.1	Stress biotique	15
2.2.2.2	Stress abiotique.....	16
2.2.3	Définition de stress saline.....	16
2.2.4	Effets du stress salin sur les plantes	16
2.2.5	Effet du stress salin sur la morphologie de la plante.....	17
2.2.6	Effet du stress salin sur la physiologie de la plante.....	18
2.2.7	Effet du stress salin sur la photosynthèse de la plante.....	18
2.2.8	Tolérance de la plante à la contrainte stress salin.....	18
1	La germination et les biostimulants	20
1.1	Définition.....	21
1.2	Types de germination	22
1.2.1	La germination hypogée (Hypogeeal Germination)	22
1.2.2	La germination épigée (Epigeal Germination)	22
1.2.3	La viviparie (Viviparous Germination).....	22
1.3	Condition de germination	23
1.4	Biostimulant	24
1.4.1	Définition.....	24
1.4.2	Acide salicylic	24
1.4.2.1	Définition.....	24
1.4.2.2	Rôle de l'acide salicylique (AS).....	25
1.4.3	Pistachier lentisque.....	25
1.4.3.1	Définition.....	25
	Matériels et méthodes	27
1.5	Matériels et méthodes	28
1.5.1	Effet de stress salin sur la germination des graines de carthame	28
1.5.2	Paramètres étudiés	31
1.5.2.1	Longueur racinaire et la longueur de coléoptile	31
1.5.2.2	Dosage des sucres solubles.....	31

1.5.3	Conduite de l'expérimentation sous serre	32
2	Résultats et interprétations	35
2.1	Résultats des paramètres retenus sous serre	36
2.1.1	Nombre total des feuilles.....	36
3	Tableau 02 : l'analyse statistique du nombre total de feuilles	36
3.1.1	Nombre des feuilles flétries.....	37
4	Tableau 03 : L'analyse de la variance des résultats du nombre de feuilles flétries.....	37
4.1.1	Teneur en chlorophylle.....	38
4.1.2	Hauteur de la plante.....	40
4.2	Résultats des paramètres retenus au laboratoire	42
4.2.1	Longueur de la racine	42
5.1.1	Longueur du coléoptile.....	43
5.1.2	Dosage des sucres solubles.....	44
6	Discussion	46
	Conclusion générale	50
	Conclusion.....	51
	Bibliographie.....	52
	Acronymes.....	63

Table des figures



Figure 01 : exemples des produits de carthame	8
Figure 03 : Molécule de sel de modèle de chimie chlorure de sodium diatomique NaCl	13
Figure 05 : stress abiotiques/biotiques	15
Figure 06 : Effets délétères liés à la toxicité du stress salin et réponse cellulaire.....	17
Figure 07 : Modèle de chimie de l'acide salicylique.	25
Figure 08 : L'extrait de pistache de Lentisque (SIYOUCEF, Labou, 2023)	29
Figure 09 : Répartition des boîtes de pétri dans l'étuve.(SIYOUCEF, LEBBOUKH,2023)	30
Figure 11 : Disposition des grains de Carthame (Gila) dans la boîte de pétri à la solution de NaCl . (SIYOUCEF, LEBBOUKH, 2023)	31
Figure 13 : Dosage des sucres solubles (SIYOUCEF , LEBBOUKH,2023).....	32
Figure 14 : les plantes après 21 jours (SIYOUCEF , LEBBOUKH, 2023)	34
Figure 15 : chlorophylle mètre (SIYOUCEF , LEBBOUKH, 2023)	34
Figure 16 : Variation du nombre total de feuilles de la plante de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).....	37
Figure 17 : Variation du nombre de feuilles flétries de la plante de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).....	38
Figure 18 : Variation de la teneur en chlorophylle (SPAD) de la plante de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).....	40
Figure 19 : Variation de la hauteur de la plante de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).....	41
Figure 20 : Variation de la longueur de radicule des graines de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).	43
Figure 21 : Variation de la longueur de coléoptile des graines de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).....	44
Figure 22 : Variation du taux des sucres solubles (mg/100g de MF) des graines de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).	45

Liste des tableaux

Tableau.1. Les caractéristiques du carthame des différentes régions géographiques (Dajue, 1996).....	7
Tableau 02 : l'analyse statistique du nombre total de feuilles.....	36
Tableau 03 : L'analyse de la variance des résultats du nombre de feuilles flétries	37
Tableau 04 : l'analyse de variance de la teneur en chlorophylle.....	39
Tableau 05 : Analyse statistique de la hauteur de la plante de carthame	41
Tableau 06 : Analyse statistique de la longueur de ridicule des graines de carthame	42

Introduction générale



Introduction

Les plantes cultivées sont constamment exposées à des conditions environnementales qui peuvent impacter leur croissance, leur développement et leur production. Les stress abiotiques sont des contraintes environnementales non-biologiques qui peuvent affecter la croissance, le développement et la production des plantes cultivées (Kopecká, et al., 2023). Parmi ces stress, on peut citer le stress salin, la sécheresse, les températures extrêmes, les radiations, les sols pauvres en nutriments, les inondations, les vents forts, les variations de pH, etc. Le stress salin est considéré comme l'un des plus importants stress abiotiques affectant les plantes cultivées dans les zones arides et semi-arides du monde. Le stress salin se caractérise par une augmentation de la concentration en sels minéraux dans le sol, ce qui peut avoir des effets négatifs sur les plantes en perturbant leur équilibre hydrique, en altérant leur métabolisme et en affectant leur capacité à absorber les nutriments (Acosta-Motos, et al., 2018; Ahanger, 2017).

Le carthame est une plante oléagineuse originaire du Moyen-Orient, également connue sous le nom de "safran bâtard" en raison de sa couleur rouge orangé similaire à celle du safran. Cette plante annuelle peut atteindre une hauteur d'environ 1,5 mètre et est cultivée principalement pour ses graines qui sont riches en huile. L'huile de carthame est utilisée dans l'alimentation humaine, la fabrication de produits cosmétiques et pharmaceutiques, ainsi que pour la production de biocarburants (Zemour et al., 2021 ; Roche et al., 2019). Le carthame est également utilisé comme plante fourragère pour le bétail (Zemour et al., 2021). Le carthame est une culture résistante à la sécheresse et qui peut tolérer des sols pauvres en nutriments, ce qui en fait une culture prometteuse pour les régions arides et semi-arides (Zemour et al., 2021).

Cette plante est connue pour sa tolérance à la sécheresse et aux sols pauvres en nutriments, mais il a également été étudié pour sa capacité à tolérer le stress salin. Des études ont montré que le carthame peut survivre et produire des graines sous des conditions de stress salin modéré à élevé. Cela est dû en partie à sa capacité à réguler l'absorption et l'utilisation des ions sodium et potassium dans les racines, ainsi qu'à la production de composés antioxydants qui protègent les cellules des dommages oxydatifs causés par le stress salin. Des études ont également montré que la tolérance au stress salin chez le carthame peut être améliorée par la sélection de variétés génétiquement adaptées au stress, ainsi que par l'utilisation de pratiques agronomiques telles que l'irrigation avec de l'eau de qualité supérieure, l'application de compost et la culture en association avec des légumineuses fixatrices d'azote (Zemour, 2022). Le carthame présente donc un potentiel intéressant pour la production dans les zones arides et semi-arides soumises à des conditions de stress salin. Néanmoins, l'étude des effets des stress abiotiques sur les plantes

cultivées est cruciale pour comprendre comment les plantes réagissent aux contraintes environnementales et comment leur résilience peut être améliorée pour maintenir une production agricole durable.

Récemment, les biostimulants ont suscité un regain d'intérêt dans le domaine agricole. Ils sont destinés à améliorer la croissance, la qualité et la productivité des cultures. Ils sont composés de substances naturelles telles que des extraits d'algues, des acides aminés, des enzymes, des hormones végétales, des microorganismes, des polysaccharides, des protéines et des vitamines. Les biostimulants agissent en améliorant la capacité des plantes à absorber les nutriments, en stimulant la croissance des racines et des tiges, en renforçant la résistance aux stress biotiques et abiotiques, en améliorant la qualité et le rendement des cultures et en augmentant la teneur en nutriments et en phytohormones dans les fruits et légumes (Del Buono, 2023; Bulgari, 2019; Rouphael, 2020). Les biostimulants sont considérés comme une alternative respectueuse de l'environnement aux produits chimiques de synthèse utilisés en agriculture conventionnelle, car ils sont dégradables et ne laissent pas de résidus toxiques dans le sol et l'eau.

L'objectif de notre étude est de mieux comprendre l'effet du stress salin sur le comportement morphologique et physiologique du carthame, à la fois au stade de la germination et à des stades de développement plus avancés. Nous examinerons également comment l'application de biostimulants tels que l'acide salicylique et l'extrait de pistachier lentisque pourrait être considérée comme une alternative pour aider les plantes à mieux tolérer les stress abiotiques.

Généralité de carthame



Parmi les cultures de graines oléagineuses, le carthame (de la famille des *Carthamus tinctorius* de la famille des Astéracées) est utilisé depuis longtemps dans les conditions pluvieuses pour produire de l'huile, considérée comme son produit le plus important. Actuellement, il est évalué pour ses compétences agricoles en chimie biologique dans un environnement moins humide et plus chaud. Pour cela, nous allons avoir un aperçu général du carthame ainsi que des variétés et des pays producteurs importants.

1.1 Définition

Le carthame (*Carthamus tinctorius* L.) appartient à la famille des Asteraceae , c'est une plante herbacée dressée, très ramifiée, à racine pivotante profonde. Les feuilles sont alternées, sessiles, disposées en spirale et épineuses. Les fleurs tubulaires (fleurons) sont bisexuées et sont regroupées en inflorescences terminales jaunes ou rouge orangé. La plante est généralement autogame. Les graines apparaissent 20 à 30 jours après la floraison (Tremblin, 2022).

La plante atteint 30 à 150 cm de haut suivant les variétés et le climat, avec une tige solide qui rend le carthame insensible à la verse. Il est une culture mineure originaire du Moyen-Orient et d'une partie de l'Afrique, mais la Méditerranée a la principale zone de production . Il était cultivé dans la région du croissant il y a près de 4000 ans .

Carthamus est dérivé du mot arabe 'quartum ou gurtum' qui fait référence à la couleur des pétales de la fleur. Dans certains pays asiens comme l'Inde, cette espèce est appelée Kardai en marathi ou Kusum. Le modèle ramifié du carthame est secondaire et tertiaire se terminant chacun en capitule. Les graines sont appelées akènes qui sont généralement blanches, brillantes et pèsent jusqu'à 0,1g. Concernant son genre sauvage, on compte à peu près 25 espèces. Néanmoins, parmi les espèces de *carthamus*, seul le carthame (*Carthamus tinctorius* L.) est cultivé dans le monde entier contenant 12 paires de chromosomes.

Divers centres de diversité ont été proposés de l'Extrême-Orient à l'Europe . L'Inde est le plus gret producteur de fleurs de carthame (68%) au monde avec la superficie la plus élevée (60%) et la production est principalement destinée au marché intérieur de l'huile végétale . En 1960, le carthame a été introduit au Pakistan (principalement en Sindh et Baloutchistan) comme culture oléagineuse (Shaki, 2018).

1.2 Origine et répartition géographique

Carthamus tinctorius est connu comme un type d'animal développé, et est probablement local au Proche-Orient. Les centres de diversité sont l'Afghanistan, l'Ethiopie et l'Inde. *Carthamus tinctorius* a été domestiqué depuis les temps anciens, initialement pour la couleur orange donnée par ses fleurs. Il a été répertorié en Égypte en 2000 avant JC. En Chine, il a été développé pour la première fois sérieusement pour sa couleur, en particulier le long de la Route de l'eau de Yangtze et dans le Sichuan. De la Chine, le carthame était familier au Japon, où il est devenu une source importante d'huile culinaire. Du Proche à l'Orient, la récolte s'est étendue vers l'Ouest en Europe et en Amérique. Le Soudan, l'Ethiopie, le Kenya et la Tanzanie sont les principaux producteurs en Afrique tropicale (L.P.A. Oyen, 2021)

1.3 Diversité génétique de carthame

C'est une plante dont la morphologie et la taille et la couleur varient de 30 cm varie selon les conditions géoclimatiques.

Région géographique	Hauteur	Ramification	Présences des épines	Taille du capitule	Couleur de la fleur
Xtrême-Orient	Longue	Intermédiaire	Avec et Sans épines	Intermédiaire	R
Inde- Pakistan	Petite	Beaucoup	Sans épines	Intermédiaire et Petite	O , B , R
Moyen Orient	Petite	Peu	Avec et Sans épines	Intermédiaire et large	R , O , J , B
Egypte	Intermédiaire	Peu	Avec et Sans épines	Intermédiaire et large	R , O , J , B
Soudan	Petite et Intermédiaire	Intermédiaire	Sans épines	Intermédiaire et Petite	J , O

Ethiopie	Petite	Beaucoup	Sans épines	Petite	R
Europe	Intermédiaire	Intermédiaire	Avec et Sans épines	Intermédiaire	R , O , J , B

Abbreviations: R = Rouge , O = Orange , J = Jaune , B = Blanche

Tableau.1. Les caractéristiques du carthame des différentes régions géographiques (Dajue, 1996)

1.4 La classification

Le genre *carthamus* compte près de 25 espèces et sous-espèces dont *Carthamus tinctorius* L représente sa forme cultivée. Selon Yesilyurt (2020), la position taxonomique de *Carthamus tinctorius* L. est comme suit :

Règne : Tracheobionta

Embranchement : Spermatophyta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Astéridés

Ordre : Asterales

Famille : Astéracées

Genre : *Carthamus* L.

Espèce : *Carthamus tinctorius* L.

1.5 Utilisation de carthame

Le Carthame, également connu sous le nom de faux safran en raison de la similitude de couleur de ses pistils avec ceux du safran, est une plante à fleurs qui possède des propriétés tinctoriales et oléagineuses. L'huile fluide obtenue à partir de ses graines pressées à froid présente une couleur jaune et une odeur caractéristique, offrant des propriétés spécifiques. Riche en oméga 6 mais également en vitamines E et K, l'huile de carthame est idéale pour les peaux

mâtures, les peaux irritées, couperosées, ayant tendance aux rougeurs mais également en ingestion pour ses bienfaits nutritionnels.

La plante de carthame est considérée comme une culture industrielle largement utilisée dans les secteurs alimentaire, cosmétique et médical. C'est une plante économiquement importante et commerciale, ce qui suscite un gret intérêt de la part des investisseurs agricoles du monde entier qui cherchent à investir annuellement dans sa culture. Le carthame trouve de nombreuses utilisations dans différents domaines, notamment la peinture sur tissu et les colorants alimentaires, qui tirent principalement avantage des pétales de carthame. Il est riche en vitamine A et en fer, ce qui en fait un ingrédient prisé dans diverses préparations, y compris les salades. À l'échelle mondiale, le carthame est cultivé sur une superficie totale de 611 436 hectares, avec un rendement de 615 214 tonnes (Shinwari, 2014).

Le carthame renferme des composés tels que des flavonoïdes, des lignines et des alcools triterpéniques. Ses graines contiennent principalement des triglycérides d'acide linoléique, un acide gras polyinsaturé, qui représente environ 70% de la composition, ainsi que de l'acide linoléique, un acide gras triple insaturé, qui constitue environ 10%. L'huile de carthame est réputée pour sa teneur élevée en vitamine E, mesurée à 310 ppm, un paramètre utilisé par les nutritionnistes pour évaluer la qualité de l'huile de carthame. De plus, l'indice d'iode de cette huile est plutôt élevé, se situant entre 140 et 150 (El-Barnaoui, 2009).



Figure 01 : exemples des produits de carthame

Le carthame revêt une importance significative en raison de ses huiles extraites de ses graines, ainsi que de ses huiles essentielles obtenues à partir de la plante elle-même (Zemour et al., 2021). Ces huiles offrent un avantage économique par rapport aux huiles de soja, de colza et de tournesol, qui nécessitent une irrigation et un entretien coûteux pour leur culture. Cependant, la teneur et les caractéristiques physico-chimiques de ces huiles sont gretement influencées par les conditions climatiques et la variabilité génétique (Zemour, 2022). Ainsi, le changement climatique et la croissance démographique imposeront la nécessité d'exploiter d'autres espèces pour pallier le déficit de production d'huile. Cette exploration est une priorité pour les scientifiques et les producteurs, qui cherchent à introduire des espèces alternatives capables de tolérer les stress abiotiques dans différentes régions du monde. Parmi celles-ci, la culture de carthame, une plante de la famille des Astéracées, présente des caractéristiques agro-biochimiques appréciables et pourrait devenir une culture oléagineuse stratégique grâce à la qualité de son huile alimentaire et à son adaptation aux conditions environnementales limitantes. Une autre particularité de carthame se justifie aussi par l'utilisation de ses sous-produits (tourteau, feuilles, fleurs) dans différents domaines (Zemour, 2022). Ces caractéristiques lui accordent un caractère d'être un anneau primordial dans tout programme de bio raffinage dont l'approche scientifique repose essentiellement sur l'utilisation de l'ensemble de l'entité verte avec zéro déchet.

C'est une entité économiquement viable et qui assure annuellement un bon revenu en commercialisant ses différents produits.

- ▶ L'huile de carthame joue un rôle essentiel dans la cuisine et est également utilisée dans les cosmétiques et les lubrifiants.
- ▶ Elle est utilisée comme colorant naturel dans les aliments et les cosmétiques (sous forme de carthamine) ainsi que dans les textiles à base de coton (carthamine et carthamine).
- ▶ L'huile de carthame est présente dans les peintures non jaunissantes, les alkydes, les émaux, les mastics et les mastications.
- ▶ Les tiges de carthame et leur farine sont utilisées comme alimentation pour le bétail. Le carthame aide à prévenir la salinisation des sols arides.
- ▶ Son utilisation a été associée à une réduction du taux de cholestérol sanguin.
- ▶ Les extraits de carthame contiennent des composés utilisés pour traiter certaines affections, notamment les saignements menstruels et les maladies cardiovasculaires.
- ▶ L'huile de carthame est recommandée pour réduire les gonflements dus à des traumatismes.
- ▶ Une huile comparable à l'huile d'olive, elle est stable à la chaleur et utilisée principalement comme huile de friture de haute qualité.
- ▶ C'est un excellent produit pour la préparation de crèmes et lotions cosmétiques.

1.6 Description botanique

Le carthame est une plante herbacée annuelle, dressée et très ramifiée, sans poils, qui peut atteindre une hauteur allant jusqu'à 180 cm. Elle possède un système racinaire bien développé de couleur gris brunâtre. Sa racine principale est épaisse et charnue, en forme de pivot, capable de s'enfoncer jusqu'à 3 mètres de profondeur. Elle présente également des racines latérales horizontales plus fines, principalement situées dans les 30 premiers centimètres du sol. La tige du carthame est cylindrique, solide et présente une moelle tendre. Près de la base, elle devient ligneuse et présente des rainures, avec une couleur qui tend vers le blanc verdâtre (L.P.A. Oyen, 2021).

Les feuilles de cette plante sont disposées en spirale, sessiles et simples avec un limbe ovale-lancéolé, mesurant de 4 à 20 cm de longueur et de 1 à 5 cm de largeur (L.P.A. Oyen, 2021).

L'inflorescence du carthame se présente sous la forme d'un capitule terminal, en forme urcéolé, avec un diamètre de 2,5 à 4 cm. Les bractées involucreales sont nombreuses et disposées en spirale. Les bractées extérieures sont oblongues, rétrécies vers le haut, mesurant de 3 à 7 cm de longueur et de 0,5 à 1,6 cm de largeur. Elles sont poilues à l'extérieur, de couleur vert pâle, avec une partie supérieure foliacée et épineuse. Les bractées intérieures, quant à elles, sont lancéolées, mesurant de 2 à 2,5 cm de longueur et de 1 à 4 mm de largeur, avec une pointe épineuse. Le réceptacle de l'inflorescence est plat à conique, et il est orné de nombreuses soies blanchâtres mesurant de 1 à 2 cm de longueur. Il porte entre 20 et 80 fleurs bisexuées, ainsi que quelques fleurs stériles marginales (L.P.A. Oyen, 2021).

Les fleurs sont tubulées, sessiles, régulières, glabres à symétrie actinomorphe, composées de cinq parties, mesurant environ 4 cm de longueur. Dans la plupart du temps elle sont de couleur rouge orangé devenant rouge foncé pendant la floraison, parfois jaunes. La corolle présente un tube mesurant de 18 à 22 mm de longueur et des lobes étalés, étroitement oblongs à linéaires, mesurant 7 mm de longueur et 1 mm de largeur. Les étamines ont des filets mesurant de 1 à 2 mm de longueur et des anthères fusionnées mesurant environ 5 mm de longueur ; l'ovaire est infère, ellipsoïde, mesurant de 3,5 à 4,5 mm de longueur, avec une seule loge. Son style est mince, mesurant environ 30 mm de longueur, glabre. Alors que le stigmate est bifide, jaune, mesurant environ 5 mm de longueur, avec de courts poils (L.P.A. Oyen, 2021).

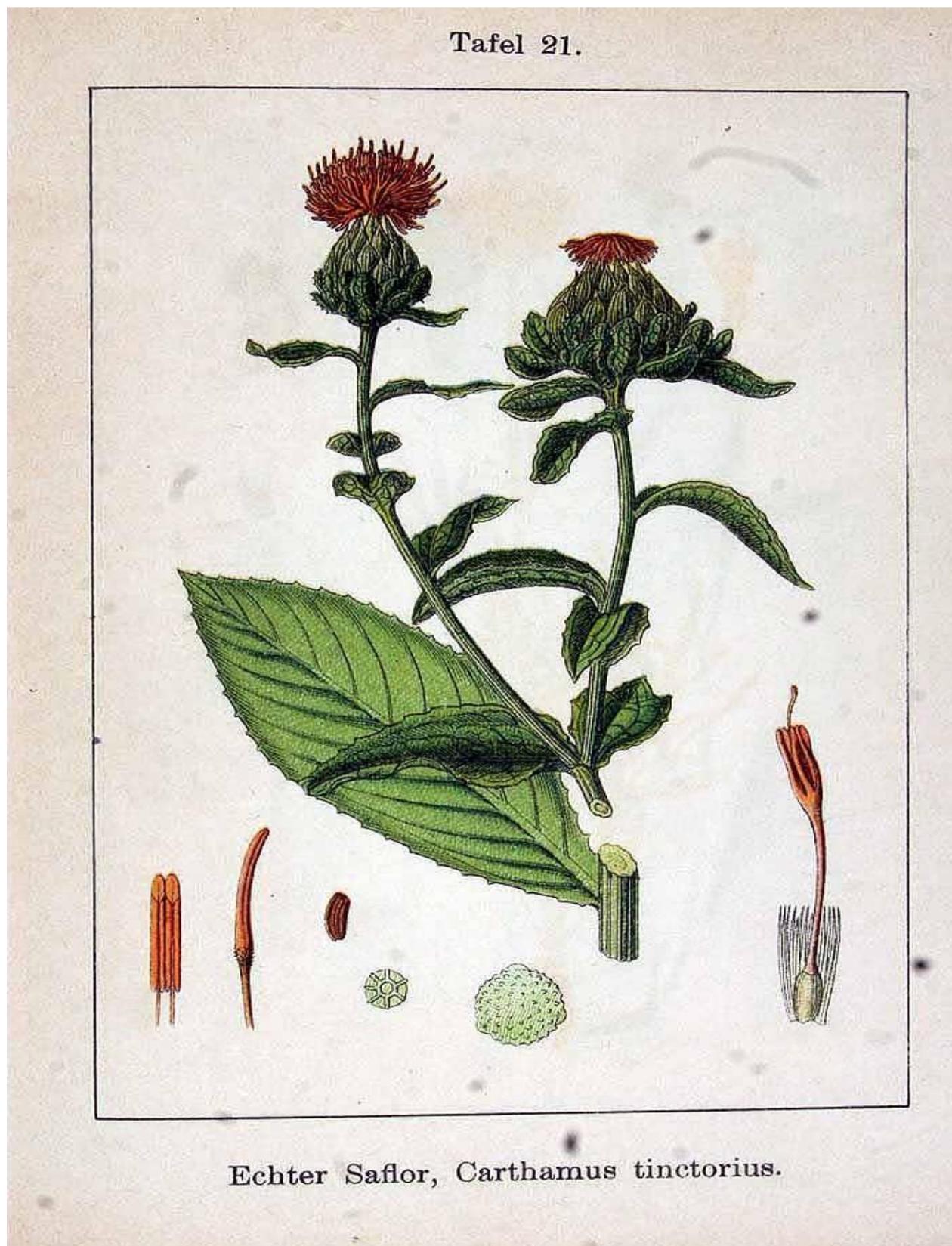


Figure 02 : Illustration de la plante de carthame et de ses composants

Généralités sur la salinité



Généralité sur la salinité :

Le carthame est renommé pour ses propriétés antimicrobiennes et anti-inflammatoires (Karray-Bouraoui, 2011; Salem, 2014). Les graines de cette plante suscitent un intérêt croissant de l'industrie de la trituration. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre son comportement dans les conditions spécifiques de l'Algérie. En effet, la salinité des sols et des eaux d'irrigation constitue l'une des contraintes environnementales majeures qui peuvent entraver l'introduction de cette nouvelle culture.

2.1 Salinité

2.1.1 Définition de salinité

La salinité est la quantité de sels dissous présents dans l'eau. Elle est le plus souvent une mesure du chlorure de sodium (NaCl; sel commun) (Ambulkar, 2023). Le magnésium, le sulfate, le calcium et d'autres ions en petites concentrations contribuent également à la salinité (Corrosionpedia, 2017). La salinité affecte la chimie, la biologie et les propriétés physiques de l'eau et elle peut être mesurée en grammes de sel par litre ou kilogramme d'eau .

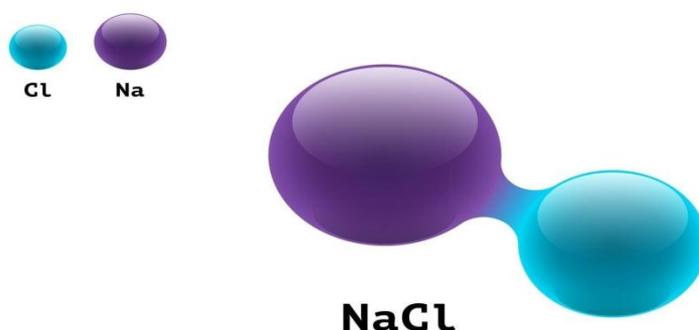


Figure 03 : Molécule de sel de modèle de chimie chlorure de sodium diatomique NaCl .

2.1.2 Type de salinité

La salinité est souvent classée dans différentes catégories telles que la salinité des terres arides, la salinité d'irrigation, la salinité urbaine et la salinité industrielle.

2.1.2.1 Salinité primaire/naturelle :

Elle est le résultat de la dissolution des minéraux du substratum rocheux ou de l'accumulation de sels provenant des précipitations accumulées au fil du temps allant de milliers à des millions d'années (Gopal, 2019).

2.1.2.2 Salinité secondaire/terre sèche :

Elle résulte de l'accumulation de sels sur la surface en raison de l'augmentation des niveaux d'eau et ces sels sont percolés dans les zones à fortes précipitations, mais ils restent à la surface dans les zones arides et semi-arides (Shravani, 2018).

2.1.2.3 Salinité tertiaire/irriguée :

Elle est le produit d'un certain nombre d'irrigations d'eau où les sels restent après évaporation et s'accumulent avec le temps (Shravani, 2018).

2.1.2.4 Salinité industrielle :

La salinité industrielle est le résultat de processus qui entraînent l'accumulation et la concentration de sel dans les eaux usées des industries. Les sources de sel comprennent les rejets urbains, les produits chimiques agricoles et les eaux usées provenant des mines et des centrales électriques. Lorsque cette eau salée est rejetée ou s'écoule de manière inappropriée dans les cours d'eau ou les nappes phréatiques, elle peut devenir une source de pollution. Ces sources sont généralement surveillées afin de prendre des mesures appropriées et opportunes pour minimiser leurs effets néfastes (Shravani, 2018).

2.1.2.5 Stress abiotique :

Les stress environnementaux ou (abiotiques), tels que la sécheresse, la salinité et les températures extrêmes, sont des conditions affectant la croissance et la productivité des plantes (Zemour, 2022).

Contrairement aux animaux, qui peuvent se déplacer lorsque les conditions de vie ne leur sont pas favorables, les plantes ont développé des stratégies pour s'adapter aux variables environnementales en contrôlant et en modifiant leurs systèmes métaboliques.

Les plantes peuvent éviter les effets du stress en réalisant leur croissance pendant des périodes de moindre stress, ou en résistant grâce à des mécanismes de tolérance (Figure 4).

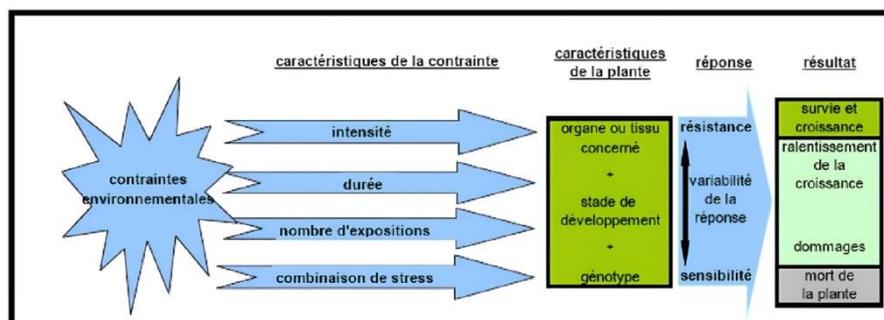


Figure 04 : La réponse de la plante à un contrainte environnemental (Bray, 2000)

2.2 Stress salin

2.2.1 Notion de stress

Selon Claude Bernard (1868), les réponses induites par le stress sont conçues pour maintenir l'homéostasie de notre organisme. Toutes ces réactions internes ont été nommées homéostasie par les physiologistes américains. La combinaison de ces trois concepts stress-homéostasie-adaptation constitue une approche biologique du stress et permet notamment de rendre compte des effets du stress qui, appliqués dans certaines limites, permettent l'adaptation à l'environnement et donc le maintien de la vie.

2.2.2 Types de stress

Il existe deux types de stress sur les plantes qui sont des stress abiotiques et ceux biotiques.

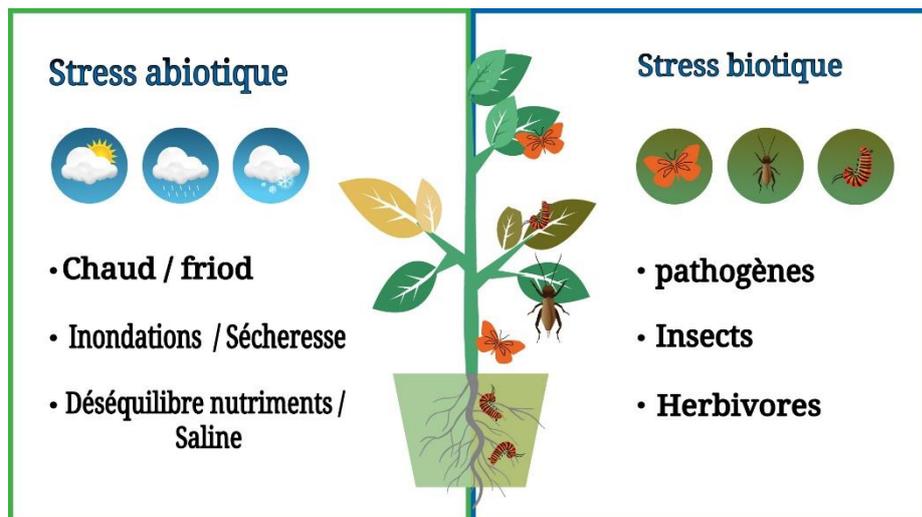


Figure 05 : stress abiotiques/biotiques

2.2.2.1 Stress biotique

Les stress biotiques se réfèrent aux effets néfastes causés par les organismes vivants. Dans le contexte de la production agricole, cela englobe généralement les dommages causés par les insectes, les nématodes parasites des plantes, les maladies et les mauvaises herbes. Ainsi, les plantes sont soumises à des stress biotiques provoqués par divers organismes vivants tels que les virus, les bactéries, les champignons, les nématodes, les insectes, les arachnides et les mauvaises herbes (Liu, 2016).

2.2.2.2 Stress abiotique

Le stress abiotique est défini comme l'impact négatif des facteurs non vivants sur les organismes vivants dans un environnement spécifique. Les stress comprennent la sécheresse, la salinité, les températures basses ou élevées et d'autres extrêmes environnementaux. Les stress abiotiques, en particulier l'hypersalinité et la sécheresse, sont les principales causes de perte de récoltes dans le monde (Altman, 2011 ; Chouhim et *al.*, 2021).

2.2.3 Définition du stress salin

La salinité se réfère à la concentration de sels minéraux dissous présents dans les sols (solution du sol) et les eaux. Les sels minéraux dissous sont composés d'électrolytes comprenant des cations et des anions. Dans les sols salins, les principaux cations dans la solution saline du sol sont le Na^+ , Ca^{++} , Mg^+ et K , tandis que les principaux anions comprennent le Cl^- , SO_4 , HCO_3 , CO_3 et NO_3 . D'autres éléments contribuant à la salinité des sols et des eaux hypersalines incluent le B , Sr^{2+} , SiO_2 , Mo , Ba^{2+} et Al^{3+} . En fonction de la concentration de sel, la salinité peut avoir un effet stimulant sur la croissance et le développement des plantes, comme démontré par (Asloun, 1990). À de très faibles niveaux de NaSO_4 , NaCl , MgSO_4 et NaCO_3 , la salinité peut présenter des effets bénéfiques sur la germination et la croissance de certaines espèces.

2.2.4 Effets du stress salin sur les plantes

La salinité diminue non seulement la production agricole de la plupart des cultures, mais aussi, en raison de son effet sur les propriétés physico-chimiques du sol, affecte négativement l'équilibre écologique associé de la région.

La salinité dans le sol ou dans l'eau est causée par un excès de sel. Habituellement, des niveaux élevés de Na^+ et de Cl^- provoquent un stress salin. Le stress salin a un triple effet : il abaisse le potentiel hydrique, provoque un déséquilibre ionique ou une perturbation de l'homéostasie ionique et provoque une toxicité ionique. Ce régime hydrique modifié entraîne une croissance réduite et des limitations de la productivité des plantes.

Le stress salin se compose de trois catégories les quels :

Le stress oxydatif rencontré lors du stress salin doit être géré au niveau cellulaire et de maintien des mécanismes de sécurité et de réparation des dommages.

La réponse au stress osmotique permet de maintenir l'homéostasie de l'eau et de maintenir une biosynthèse de solutés compatibles et l'implication des aquaporines (canaux d'eau).

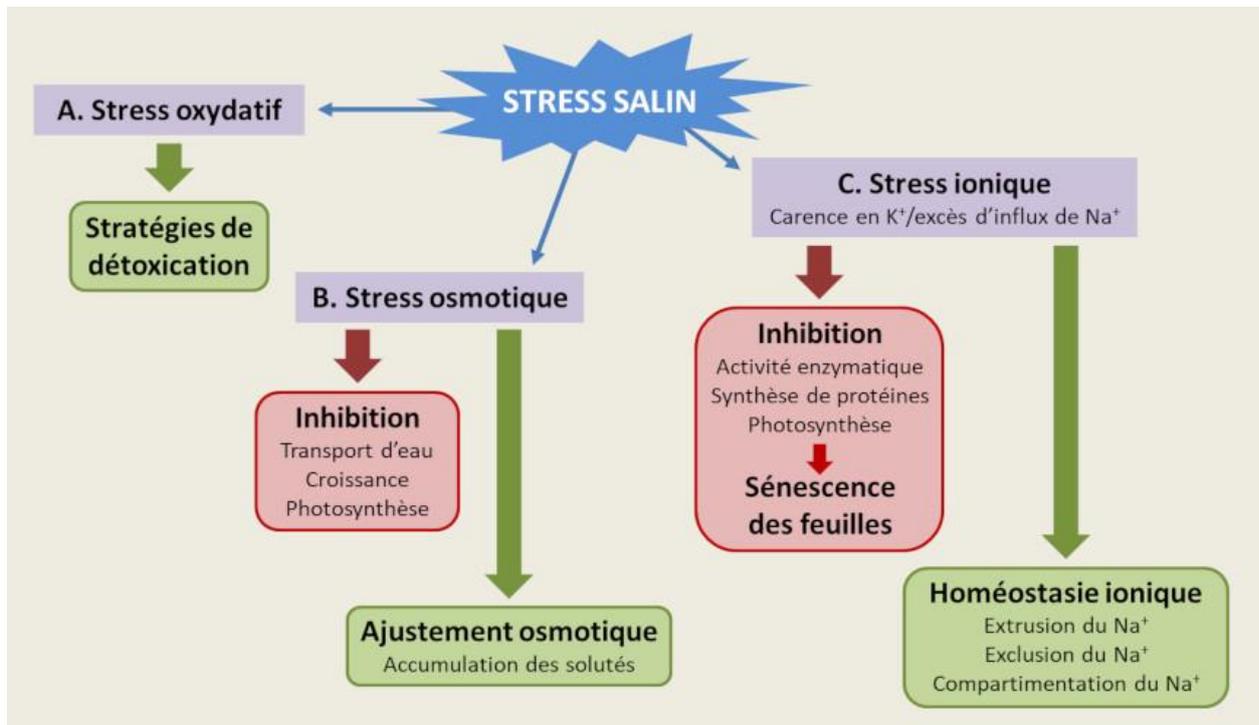


Figure 06 : Effets délétères liés à la toxicité du stress salin et réponse cellulaire.

Voici quelques-uns des effets néfastes de la salinité :

- ▶ Faible production agricole
- ▶ Faibles rendements économiques en raison du coût élevé de la culture, de la remise en état gestion, etc.
- ▶ Érosion des sols due à la forte dispersibilité du sol
- ▶ Déséquilibre écologique dû à un changement de la couverture végétale des glycophytes aux halophytes et des formes de vie marine de l'eau douce à l'eau saumâtre Mauvaise santé humaine due à l'effet toxique d'éléments tels que B, F et Se. %6
- ▶ Les effets de la salinité (à l'exception des effets toxiques causés par les ions Na^+ et Cl^-) sont très proches de ceux de la sécheresse ; cela se traduit par des adaptations des plantes visant à réduire les pertes en eau et à maintenir leurs fonctions vitales.%
- ▶ le sel entraîne une réduction du poids de matière fraîche de la partie aérienne par rapport au témoin pour les plantes irriguées respectivement par l'eau de puits (17,5%) et l'eau de drainage (34%).

2.2.5 Effet du stress salin sur la morphologie de la plante

Des concentrations élevées de différents ions de sel, principalement le sodium et le chlore, sont présents dans le sol, mais d'autres ions, tels que le potassium, calcium, carbonate, nitrate, sulfate, contribuent également à une diminution de l'absorption d'eau par les racines des plantes .

Les concentrations de certains ions, en particulier Na^+ sont maintenues dans un état faible par des vacuoles intracellulaires qui utilisent des pompes ioniques qui dépendent de l'ATP pour stocker ces ions (Kosová, 2011)

2.2.6 Effet du stress salin sur la physiologie de la plante

D'un point de vue physiologique, les effets néfastes de la salinité se traduisent par ces deux effets fondamentaux, à savoir :

- les effets osmotiques par l'effet du NaCl sur le potentiel hydrique, entraînant une diminution de la quantité d'eau disponible pour les plantes.
- Les effets minéraux en limitant l'absorption des nutriments, en particulier du potassium (K^+). En outre, des concentrations élevées de Na Cl dans le milieu peuvent réduire la teneur en chlorophylle (Shravani, 2018).

2.2.7 Effet du stress salin sur la photosynthèse de la plante

L'effet de la salinité sur la photosynthèse est démontré par la réduction de l'absorption du dioxyde de carbone et de la conductance stomatique. La réduction de la photosynthèse par la salinité est une cause majeure de faible croissance et productivité des plantes (Yin, 2020).

2.2.8 Tolérance de la plante à la contrainte stress salin

La caractérisation physiologique de la tolérance au sel chez les plantes découle des processus qui permettent à la plante d'absorber l'eau et le sel de substrats à faibles potentiels hydriques, mais aussi de tolérer la présence importante de sodium dans ses tissus ; c'est ce qui les rend halophytes (Guerrier, 1984).

Toutes les plantes ne réagissent pas de la même manière au stress salin. En fonction de la production de biomasse en présence de sel, les plantes ont été divisées en quatre types :

- ▶ Halophyte vraies
- ▶ Halophytes facultatives
- ▶ Non halophytes résistants
- ▶ Glycophytes ou halophobes

Il ya deux stratégies pour la tolérance de stress salin :

- limiter l'entrée de sodium au niveau des racines

- séquestrer le sodium au niveau des feuilles

Un nouveau mécanisme de tolérance au sel par la plante est de protéger de ses feuilles en réexportant le sodium des feuilles vers les racines via le flux de sève descendant, afin de rendre possible la réexcrétion dans le sol. Les chercheurs ont identifié le gène qui permet ce transport de sodium des feuilles vers les racines chez l'espèce modèle *Arabidopsis thaliana*. La modification de ce gène affecte fortement la résistance de la plante au sel. Il est donc raisonnable de penser que l'on peut renforcer cette résistance en augmentant l'expression de ce gène (Berthomieu, 2003).

La germination et les biostimulants



1.1 Définition

La germination commence par l'absorption d'eau par la graine (imbibition) et se termine par le début de l'élongation de l'axe embryonnaire, généralement la radicule. Elle comprend de nombreux événements, tels que l'hydratation des protéines, les changements structuraux subcellulaires, la respiration, les synthèses macromoléculaires et l'élongation cellulaire. Leur effet combiné est de transformer un embryon hydraté, au repos, avec un métabolisme à peine détectable, en un embryon doté d'un métabolisme vigoureux qui aboutit à la croissance (Bewley, 2013).

La germination, dans le sens strict du terme, ne comprend pas la croissance de la plantule, qui débute après la fin de la germination. Par conséquent, il n'est pas correct d'assimiler la germination à l'émergence de la plantule dans le sol, car la germination est déjà terminée depuis un certain temps avant que la plantule ne devienne visible. Les professionnels des tests de semences utilisent souvent le terme "germination" dans ce sens, car leur objectif est de contrôler l'établissement de plantes vigoureuses ayant une valeur agronomique. Les processus qui se déroulent dans la plantule nouvellement formée, tels que la mobilisation des réserves de stockage principales, ne font pas partie de la germination : ce sont des événements post-germinatifs (Bewley, 2013).

Une graine dans laquelle aucun des processus de germination n'a lieu est dite quiescente. Les graines quiescentes sont des organes au repos, qui ont généralement une faible teneur en eau (5-15 %) et dont l'activité métabolique est pratiquement à l'arrêt. Une propriété remarquable des graines est qu'elles sont capables de survivre dans cet état, souvent pendant de nombreuses années, et de reprendre ensuite un métabolisme normal et élevé. Pour qu'il y ait germination, il suffit généralement que les graines quiescentes soient hydratées dans des conditions qui favorisent le métabolisme, par exemple une température adéquate et la présence d'oxygène. Des éléments du processus de germination peuvent toutefois se produire dans une graine qui n'atteint pas l'émergence de la radicule (Bewley, 2013).

Même lorsque les conditions semblent favorables à la germination et que divers processus métaboliques tels que l'imbibition, la respiration, la synthèse des acides nucléiques et des protéines ont lieu, il y a absence d'élongation cellulaire, dont les raisons sont encore peu comprises. On qualifie une telle graine de "dormante". Les graines qui sont dispersées par la plante mère et qui contiennent déjà un obstacle à la complétion de la germination sont considérées comme étant en état de dormance primaire. Parfois, des obstacles à la germination se

développent dans des graines hydratées et mures, exposées à certaines conditions environnementales. Ces graines sont alors en état de dormance induite ou secondaire. Les graines dormantes peuvent être rendues aptes à la germination (c'est-à-dire que leur dormance est levée) par des traitements "d'amorçage", tels qu'une exposition à la lumière, une période de basse température ou des cycles de température alternée. Ces traitements éliminent le blocage de la germination, mais ne sont pas nécessaires pour la durée du processus de germination lui-même (Bewley, 2013).

1.2 Types de germination

Il existe principalement trois types de germination des graines : la germination hypogée [Hypogeal Germination], la germination épigée [Epigeal Germination] et la viviparie (germination vivipare) [Viviparous Germination].

1.2.1 La germination hypogée (Hypogeal Germination)

Dans ce type de germination, les cotylédons ne sortent pas de la surface du sol. L'épicotyle (l'axe embryonnaire entre plumule et cotylédons) s'allonge poussant la plumule hors du sol (Yudhana et al., 2019). Toutes les monocotylédones présentent germination hypogée. Parmi les dicotylédones, le pois, l'arachide sont des exemples courants de germination hypogée (Demilly et al., 2014).

1.2.2 La germination épigée (Epigeal Germination)

Dans les graines à germination épigée, les cotylédons sont amenés au-dessus du sol en raison de l'élongation du hypocotyle (Yudhana et al., 2019).

1.2.3 La viviparie (Viviparous Germination)

La viviparité chez les plantes, également appelée germination pré-récolte est un phénomène caractérisé par l'absence de dormance, suivi de la germination des graines à l'intérieur du fruit tout en restant attachées à la plante mère. La germination des graines vivipares se produit généralement avant que le fruit ne soit complètement desséché, alors qu'elles sont encore sur la plante mère. En revanche, les graines orthodoxes ne germent généralement pas à l'intérieur des fruits, même à pleine maturité. En effet, les graines orthodoxes subissent une période de quiescence métabolique avant la germination (N'Gaza et al., 2019).

1.3 Condition de germination

La germination est le processus par lequel une graine se développe en une jeune plante. Pour qu'une graine germe avec succès, elle a besoin des bonnes conditions, y compris une température, une humidité et des nutriments appropriés, toutes les graines n'ont pas besoin des mêmes conditions de germination.

Les différentes conditions de germination requises pour une croissance réussie des plantes et les ressources nécessaires pour les fournir comme ci-dessous :

- ▶ **Humidité** : Les graines ont besoin d'un certain niveau d'humidité pour commencer à germer. Cependant, trop d'humidité peut entraîner la croissance de champignons et d'autres agents pathogènes qui peuvent endommager ou tuer les graines. Généralement, un niveau d'humidité d'environ 20 à 30 % est optimal pour la plupart des graines (Bewley, 2013; Ellis, 2006).
- ▶ **Température** : La température joue un rôle essentiel dans la germination des graines. La plupart des graines nécessitent une certaine plage de températures pour commencer à germer, généralement entre 15 et 30 °C (59 et 86 °F). Cependant, certaines espèces peuvent avoir des exigences de température spécifiques qui se situent en dehors de cette plage (Bewley, 2013; Ellis, 2006).
- ▶ **Lumière** : Certaines graines nécessitent une exposition à la lumière pour germer, tandis que d'autres nécessitent l'obscurité. Par exemple, les graines de laitue ont besoin de lumière pour germer, contrairement aux graines de tomates (Bewley, 2013; Foreman, 2006).
- ▶ **Oxygène**: Les graines en germination ont besoin d'oxygène pour effectuer la respiration cellulaire, qui fournit de l'énergie pour la croissance. Une bonne aération du sol ou du milieu de culture est essentielle pour fournir suffisamment d'oxygène aux graines en germination (Bewley, 2013; Ellis, 2006).
- ▶ **Qualité du sol** : La qualité du sol ou du milieu de culture peut également affecter la germination des graines. Le sol doit être meuble et bien drainé pour éviter l'engorgement et favoriser l'oxygénation. Le sol doit également contenir les nutriments appropriés nécessaires à la croissance des graines (Bewley, 2013; Ellis, 2006).

1.4 Biostimulant

1.4.1 Définition

Un biostimulant végétal est une substance ou un micro-organisme appliqué aux plantes dans le but d'améliorer l'efficacité nutritionnelle, la tolérance au stress abiotique et/ou les caractéristiques de qualité de la culture, quelle que soit sa teneur en nutriments. Par extension, les biostimulants végétaux désignent également les produits commerciaux contenant des mélanges de ces substances et/ou micro-organismes (Du Jardin, 2011).

1.4.2 Acide salicylique

1.4.2.1 Définition

Il existe plusieurs définitions de l'acide salicylique, comme celle du Oxford qui dit qu'il s'agit d'un "composé amer présent dans certaines plantes". Il est utilisé comme fongicide et dans la fabrication de l'aspirine et des colorants. "L'American Chemistry Society donne la définition suivante : "L'acide salicylique (acide 2-hydroxybenzoïque) est un solide blanc isolé pour la première fois à partir de l'écorce des saules (*Salix* spp.), d'où il tire son nom. Il est également présent sous forme d'acide libre ou d'esters dans de nombreuses espèces végétales.

L'acide acétylsalicylique (aspirine), un promédicament de l'acide salicylique, est fabriqué par un processus entièrement différent. Curieusement, l'acide salicylique est également un métabolite de l'aspirine.

L'acide salicylique et ses esters sont utilisés comme conservateurs alimentaires, dans les produits de soins de la peau et autres cosmétiques, ainsi que dans les médicaments topiques.

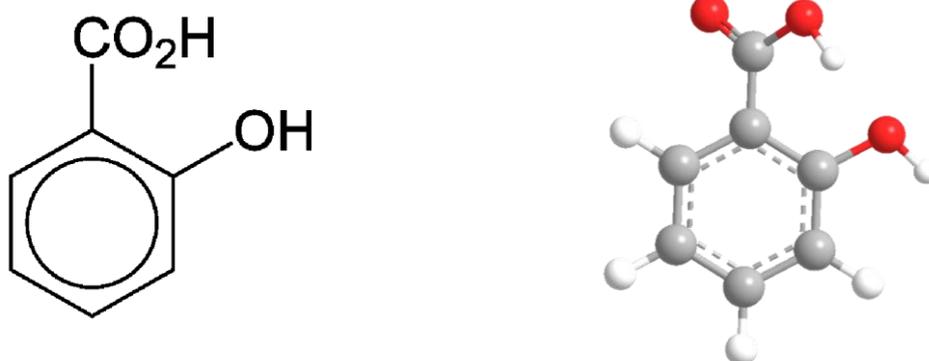


Figure 07 : Modèle de chimie de l'acide salicylique.

1.4.2.2 Rôle de l'acide salicylique (AS)

L'acide salicylique (AS), un produit chimique végétal, joue un rôle important dans la protection des plantes contre un ensemble de stress biotiques et abiotiques par le biais de systèmes morphologiques, physiologiques et biochimiques (War, 2011).

L'acide salicylique est un régulateur endogène important et très concentré du développement des plantes qui crée un grand nombre de réactions métaboliques et physiologiques dans les plantes engagées dans la protection des plantes, nonobstant leur effet sur le développement et l'amélioration des plantes.

Le petit composé phénolique qu'est l'acide salicylique (AS) joue un rôle central dans la protection des plantes. Il est censé reconnaître les parties déterminées par les microbes et, par la suite, fonder une opposition de proximité dans le lieu contaminé ainsi qu'une obstruction fondamentale au niveau de l'ensemble de la plante (Tsuda, 2008).

L'acide salicylique est un régulateur du développement des plantes qui augmente leur bioproduktivité. L'examen montre que les plantes deviennent plus grêles et que leurs produits augmentent également en raison de l'effet constructif du SA sur la longueur et l'épaisseur des racines (Larquè-Saavedra, 2007).

1.4.3 Pistachier lentisque

1.4.3.1 Définition

Un petit arbre, originaire des pays de la région méditerranéenne, appelé gomme à mastic (oleogum résine) (Akbar, 2020).

Pistachier lentisque, communément appelé arbre à mastic, est une espèce d'arbuste à feuilles persistantes à fleurs ou de petit arbre de la famille des Anacardiaceae. Il est originaire de la

région méditerranéenne, y compris des pays comme la Grèce, la Turquie et le Maroc. L'arbre est très apprécié pour sa résine aromatique, connue sous le nom de mastic, qui a été utilisée à diverses fins pendant des siècles (Heywood, 2007).

L'extrait de pistache de Lentisque (figure 08) contient divers composés bioactifs, notamment des flavonoïdes, des polyphénols et des triterpènes, qui présentent des avantages potentiels pour la santé tels que des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes. Il est utilisé dans diverses applications, telles que les industries alimentaires et des boissons, cosmétiques et pharmaceutiques (Ben Khedir, 2016).

Matériels et méthodes

L'objectif d'étude

L'objectif globale de cette recherche est d'étudier l'effet du stress salin sur le comportement morphologique et physiologique de carthame, ainsi que d'améliorer son tolérance en utilisant un biostimulant, l'acide salicylique, ainsi que l'extrait des feuilles de pistachier. Pour cela, l'expérimentation s'est déroulée en deux périodes : une période de germination dans le laboratoire de physiologie végétale de l'Université Ibn Khaldoun Tiaret, suivie d'une deuxième période sous serre à l'Institut professionnel de Tissemsilt.

1.5 Matériels et méthodes

Cet essai est porté sur les graines du carthame (*Carthamus tinctorius* L.) fournies par M. Zemour Kamel, chercheur qui a étudié cette plante lors de son doctorat. Il s'agit du génotype français « Gila », caractérisé par sa précocité et la couleur blanc-rougeâtre de ses fleurs (Zemour, 2022).

1.5.1 Effet de stress salin sur la germination des graines de carthame

Les graines de génotype Gila ont subi une stérilisation à l'aide d'une solution d'hypochlorite de sodium à 5 % pendant 15 minutes, suivie d'un rinçage à l'eau distillée cinq fois. 10 graines de carthame ont été mises à germer dans des boîtes de Pétri et à température ambiante de 25°C.

Le dispositif adopté est un split plot avec trois blocs. Dans le premier bloc, les graines ont été maintenues uniquement sous stress salin préparés à base de NaCl (0, 100, 150 et 250 mM) (figure 13), alors que dans les deux autres blocs, une application d'acide salicylique (1mM) (Shaki, 2018) et d'extrait de pistachier lentisque a été effectuée respectivement .

Préparation de l'extrait de pistachier lentisque

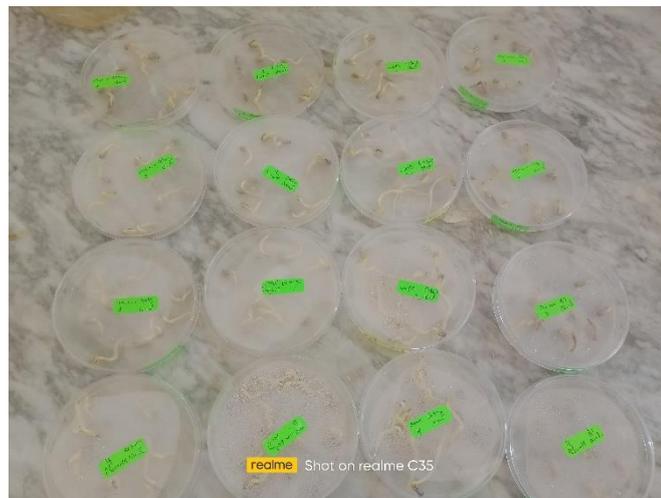
Cinq grammes de feuilles de plantes de pistachier lentisque en poudre ont été extraits par 100 ml d'eau distillée à température ambiante pendant 24h (macération), puis filtrés et enfin la solution obtenue est diluée 30 fois. Selon des études antérieures, cet extrait se caractérise par sa richesse en polyphénols et flavonoïdes (Bergad et Benyagoub, 2022).



Figure 08 : L'extrait de pistache de Lentisque (SIYOUCEF,Labou, 2023)



Figure 09: Répartition des boîtes de pétri dans l'étuve.(SIYOUCEF,



LEBBOUKH,2023)

Figure 10: Disposition des grains de Carthame (Gila) dans la boîte de pétri à la solution d'extrait pistachier . (SIYOUCEF, LEBBOUKH, 2023)



Figure 11: Disposition des grains de Carthame (Gila) dans la boîte de pétri à la



solution de NaCl . (SIYOUCEF, LEBBOUKH, 2023)

Figure 12 : Disposition des grains de Carthame (Gila) dans la boîte de pétri à la solution de Acide salicylique . (SIYOUCEF, LEBBOUKH, 2023)

1.5.2 Paramètres étudiés

1.5.2.1 Longueur racinaire et la longueur de coléoptile

La mesure de ces deux paramètres a été effectuée à l'aide d'une règle graduée.

1.5.2.2 Dosage des sucres solubles

Ce paramètre est mesuré en se référant à la méthode de Bentata et Nateche (2021) avec petite modification. 0,5g de graines germées (après 24h) issues de différents milieux sont trempés pendant 24h dans 10mL d'éthanol à 80%, l'extrait obtenu est dilué 10 fois avec l'éthanol à 80%. Celui-ci a ensuite été centrifugé pendant 20 minutes à 2000 tr/min. Le surnageant (0,1ml) a été combiné avec 1,0ml de phénol (5%) et 5,0 ml d'acide sulfurique (98%). Le mélange a ensuite été laissé à incuber dans de l'eau à 30°C pendant 20minutes, après quoi l'absorbance a été mesurée à 490 nm. La courbe d'étalonnage utilisée est celle adopté par Zemour (2013).



Figure 13 : Dosage des sucres solubles (SIYOUCEF , LEBBOUKH,2023)

1.5.3 Conduite de l'expérimentation sous serre

Cette partie a été réalisée afin de mieux comprendre l'effet du stress salin ainsi que l'application séparée de l'acide salicylique et l'extrait des feuilles de pistachier. Les graines de carthames ont été ensemencées dans des cylindres de 15 cm remplis de sable préalablement désinfecté .

Au cours des premiers jours, une irrigation journalière a été adoptée afin d'assurer de bonne germination des graines.

Le stress salin a été maintenu à un stade de 5 feuilles pour l'espèce conduite. Une pulvérisation foliaire de l'acide salicylique et l'extrait de pistachier trois fois (à 1 semaine d'intervalle) (Aftab, 2011) a été appliquée sur les plantes. Les mesures ont été réalisées 21 jours après le début des traitements (Figure 14).

Les mesures effectuées sont les suivants:

- ▶ Hauteur de la plante;
- ▶ Nombre de feuilles totales ;
- ▶ Nombre de feuille flétrissés;
- ▶ Teneur en chlorophylle : ce paramètre a été effectué à l'aide d'une chlorophylle mètre (Figure 15) ;
- ▶ La teneur relative en eau des feuilles : elle constitue également un critère de détermination du niveau du stress salin. Les mesures ont été effectuées sur trois plantes de chaque traitement.

Selon cette méthode, des tubes à essai remplies d'eau distillée sont préparées à l'avance. Les feuilles sont coupées à la base du limbe par un sécateur. Une prise de poids préalable des feuille a été réalisé (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

Analyse statistique:

Une analyse de variance à deux facteurs (ANOVA II) pour comparer les différents niveaux de stress salin et l'application foliaire des extraits. Le logiciel statistique utilisé est OriginPro2022.



Figure 14 : les plantes après 21 jours (SIYOUCEF , LEBBOUKH, 2023)



Figure 15 : chlorophylle mètre (SIYOUCEF , LEBBOUKH, 2023)

2.1 Résultats des paramètres retenus sous serre

2.1.1 Nombre total des feuilles

ANOVA TwoWay (02/05/2023 22:43:51)

ANOVA

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Stress salin	3	215,33333	71,77778	2,7905	0,06224
Extrait	2	3,38889	1,69444	0,06587	0,93642
Interaction	6	190,16667	31,69444	1,23218	0,32493
Model	11	408,88889	37,17172	1,44512	0,21681
Error	24	617,33333	25,72222		
Corrected Total	35	1026,22222			

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**.

Tableau 02 : l'analyse statistique du nombre total de feuilles

Les résultats de l'analyse statistique du nombre total de feuilles (Tableau 02) 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 (Figure \ref{fig:nbrf}), l'application du stress salin a eu un impact modéré sur le nombre total de feuilles. En effet, les valeurs les plus basses ayant été enregistrées à une salinité de 250mM.

Les plantes du lot traité avec 0mM et n'ayant reçu aucun extrait ont présenté un nombre de feuilles plus élevé (25 feuilles) que les plantes ayant été pulvérisées avec de l'extrait de pistachier (20 feuilles) ou de l'acide salicylique (19 feuilles).

Au niveau du traitement salin de 100mM, l'application des biostimulants a amélioré la production de feuilles par plante. Les valeurs les plus élevées ont été observées pour les plantes traitées avec l'extrait de pistachier (29 feuilles) et l'acide salicylique (26 feuilles).

Pour le traitement maintenu à 150mM, il a été constaté que l'application de l'acide salicylique a réduit moyennement l'effet du stress salin, les valeurs du nombre de

feuilles étant de 21 et 20 feuilles pour les plantes cultivées sans extrait et les plantes traitées avec de l'acide salicylique, respectivement.

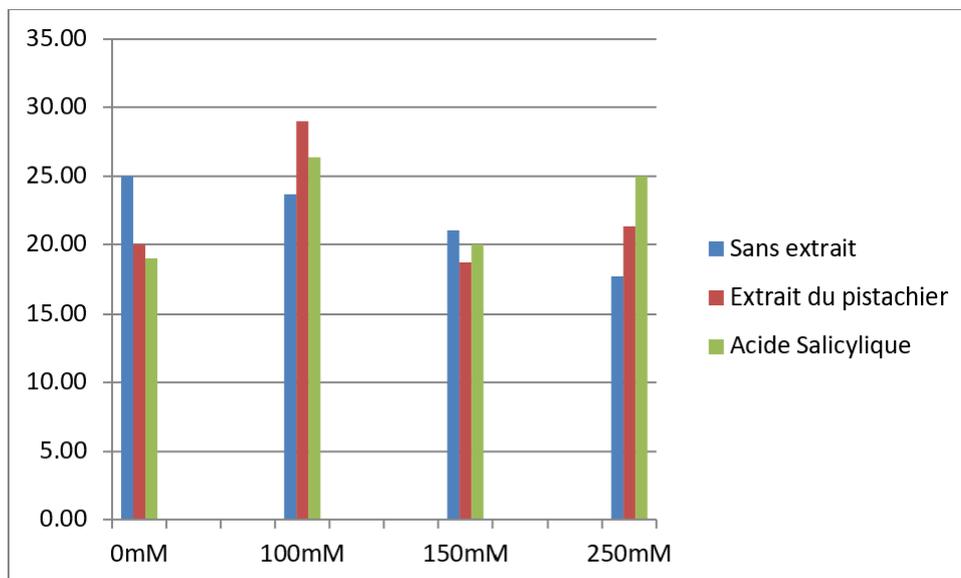


Figure 16 : Variation du nombre total de feuilles de la plante de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).

3.1.1 Nombre des feuilles flétries

ANOVA TwoWay (02/05/2023 22:33:22)

ANOVA

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Stress salin	3	24,97222	8,32407	3,65447	0,02664
Extrait	2	0,22222	0,11111	0,04878	0,95248
Interaction	6	6,44444	1,07407	0,47154	0,82257
Model	11	31,63889	2,87626	1,26275	0,30274
Error	24	54,66667	2,27778		
Corrected Total	35	86,30556			

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 **not significant**.

Tableau 03 : L'analyse de la variance des résultats du nombre de feuilles flétries

L'analyse de la variance des résultats du nombre de feuilles flétries (Tabelau 03) a démontré un effet significatif de niveau du stress salin appliqué ($P < 0,05$).

Alors qu'aucun impact de la nature de l'extrait ni de l'interaction entre les deux facteurs d'études sur l'expression de ce paramètre étudié ($P>0,05$).

Selon les résultats obtenus (Figure 11). L'augmentation de la concentration de NaCl a entraîné un nombre élevé de feuilles flétries. En effet, le nombre le plus faible est enregistré dans lot témoin avec un nombre de 3.3 feuilles par rapport à un nombre de 2, 3.7 et 4.7 extériorisé à 100mM, 150mM et 250mM respectivement. En sus, dans cette même concentration, les extrais de pistachier (2.7) et de l'acide salicylique (2.3) ont provoqué une diminution de nombre de feuilles flétries.

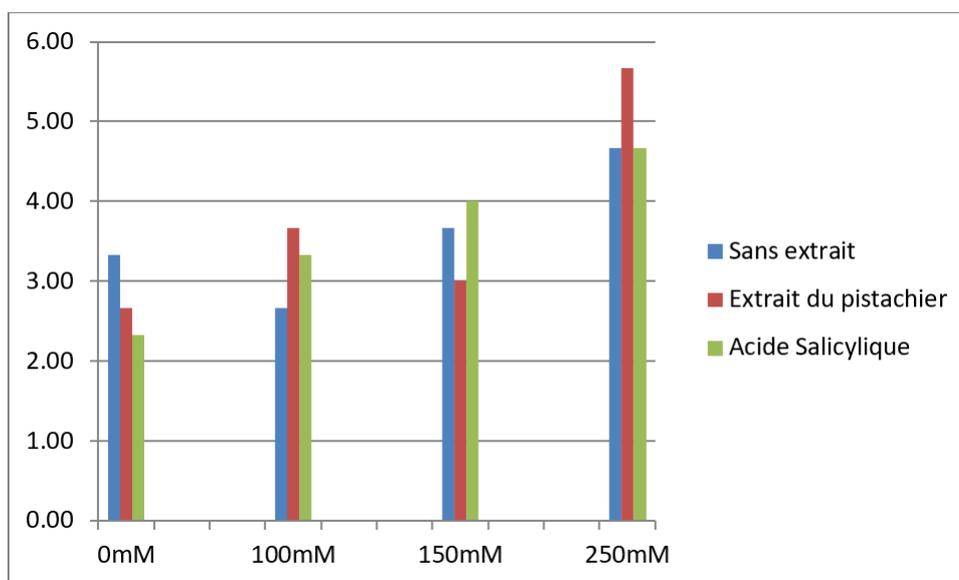


Figure 17 : Variation du nombre de feuilles flétries de la plante de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).

4.1.1 Teneur en chlorophylle

Les résultats de l'analyse de variance de la teneur en chlorophylle (Tablea 04) ont révélé un effet significatif à la fois du niveau de stress salin et des extraits appliqués ($P<0,05$). En revanche, il n'a été observé aucun effet significatif de l'interaction entre

ces deux facteurs sur l'élaboration de cette variable ($P > 0,05$).

ANOVA TwoWay (02/05/2023 22:45:09)

ANOVA

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Stress salin	3	361,94652	120,64884	3,083	0,04645
Extrait	2	530,57487	265,28743	6,77902	0,00464
Interaction	6	188,17838	31,36306	0,80144	0,57846
Model	11	1080,69977	98,24543	2,51051	0,02878
Error	24	939,20593	39,13358		
Corrected Total	35	2019,9057			

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 **significantly** different.

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

Tableau 04 : l'analyse de variance de la teneur en chlorophylle

Les résultats de la teneur en chlorophylle ont révélé que la recrudescence du niveau de salinité a entraîné une diminution de l'accumulation de chlorophylle dans les feuilles de carthame. En effet, les valeurs extrêmes ont oscillé entre 38.22 et 41.6 (SPAD) enregistrées à 0mM et 150mM respectivement. En sus, le traitement avec les extraits a optimisé l'amoncellement de chlorophylle. De fait, le taux de chlorophylle estimé a été de l'ordre de 55,4 et 49.7, valeurs inscrites par les plantes traitées avec de l'extrait de pistachier et de l'acide salicylique respectivement.

Dans le milieu conduit à 100mM, les valeurs élevées de taux de chlorophylle sont obtenues par les plantes traitées par de l'extrait de pistachier (51.9) et de l'acide salicylique (47.3).

Quant' au milieu salin à 150mM, l'intervalle de la teneur en chlorophylle varie d'une valeur élevée enregistrée dans le traitement de pistachier (46,4 SPAD) par rapport à une autre faible donnée par les plantes conduites sans ajout des intrants (38,22 SPAD).

Les plantes maintenues sous stress salin à 250 mM ont révélé les plus faibles valeurs de taux de chlorophylle. Les données extrêmes de ce paramètre sont de l'ordre de 39 SPAD et 45 SPAD inscrites respectivement par le témoin de l'acide salicylique.

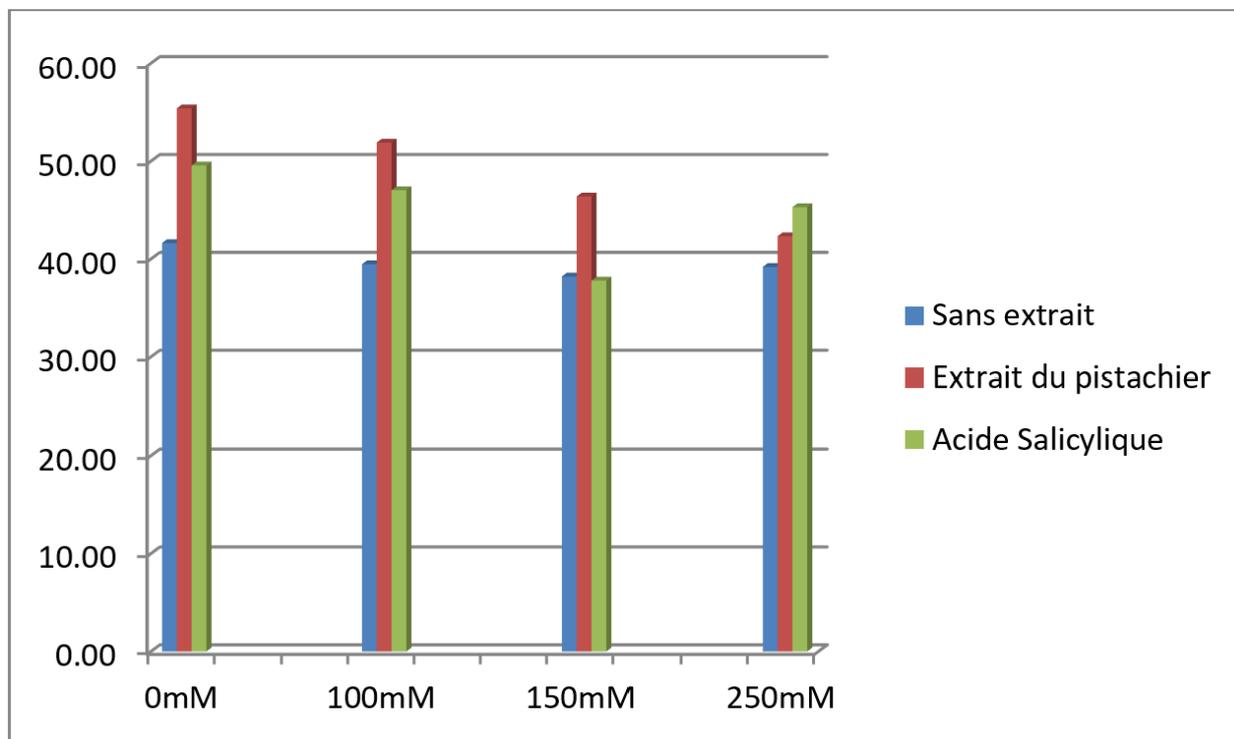


Figure 18 : Variation de la teneur en chlorophylle (SPAD) de la plante de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).

4.1.2 Hauteur de la plante

Lors de l'analyse de la variance des résultats de la hauteur de la plante (voir tableau 05), il a été démontré un effet significatif du niveau de stress salin appliqué ($P < 0,05$), tandis qu'aucun impact de la nature de l'extrait ou de l'interaction entre les deux facteurs d'étude sur l'élaboration de ce paramètre n'a été observé ($P > 0,05$).

ANOVA TwoWay (02/05/2023 22:46:09)

ANOVA

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Stress salin	3	2062,33333	687,44444	10,76936	1,12783E-4
Extrait	2	121,05556	60,52778	0,94822	0,40147
Interaction	6	407,16667	67,86111	1,0631	0,41137
Model	11	2590,55556	235,50505	3,68937	0,00363
Error	24	1532	63,83333		
Corrected Total	35	4122,55556			

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 **not significant**.

Tableau 05 : Analyse statistique de la hauteur de la plante de carthame

Généralement, les résultats obtenus pour la hauteur de la plante (voir Figure 19) se sont avérés élevés pour les plantes conduites à des faibles concentrations salines (0 et 100 mM). En effet, la hauteur de la plante la plus élevée a été observée sous traitement salin à 100 mM et avec l'extrait de pistachier, atteignant 58 cm.

Les plantes conduites à 250mM se distinguent par la hauteur finale la plus faible dont les valeurs sont de l'ordre de 35 cm (témoin), 30 (extrait du pistachier) et 37,7 cm, valeur inscrite après application de l'acide salicylique.

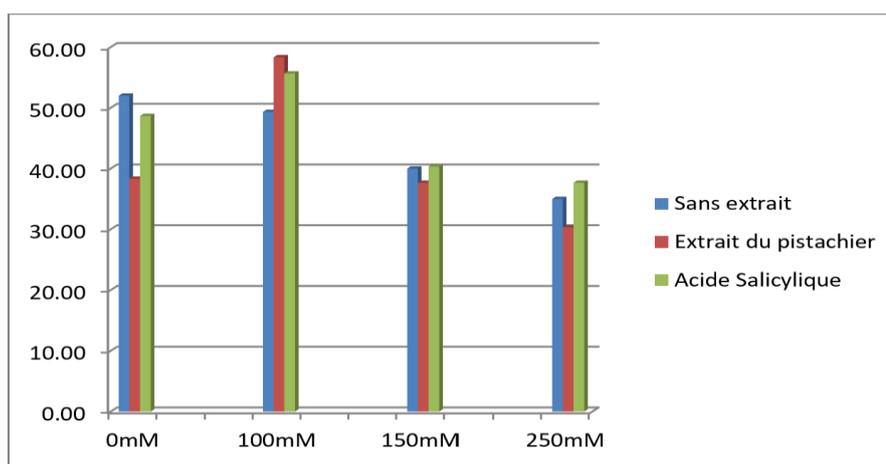


Figure 19 : Variation de la hauteur de la plante de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).

4.2 Résultats des paramètres retenus au laboratoire

4.2.1 Longueur de la radicule

ANOVA TwoWay (05/05/2023 15:40:46)

ANOVA

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Stress salin	3	172,55657	57,51886	39,36465	1,12415E-16
Extrait	2	9,67167	4,83583	3,30954	0,04074
Interaction	6	12,10093	2,01682	1,38027	0,23037
Model	11	194,32917	17,66629	12,09042	6,30562E-14
Error	96	140,27333	1,46118		
Corrected Total	107	334,6025			

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 **significantly** different.

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

Tableau 06 : Analyse statistique de la longueur de radicule des graines de carthame

A la lecture des résultats obtenus, il se démontre qu'au cours cette phase de germination, les différentes doses de stress salin appliquées provoquent des variations notables dans l'élongation de la radicule des graines germées ($P < 0,05$). L'application des extraits s'accompagne d'un effet prononcé sur ce paramètre ($P < 0,05$). Alors que L'interaction des deux facteurs exerce une faible influence significative ($p > 0,05$) sur la longueur de la radicule.

Les résultats montrent que les graines maintenues dans le milieu avec une concentration de 0mM ont les plus longues radicules, dont la plus élevée est en moyenne de 4,9cm pour l'extrait de pistachier.

Au niveau du traitement salin de 100mM, il a été constaté une diminution de la valeur de la longueur de la radicule (2.05cm) par rapport au lot témoin. Cependant, l'application des intrants à effet biostimulant a atténué l'effet du stress salin, où les valeurs de la longueur de radicule sont de l'ordre de 2.87 cm et 2.14 cm pour l'acide salicylique et l'extrait du pistachier respectivement.

Dans le traitement conduit à 150mM, les valeurs oscillent entre 2.5 cm et 1.41 pour le lot témoin et l'extrait du pistachier lentisque.

Dans le lot subi un traitement de 250mM, le graines ont inscrit la longueur de radicule la plus faible avec 0.34 cm. Dans ce même niveau de traitements salin, les valeurs de la longueur de radicule varient de 1.3cm (acide salicylique) à 1.81 cm (Extrait du pistachier lentisque)

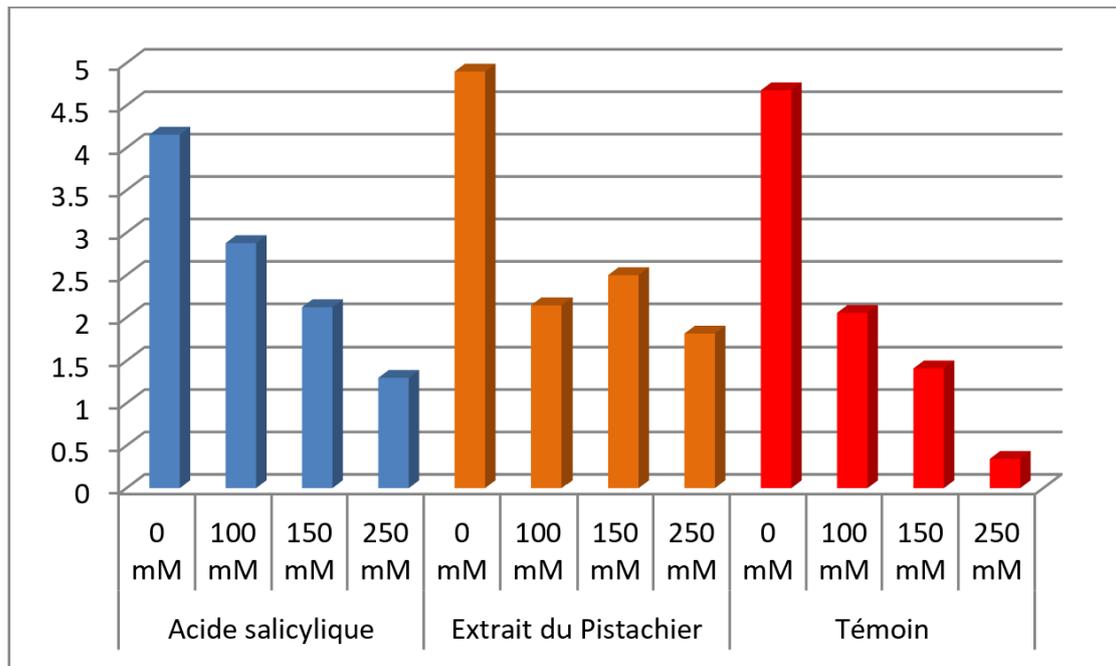


Figure 20 : Variation de la longueur de radicule des graines de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).

5.1.1 Longueur du coléoptile

Analyse statistique de la longueur de coléoptile des graines de carthame

Les résultats moyens (Fig.21) révèlent que la longueur du coléoptile varie proportionnellement avec l'augmentation de niveau de salinité. Ainsi, les coléoptiles les plus longs ont été enregistrés dans le groupe témoin (0 MPa), avec une valeur moyenne de 4.84cm.

A l'échelle du traitement 100mM, les longueurs enregistrées par les graines oscillent entre 1.18 cm (sans extrait) et 2.11cm (Extrait du pistachier lentisque).

Dans le traitement conduit à 150mM, les valeurs sont comprises entre 0.57cm (Témoin) et 1.66 cm (extrait du pistachier lentisque),

Au niveau des graines issues du milieu de germination traité à 250mM, le stress induit un niveau de réduction plus important de la longueur du cet organe par rapport aux autres milieux. Cependant, l'utilisation des biostimulants a réduit l'effet inhibiteur de cette concentration sur l'expression de la longueur de coléoptile, dont les valeurs enregistrées sont de l'ordre de 0.87 cm pour les graines traitées avec l'extrait de pistachier et 0.89 cm pour l'acide salicylique.

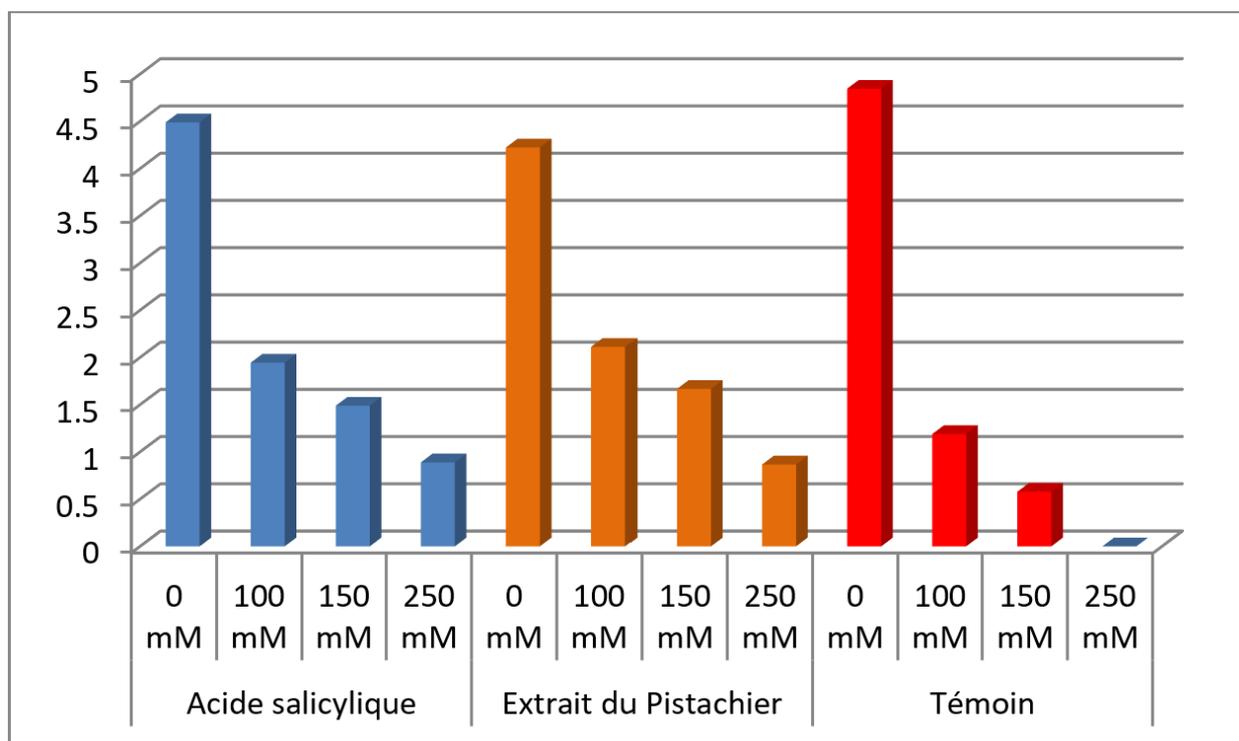


Figure 21 : Variation de la longueur de coléoptile des graines de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).

5.1.2 Dosage des sucres solubles

Les résultats des sucres solubles (Figure 22) ont montré que leurs valeurs oscillent en fonction des concentrations salines et de l'extrait appliqué lors du processus de germination des graines de carthame.

Au niveau du milieu de 0mM, les graines germées et traitées avec de l'acide salicylique ont extériorisé une valeur maximale de sucres solubles 116,23 (mg/100g de MF). Têtis que les graines irriguées uniquement avec de solution saline ont démontré une valeur moyenne de l'ordre de 37 (mg/100g de MF).

A l'échelle du traitement de 100 mM, une augmentation de ces sucres a été constaté et ceci pour les graines maintenues sans extrait avec une valeur approximative de 45 (mg/100g de MF).

À 150 mM, les graines germées (sans extrait) ont révélé une valeur de 38 (mg/100g de MF), alors que les teneurs en sucres solubles enregistrées à ce niveau de salinité sont de l'ordre de 65 (mg/100g de MF) et 38,4 (mg/100g de MF) pour l'acide salicylique et l'extrait de pistachier, respectivement.

Au niveau du traitement de 250 mM, les valeurs de ces sucres ont atteint 25, 81.2 et 36 (mg/100g de MF) pour les graines germées sans extrait, avec de l'acide salicylique et de l'extrait de pistachier respectivement.

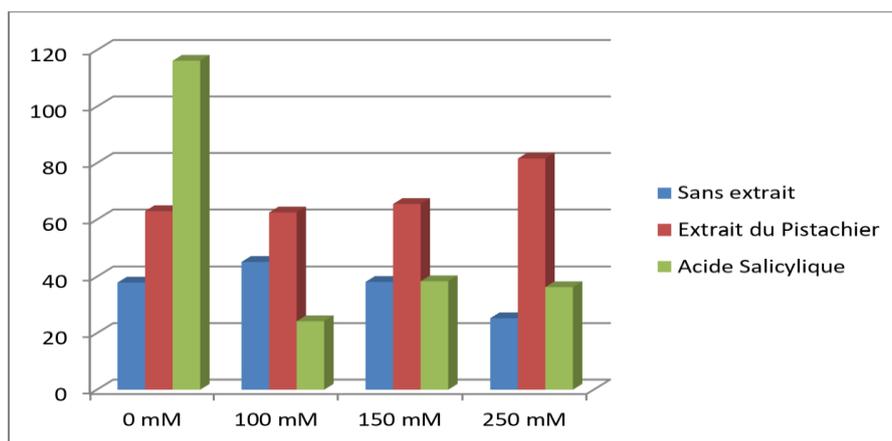


Figure 22 : Variation du taux des sucres solubles (mg/100g de MF) des graines de carthame soumise au stress salin et après application d'extraits (pistachier, acide salicylique).

Discussion

Le stress abiotique est défini comme l'effet négatif de tous les facteurs non vivants sur les organismes vivants dans un environnement défini. Ces stress comprennent la salinité la sécheresse, les températures extrêmes (basses ou élevées) et d'autres environnements défavorables (Maryum, 2022).

Le stress salin est l'une des principaux facteurs environnementaux qui affectent gretement la productivité des cultures agricoles, entraînant une croissance et un développement altérés des cultures ((Maryum, 2022), (Colin, 2023)). Cette altération est dû principalement à des changements dans les réponses physiologiques, morphologiques, biochimiques et moléculaires de la croissance des plantes (Arif, 2020)

L'utilisation d'engrais chimiques et de pesticides pour augmenter la croissance et le rendement des cultures n'a fait qu'aggraver davantage le problème de la production agricole, car cela a causé une pollution des eaux souterraines par les nitrates, un déséquilibre des nutriments du sol et des problèmes de santé à court et/ou à long terme pour l'ensemble de la biosphère. Par conséquence, le développement des bio-stimulants a suscité un intérêt considérable ces dernières années (Nephali, 2020)). De ce fait, plusieurs études ont suggéré diverses approches d'atténuation des effets néfastes de la salinité, y compris l'application exogène de régulateurs de croissance végétale dans différentes plantes cultivées ((Kumar, 2022); (Chouhim, 2022)). Selon Zhang et Schmidt (2000), les biostimulants sont les matériaux utilisés en quantités infimes pour favoriser la croissance des plantes.

Dans la présente étude, certains paramètres biochimiques et morphologiques ont été étudiés pour mieux comprendre les effets de stress salin induit par NaCl et l'application exogène de l'extrait du pistachier et de l'acide salicylique sur les plants de carthame. La réduction de la croissance des plantes dans des conditions de stress salin a déjà été observée par de nombreuses études (Shaheen et al., 2013 ; Merati et al., 2014 ; (Shaki, 2018)). Néanmoins, L'application exogène des extraits précités a amélioré le statut morphologique des plantes.

Le stress de salinité a nettement diminué la croissance et le développement des plantes, ce qui a entraîné une réduction de la croissance des plantes. Résultats corroborent avec d'Ahanger et al. (2020) ; (Akram, 2017) ; (Kaya, 2020). 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 (qui affectent ensuite la synthèse des protéines), ainsi que la diminution du niveau de glucides et d'hormones de croissance, qui peuvent tous deux entraîner une inhibition de la croissance (Mazher, 2007). En outre, la production de 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 sus, la salinité diminue le potentiel hydrique dans le sol, ce qui réduit la capacité des cellules végétales à absorber l'eau et la pression de turgescence cellulaire, affectant ainsi l'expansion cellulaire. De tels changements entraînent initialement une rétraction des tissus végétaux et une extrusion de l'eau des cellules végétales (Van Zelm, 2020).

La salinité induit une toxicité ionique qui se traduit par un stress oxydatif et osmotique. L'acide salicylique est l'un des principaux régulateurs de croissance des plantes pour atténuer le stress de salinité (Kumar, 2022).

La chlorophylle est plus sensible à la salinité, à la sécheresse et au métal (Kumar, 2022). La teneur en chlorophylle a diminué avec l'augmentation de la concentration de NaCl dans les feuilles de carthame. Nos résultats sont en accord avec les travaux de (Jahan, 2020) et (Rasheed, 2020). L'application des extraits notamment de l'acide salicylique assiste la photosynthèse en protégeant les pigments chlorophylliens de l'effet phytotoxique des ions et protection oxydative du chloroplaste (Foyer, 2011).

Le stress salin affecte la croissance de radicule et de coléoptile où il entrave l'absorption et la translocation des nutriments (Shrivastava, 2015).

Les plantes accumulent des osmolytes compatibles tels que la proline et les sucres lorsqu'elles sont soumises à la salinité stress, et ils semblent protéger les plantes de tels stress (Benhassaini, 2012). Les sucres solubles exercent deux fonctions essentielles chez les plantes soumises à des conditions de stress, en participant aux processus métaboliques et à la régulation de la déshydratation (Lepengue, 2012). Ce rôle est crucial dans la régulation de l'ajustement osmotique et la stabilisation de certaines protéines (Bouatrous, 2013). L'accumulation de ces sucres peut entraîner la gélification du contenu cellulaire en saturant le milieu intracellulaire, empêchant ainsi la cristallisation des molécules contenues dans la cellule et réduisant les dommages au niveau des structures cellulaires. De plus, l'accumulation de ces sucres est considérée comme un indicateur de la résistance au stress salin (Munns, 2006).

Il a été constaté une diminution progressive du nombre de feuilles des plantes avec l'augmentation de la concentration en sel. Une même constatation s'est révélée par (Qados, 2011) chez 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, 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, 2004).

Selon notre étude il a été confirmé l'effet positif de l'extrait de pistachier et de l'acide salicylique sur la plante en diminuant l'impact négatif de stress salin induit par différentes concentrations de NaCl. Ces deux derniers ont un rôle majeur dans les stress abiotiques en modifiant les réponses de la plante via différents mécanismes physiologiques et biologiques, notamment l'activité de piégeage des ROS, l'osmoprotection, la stabilité de la membrane, le guidage stomatique et la conductance du xylème, la chélation des métaux, la disponibilité des nutriments et de l'eau et la signalisation phytohormonale chez les plantes (Van Oosten, 2017 ; Rai, 2021). Cette réduction des ROS induit par un stress salin est attribuée à l'activité antioxydante des polyphénols présents dans les deux extraits (Machado et *al.*, 2023).

Conclusion générale



Conclusion

La salinité représente l'un des stress abiotiques majeurs limitant la productivité des cultures à travers le monde. Ce stress a un impact significatif sur de nombreux processus du métabolisme cellulaire, notamment l'absorption des nutriments, la photosynthèse, la respiration, l'accumulation de solutés organiques et la disponibilité en eau. Le carthame (*Carthamus tinctorius* L) est une plante oléagineuse d'intérêt alimentaire et économique. Cette plante est cultivée principalement pour son huile riche en acides gras insaturés et pour son tourteau destiné à l'alimentation de bétails. Dans notre étude, nous nous sommes penchés sur le comportement physiologique, biochimique et morphologique de la variété Gila de carthame, soumise à différents niveaux de salinité (0, 100meq, 150meq et 250meq de NaCl). L'objectif était également d'améliorer la tolérance de cette plante au stress salin en utilisant de l'acide salicylique et de l'extrait de Pistachier lentisque pendant la phase de développement végétatif. Les résultats ont clairement démontré que la salinité a affecté considérablement la longueur de la racine et du coléoptile, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles et la teneur en chlorophylle. Cependant, l'application de l'extrait de Pistachier lentisque et de l'acide salicylique sur les feuilles a eu un effet significatif et a contribué de manière importante à atténuer les effets néfastes de la salinité.

Cette étude représente donc une contribution à la compréhension de l'effet de la salinité sur la culture du carthame et de sa résistance. En conclusion, notre étude rapporte d'une part les effets néfastes du stress salin sur la plante de carthame, et d'autre part, l'importance et le rôle positif des biostimulants. Ces derniers pourraient constituer la clé d'un développement agricole durable et de l'atteinte de l'autosuffisance alimentaire et économique suite au changement climatique.

Bibliographie

- Acosta-Motos, J., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernandez, J. A. (2018). Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 18.
- Acs. Salicylic acid. (s.d.). [En ligne] Disponible sur : <<https://www.acs.org/molecule-of-the-week/>> [Accès le 04 2023].
- Aftab, T., Khan, M. M. A., da Silva, J. A. T., Idrees, M., & Naeem, M. (2011). Role of salicylic acid in promoting salt stress tolerance and enhanced artemisinin production in *Artemisia annua* L. *Journal of plant growth regulation*, 30, 425-435.
- Ahanger, M. A., & Agarwal, R. M. (2017). Salinity stress induced alterations in antioxidant metabolism and nitrogen assimilation in wheat (*Triticum aestivum* L) as influenced by potassium supplementation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 115, 449-460.
- Ahanger, M. A., Tomar, N. S., Tittal, M., Argal, S., & Agarwal, R. M. (2017). Plant growth under water/salt stress: ROS production; antioxidants and significance of added potassium under such conditions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 23, 731-744.

- Akbar, S., & Akbar, S. (2020). *Pistacia lentiscus* L. (Anacardiaceae) (Syns.: *Lentiscus vulgaris* Fourr.; *Terebinthus lentiscus* (L.) Moench). In *Handbook of 200 Medicinal Plants: A Comprehensive Review of Their Traditional Medical Uses and Scientific Justifications* (pp. 1443-1453).
- Akram, N. A., Shafiq, F., & Ashraf, M. (2017). Ascorbic acid-a potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. *Frontiers in plant science*, 6, 613.
- Altman, A., & Hasegawa, P. M. (2011). *Plant biotechnology and agriculture: prospects for the 21st century*. Academic press, 163-184.
- Ambulkar, A. J.-L. (March 2023). Salinity. *Encyclopedia Britannica*, 51(01), 133-162.
- Amu. SEED GERMINATION TYPES. Aligarh muslim university.
- 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 Physiology and Biochemistry*, 156, 64-77.
- Asloum, H. (1990). *Élaboration d'un système de production maraîchère (tomate, *Lycopersicum esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes: utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres*. PhD diss., Nice.
- Bardeen, J. M., Carter, B., & Hawking, S. W. (1973). The four laws of black hole mechanics. *Communications in mathematical physics*, 31(2), 161-170.
- Bergad A. et Benyagoub K.(2022). *Étude de l'effet de la salinité sur le pouvoir germinatif de l'orge (*Hordeum vulgare* .L)*. Mémoire master. Univ Tissemsilt, p101.
- Ben K, S., Moalla, D., Jardak, N., Mzid, M., Sahnoun, Z., & Rebai, T. (2016). *Pistacia lentiscus* fruit oil reduces oxidative stress in human skin

- explants caused by hydrogen peroxide. *Biotechnic & Histochemistry*, 91(07), 480-491.
- Benhassaini, H., Fetati, A., Hocine, A. K., & Belkhodja, M. (2012). Effect of salt stress on growth and accumulation of proline and soluble sugars on plantlets of *Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica* used as rootstocks. *BASE*, 16(2), 159-165.
 - Benidire, L., Daoui, K., Fatemi, Z. A., Achouak, W., Bouarab, L., & Oufdou, K. (2015). Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba* L. (Effect of salt stress on germination and seedling of *Vicia faba* L.). *Journal of Materials and Environmental Science*, 06(03), 840-851.
 - Bentata, M., & Nateche, B. (2021). Étude de l'effet de la durée de stockage sur la viabilité et le déroulement de la phase de germination chez quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf). Mémoire master, Université Tissemsilt, p 64.
 - Berthomieu, P., Conéjéro, G., Nublat, A., Brackenbury, W. J., Lambert, C., Savio, C., Uozumi, N., Oiki, S., Yamada, K., Cellier, F., & others. (2003). Functional analysis of AtHKT1 in *Arabidopsis* shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *The EMBO journal*, 22(9), 2004-2014.
 - Bewley, J. D., & Black, M. (2013). *Seeds: physiology of development and germination*. Springer Science & Business Media.
 - biologyEn ligne. (2022). Dictionary > Abiotic stress. <https://www.biologyEn ligne.com/dictionary/abiotic-stress>
 - Bray, E. A. (2000). Responses to abiotic stresses. *Biochemistry and molecular biology of plants*, 1158-1203.
 - Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy* 09(6), 306.

- Chemistry model salt molecule diatomic sodium chlorine nacl scientific element formula. (s.d.). <https://www.vecteezy.com/vector-art/2839208-chemistry-model-salt-molecule-diatomic-sodium-chlorine-nacl-scientific-element-formula-integrated-particles-inorganic-3d-molecular-structure-consisting-two-volume-atom-combination-eps-vector-spheres/>
- Chouhim, K.M.A., Latigui, A., Belkhodja, M., & Adda, A. (2022). Exogenous applications of exudates roots of common glasswort on eggplant under salt stress. *Ukrainian Journal of Ecology* 12(3), 29-35.
- Colin L., Ruhnaw F., Zhu J.K., Zhao C., Zhao Y., Persson S. (2023) The cell biology of primary cell walls during salt stress. *The Plant Cell* 35(1), 201-217.
- Corrosionpedia. (2017). Salinity. [En ligne] Disponible sur : <https://www.corrosionpedia.com/definition/998/salinity/> [Accès le 2023].
- Dajue, L., & Mündel, H. H. (1996). Safflower, *Carthamus tinctorius* L. Vol. 07, chez Safflower, *Carthamus tinctorius* L. Bioersity International.
- Del Buono, D., Regni, L., & Proietti, P. (2023). Abiotic Stresses, Biostimulants and Plant Activity. *Agriculture*, 13(1), 191.
- Du Jardin, P. (2011). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia horticultrae*, 196, 3-14.
- Effet de stress salin. (s.d.). [En ligne image] Disponible sur : https://www.encyclopedie-environnement.org/app/uploads/2020/09/Fig7_toxicite-stress-salin-schema.jpg/
- El-Barnaoui, O. (2009). Le carthame. Dans *Le carthame, Carthamus tinctorius* L., 01–11. C.R.S.T.R.A.
- Ellis, R. H., & Hong, T. D. (2006). Temperature sensitivity of the low-moisture-content limit to negative seed longevity-moisture content relationships in hermetic storage. *Annals of botany*, 97(5), 785-791.

- Foreman, J., Demidchik, V., Bothwell, J. H. F., Mylona, P., Miedema, H., Torres, M. A., ... & Brownlee, C. (2003). Reactive oxygen species produced by NADPH oxidase regulate plant cell growth. *Nature*, 422(6930), 442-446.
- Foyer, C. H., & Shigeoka, S. (2011). Understanding oxidative stress and antioxidant functions to enhance photosynthesis. *Plant physiology*, 155(1), 93-100.
- Gopal, K., & others. (2019). Groundwater salinity. *Current World Environment*, 14(2), 186-188.
- Guerrier, G. (1984). Relations entre la tolérance ou la sensibilité à la salinité lors de la germination des semences et les composantes de la nutrition en sodium. *Biologia plantarum*, 26(1), 22-28.
- Heywood, V. H., Brummitt, R. K., Culham, A., & Seberg, O. (2007). *Flowering plant families of the world*. Vol. 88. Firefly books.
- Illustration de carthame. (s.d.). [En ligne image] Disponible sur : <http://www.plantillustrations.com/>.
- Jahan, B., AlAjmi, M. F., Rehman, M. T., & Khan, N. A. (2020). Treatment of nitric oxide supplemented with nitrogen and sulfur regulates photosynthetic performance and stomatal behavior in mustard under salt stress. *Physiologia plantarum*, 168(2), 490-510.
- Jamshidi J, B., Shekari, F., Andalibi, B., Fotovat, R., Jafarian, V., & Dolatabadian, A. (2023). The Effects of Salicylic Acid and Silicon on Safflower Seed Yield, Oil Content, and Fatty Acids Composition under Salinity Stress. *Silicon*, 1-14.
- Karray-Bouraoui, N., Harbaoui, F., Rabhi, M., Jallali, I., Ksouri, R., Attia, H., ... & Lachaâl, M. (2011). Different antioxidant responses to salt stress in two different provenances of *Carthamus tinctorius* L. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33, 1435-1444.

- Kaya, C., Ashraf, M., Alyemeni, M. N., Corpas, F. J., & Ahmad, P. (2020). Salicylic acid-induced nitric oxide enhances arsenic toxicity tolerance in maize plants by upregulating the ascorbate-glutathione cycle and glyoxalase system. *Journal of Hazardous Materials*, 399, 123020.
- Kopecká, R., Kameniarová, M., Cerný, M., Brzobohatý, B., & Novák, J. (2023). Abiotic Stress in Crop Production. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(7), 6603.
- Kosová, K., Vítámvás, P., Prášil, I. T., & Renaut, J. (2011). Plant proteome changes under abiotic stress—contribution of proteomics studies to understanding plant stress response. *Journal of proteomics*, 74(08), 1301-1322.
- Kumar, S., Ahanger, M. A., Alshaya, H., Jan, B. L., & Yerramilli, V. (2022). Salicylic acid mitigates salt-induced toxicity through the modifications of biochemical attributes and some key antioxidants in *Capsicum annum*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(03), 1337-1347.
- Kwon, E. H., Adhikari, A., Imran, M., Lee, D. S., Lee, C. Y., Kang, S. M., & Lee, I. J. (2022). Exogenous SA Applications Alleviate Salinity Stress via Physiological and Biochemical Changes in St John's Wort Plants. *Plants*, 12(2), 310.
- L.P.A. Oyen, PROTA Network Office Europe, Wageningen University, P.O. Box 341, 6700 AH Wageningen, Netherlands. Pl@ntUse. (2021). *Carthamus tinctorius* (PROTA). Disponible sur : [https://uses.plantnet-project.org/fr/Carthamus_tinctorius_\(PROTA\)](https://uses.plantnet-project.org/fr/Carthamus_tinctorius_(PROTA)) [Accès le May 02, 2023].
- Larquè-Saavedra, A., & Martin-Mex, R. (2007). Effects of salicylic acid on the bioproductivity of plants. In *Salicylic Acid: A Plant Hormone* (Springer) (pp. 15-23).

- Lepengue, A. N. I., Mouaragadja, B., Ibrahim, S., & M'batchi. (2012). Réponse du maïs (*Zea mays* var. LG 60) au stress salin: étude de la synthèse de quelques composés biochimiques. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 14(1), 1866-1872.
- Linguee. (2023). Linguee. Disponible sur : <https://www.linguee.fr/arabe-francais/traduction/carthame.html> [Accès le 2023].
- Liu, X., Song, Y., Xing, F., Wang, N., Wen, F., & Zhu, C. (2016). GhWRKY25, a group I WRKY gene from cotton, confers differential tolerance to abiotic and biotic stresses in transgenic *Nicotiana benthamiana*. *Protoplasma*, 253, 1265-1281.
- Maryum, Z., Luqman, T., Nadeem, S., Khan, S. M. U. D., Wang, B., Ditta, A., & Khan, M. K. R. (2022). An overview of salinity stress, mechanism of salinity tolerance and strategies for its management in cotton. *Frontiers in Plant Science*, 13.
- 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. *American Journal of Plant Physiology*, 1(2), 210-213.
- Mazher, A. A., El-Quesni, E. F., & Farahat, F. M. (2007). Responses of ornamental and woody trees to salinity. *World J. Agric. Sci*, 03(03), 386-395.
- Medjebeur, D., Hannachi, L., Ali-Ahmed, S., & Metna, B. (2018). Effets de la salinité et du stress hydrique sur la germination des graines de *Hedysarum flexuosum* (Fabaceae). *Revue d'ecologie (La Terre et La Vie)*, 73(03), Persée-Portail des revues scientifiques en SHS.

- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell & environment*, 25(2), 239-250.
- Munns, R. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of experimental botany*, 57(5), 1025-1043.
- Nephali, L., Piater, L. A., Dubery, I. A., Patterson, V., Huyser, J., Burgess, K., & Tugizimana, F. (2020). Biostimulants for plant growth and mitigation of abiotic stresses: A metabolomics perspective. *Metabolites*, 10(12), 505.
- Netondo, G. W., Onyango, J. C., & Beck, E. (2004). Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. *Crop science*, 44(3), 806-811.
- Qados, A. M. A. (2011). Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* (L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10(01), 7-15.
- Rai, N., Singh, R. S. P., & Bhardwaj, S. K. (2021). Prospects for abiotic stress tolerance in crops utilizing phyto-and bio-stimulants. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, Volume 455.
- Rasheed, F., Anjum, N. A., Masood, A., Sofo, A., & Khan, N. A. (2020). The key roles of salicylic acid and sulfur in plant salinity stress tolerance. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-14.
- Roche, J., Zephirin, M., Cerny, M., & Merah, O. (2019). Effect of sowing dates on fatty acids and phytosterols patterns of *Carthamus tinctorius* L. *Applied Sciences*, 09(14), 2839.
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in plant science*, Volume 11, 40.

- Salem, N., Msaada, K., Dhifi, W., Limam, F., & Marzouk, B. (2014). Effect of salinity on plant growth and biological activities of *Carthamus tinctorius* L. extracts at two flowering stages. *Acta physiologiae plantarum*, 36(02), 433-445.
- Schopfer, P. (2001). Hydroxyl radical-induced cell-wall loosening in vitro and in vivo: implications for the control of elongation growth. *The Plant Journal*, 28(6), 679-688.
- Shaki, F., Mohammadi Haji Esmaili, M. H., & Naseri, V. (2018). Growth enhancement and salt tolerance of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), by salicylic acid. *Current Plant Biology*, Volume 13, 16-22.
- Shaki, F., Mohammadi Haji Esmaili, M. H., & Naseri, V. (2019). Improving salt tolerance in safflower plants through exogenous application of penconazole. *Agronomy Journal*, 111(1), 397-407.
- Shinwari, Z. K., Hameed, A., & Ali, R. M. A. (2014). Morphological traits based genetic diversity in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Pak. J. Bot*, 46(04), 1389-1395.
- Shravani. (2018). Soil Management India. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.soilmanagementindia.com/soil/salt-affected-soils/types-of-salt-affected-soils-3-types-soil-science/16028> [Accès le 2023].
- Shrivastava, P., & Kumar, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi journal of biological sciences*, 22(2), 123–131.
- Stress abiotiques/biotiques. (s.d.). Récupéré sur <https://stoller.com.au/> (accès le 2023).
- Tremblin, G., & Marouf, A. (2022). Le carthame. In *Les plantes oléifères* (pp. 58–61). EDP Sciences.

- Tsuda, K., Sato, M., Glazebrook, J., Cohen, J. D., & Katagiri, F. (2008). Interplay between MAMP-triggered and SA-mediated defense responses. *The Plant Journal*, 53(5), 763–775.
- Van O, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., & Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4, 1–12.
- Van Z, E., Zhang, Y., & Testerink, C. (2020). Salt tolerance mechanisms of plants. *Annual review of plant biology*, 71, 403–433.
- War, A. R., Paulraj, M. G., War, M. Y., & Ignacimuthu, S. (2011). Role of salicylic acid in induction of plant defense system in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plant signaling & behavior*, 6(11), Plant signaling & behavior.
- Yamina, B. (2013). Water stress correlated with senescence in durum wheat (*Triticum durum* Desf). *Advances in Environmental Biology*, 7, 1306–1315.
- Yesilyurt, M. K., Cesur, C., Aslan, V., & Yilbasi, Z. (2020). The production of biodiesel from safflower (*Carthamus tinctorius* L.) oil as a potential feedstock and its usage in compression ignition engine: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109574.
- Yin, D., Hu, S., Ren, S., Qiu, J., Ding, X., & Dong, J. (2020). Effects of an ectomycorrhizal fungus on the growth and physiology of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* seedlings subjected to saline-alkali stress. *Journal of Forestry Research*, 31(03), 781-788.
- Zemour K. (2014). Etude des effets du déficit hydrique sur le processus de germination chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse magister.P82.
- 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. Tiaret: Université Ibn Khaldoun.
- Zemour, K., Adda, A., Labdelli A., Dellal A., Cerny M. & 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., Adda, A., Zebib, B., & Merah, O. (2021). Le carthame (*Carthamus tinctorius* L.): Une oléagineuse qui n'a pas dit son dernier mot en Algérie. *Revue Agrobiologia*, 10(2), 2211–2219.
- Zhang, X., Schmidt, R. E., Ervin, E. H., & Doak, S. (2002). Creeping bentgrass physiological responses to natural plant growth regulators and iron under two regimes. *HortScience*, 37(6), 898–902.
- Zraibi, L., Nabloussi, A., Kajeiou, M., Elamrani, A., Khalid, A., & Caid, H. S. (2011). Comparative germination and seedling growth response to drought and salt stresses in a set of safflower (*Carthamus tinctorius*) varieties. *Seed Technology*, 40–52



Acronymes



AS	Aside Salicylique
EP	Extrait Pistachier
Na	Sodium
Cl	Chlore
mM	Milli Molaire
P	Probabilité