

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES



Mémoire En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie

Filière: Sciences Biologiques

Spécialité: Biotechnologie Végétale

Présenté par: M^{elle} MAHDJOUBI Sana

Thème

**Analyse des comportements germinatifs des graines de
Carthamus tinctorius L. et *Portulaca oleracea* L. sous
contrainte saline**

Soutenue publiquement le : 08 /07/2019

Devant le jury:

M^{me} OULD EL HADJ KHELIL Aminata	Professeur	Présidente	UKM OUARGLA
M^{elle} HADJADJ Soumia	M.C.A.	Encadreur	UKM OUARGLA
M^r CHOUANA Toufik	M.C.B.	Examineur	UKM OUARGLA

Année Universitaire : 2018/2019

Remerciements

Avant tout mon premier remerciement va à Allah le tout puissant de m'avoir donné la force, le courage et les moyens pour mener à bien ce travail.

*Tout d'abord un grand merci pour l'encadreur **M^{lle} HADJADJ Soumia**, pour sa gentillesse, sa sérieuse, sa disponibilité et sa contribution générale à l'élaboration de ce travail.*

*Mes remerciements les plus sincères s'adressent également aux **M^{me} OULD EL HADJ-KHELIL Aminata** et **Mr CHOUANA Toufik**, pour m'avoir fait l'honneur d'examiner ce travail afin de m'aider à avancer encore vers d'autres horizons.*

*Je remercie spécialement **Mr CHAABNA Ahmed** et **M^{lle} HANNANI Amina** pour les précieuses informations qu'ils nous ont fournies au cours de la période de recherche.*

Je tiens à remercier toutes les personnes qui sont participées de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Je remercie le responsable et les techniciens des laboratoires pédagogiques de la Faculté des Sciences de la nature et de la vie à l'université Kasdi Merbah-Ouargla.

Enfin, un remerciement très chaleureux à nos amis en particulier, ceux de notre promotion.

Liste des abréviations

ABA : Acide abscissique.

GA : Acide gibbérellique.

CE : Conductivité Electrique.

mS/cm : millisiemens par centimètre.

NaCl : Chlorure de sodium.

Na₂SO₄ : Sulfate de sodium.

pH : potentiel d'Hydrogène

Liste des photos

N°	Titre	Page
1	<i>Carthamus tinctorius</i> L.	12
2	<i>Potulaca oleracea</i> L.	14
3	Graines des espèces étudiées sous la loupe binoculaire	15
4	Différentes étapes de l'essai de germination	17
5	Mesures des longueurs des radicules et des tiges des plantules de <i>C. tinctorius</i> et de <i>P. oleracea</i>	19

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Principaux événements liés à la germination.	05
2	Evolution des taux quotidiens de germination des graines de <i>C. tinctorius</i> en fonction de la durée de séjour dans les différentes solutions salines en NaCl.	20
3	Evolution des taux quotidiens de germination des graines de <i>C. tinctorius</i> en fonction de la durée de séjour dans les différentes solutions salines en Na ₂ SO ₄ .	21
4	Evolution des taux quotidiens de germination des graines de <i>P. oleracea</i> en fonction de la durée de séjour dans les différentes solutions salines en NaCl.	22
5	Evolution des taux quotidiens de germination des graines de <i>P. oleracea</i> en fonction de la durée de séjour dans les différentes solutions salines en Na ₂ SO ₄ .	23
6	Effet des concentrations croissantes en NaCl ou Na ₂ SO ₄ sur la capacité germinative des graines de <i>C. tinctorius</i> .	24
7	Effet des concentrations croissantes en NaCl ou Na ₂ SO ₄ sur la capacité germinative des graines de <i>P. oleracea</i> .	25
8	Variations des longueurs des radicules et des tigelles de <i>C. tinctorius</i> sous différentes concentrations en NaCl (A) ou Na ₂ SO ₄ (B).	26
9	Variations des longueurs des radicules et des tigelles de <i>P. oleracea</i> sous différentes concentrations en NaCl (A) ou Na ₂ SO ₄ (B).	27
10	Taux de germination de graines de <i>C. tinctorius</i> préalablement placées ou non (témoin) à germer pendant 07 jours en présence de 600 mM de NaCl ou de Na ₂ SO ₄ à 500 et 600 mM.	28
11	Taux de germination de graines de <i>P. oleracea</i> préalablement placées ou non (témoin) à germer pendant 07 jours en présence de 400 à 500 mM de NaCl ou de 300 à 500 mM de Na ₂ SO ₄	29

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
I	Caractéristiques des graines de deux espèces étudiées.	15
II	Préparation de différentes concentrations des solutions salines de NaCl ou Na ₂ SO ₄ .	16
III	Potentiel d'hydrogène (pH) et la conductivité électrique (C.E) de différentes concentrations des solutions salines.	16

Table des matières

Remerciements

Liste des abréviations

Liste des photos

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction..... 1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I-	Aperçu général sur le stress salin.....	3
I.1-	Notion de stress.....	3
I.2-	Notion de stress salin.....	3
I.3-	Salinisation des sols.....	3
II-	Aperçu général sur la germination.....	4
II.1-	Définition de la germination.....	4
II.2-	Types de germination.....	4
II.3-	Phases de germination.....	5
II.4-	Conditions de germination.....	6
II.4.1-	Conditions internes de germination.....	6
II.4.2-	Conditions externes de germination.....	7
II.4.2.1-	Eau.....	7
II.4.2.2-	Oxygène.....	7
II.4.2.3-	Température.....	7
II.4.2.4-	Lumière.....	7
III-	Effets de la salinité sur les processus physiologiques de la plante.....	8
III.1-	Effet de la salinité sur la germination.....	8
III.1.1-	Effets osmotiques.....	8
III.1.2-	Effets toxiques.....	8
III.2-	Effet de la salinité sur la croissance et le développement de la plante.....	8
III.2.1-	Effet sur la morphologie de la plante.....	8
III.2.2-	Effet sur la croissance et le développement des plantes.....	9
III.3-	Mécanismes de résistance à la salinité.....	10

III.3.1-	Inclusion et compartimentation des ions.....	10
III.3.2-	Exclusion.....	10
III.3.3-	Ajustement osmotique.....	11
IV-	Présentation des espèces étudiées.....	12
IV.1-	<i>Carthamus tinctorius</i> L.....	12
IV.1.1-	Description botanique.....	12
IV.1.2-	Systematique.....	12
IV.1.3-	Origine et répartition géographique.....	13
IV.1.4-	Utilisation.....	13
IV.2-	<i>Portulaca oleracea</i> L.....	13
IV.2.1-	Description botanique.....	13
IV.2.2-	Systematique.....	14
IV.2.3-	Origine et répartition géographique.....	14
IV.2.4-	Utilisation.....	14

Chapitre II : Matériel et méthodes

II.1-	Objectif de l'étude.....	15
II.2-	Matériel végétal.....	15
II.3-	Méthodologie de travail.....	16
II.3.1-	Préparation des solutions salines.....	16
II.3.2-	Préparation des graines et la mise en germination.....	16
II.3.3-	Paramètres étudiés.....	17
II.3.3.1-	Cinétique de germination.....	17
II.3.3.2-	Vitesse de germination.....	18
II.3.3.3-	Taux de germination final.....	18
II.3.3.4-	Longueurs des radicules et des tigelles.....	18
II.3.3.5-	Réversibilité de l'action des sels.....	19
II.3.3.6-	Analyse statistique.....	19

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1-	Résultats.....	20
III.1.1-	Cinétique de germination des graines de <i>C. tinctorius</i> stressées aux NaCl ou Na ₂ SO ₄	20
III.1.1.1-	Sous stress au NaCl.....	20
III.1.1.2-	Sous stress au Na ₂ SO ₄	21

III.1.2-	Cinétique de germination des graines de <i>P. oleracea</i> stressées aux NaCl ou Na ₂ SO ₄	22
III.1.2.1-	Sous stress au NaCl.....	22
III.1.2.2-	Sous stress au Na ₂ SO ₄	23
III.1.3-	Capacité germinative des graines de <i>C. tinctorius</i> L. stressées aux NaCl ou Na ₂ SO ₄	24
III.1.4-	Capacité germinative des graines de <i>P. oleracea</i> L. stressées aux NaCl ou Na ₂ SO ₄	25
III.1.5-	Effet de la salinité sur les longueurs des racines et des tiges des espèces étudiées.....	26
III.1.5.1-	Chez l'espèce <i>C. tinctorius</i>	26
III.1.5.2-	Chez l'espèce <i>P. oleracea</i>	27
III.1.6-	Réversibilité de l'action de sel.....	28
III.1.6- 1-	Chez l'espèce <i>C. tinctorius</i>	28
III.1.6- 2-	Chez l'espèce <i>P. oleracea</i>	29
III.2-	Discussion.....	30
	Conclusion	32
	Références bibliographiques	33
	Résumés	

Introduction

Les zones arides et semi-arides constituent environ les deux tiers de la surface du globe terrestre (Benbrahim et *al.*, 2004). Ces régions souvent marquées par des extrêmes climatiques saisonniers. L'évapotranspiration y est en effet beaucoup plus forte que les précipitations pendant une bonne partie de l'année, engendrent un déficit hydrique climatique, favorable à l'accumulation des sels solubles dans les sols qui peuvent atteindre un niveau suffisant pour rendre les terres impropres à la production végétale (Qadir et *al.*, 2001).

A l'échelle mondiale, près de 800 millions d'hectares de terres sont affectés par la salinité, soit plus de 6% de la superficie totale de la planète (Eynard et *al.*, 2006), dont 3,8% sont situés en Afrique (Marchanda et *al.*, 2008). L'Algérie, dont une grande partie des régions agricoles se caractérise par un climat aride et semi-aride, est touchée par le processus de salinité. Actuellement, près de 3,2 millions d'hectares sont menacés de salinisation dans ce pays (Benmahioul et *al.*, 2009).

La salinisation des sols est non seulement liée aux conditions climatiques, mais aussi à une extension de l'agriculture irriguée et l'utilisation intensive des ressources en eau, d'autant plus que la nappe phréatique est d'une qualité souvent médiocre (Rengasamy, 2010) ou à l'utilisation abusive des engrais (Yamaguchi et Blumwald, 2005).

Les fortes concentrations salines peuvent affecter les différents stades de développement de la plante. A un stade précoce de développement « germination », qui est considérée comme un stade critique dans le cycle de développement des végétaux, conditionne l'installation de la plante autotrophe et probablement sa production ultérieure (Tremblin et Binet, 1984). C'est le stade de développement le plus sensible au sel, en particulier pour les cultures exposées à des environnements hostiles. En effet, la salinité du sol peut affecter la germination des graines soit en créant un potentiel osmotique externe empêchant l'absorption d'eau, soit par les effets toxiques des ions Na^+ et Cl^- sur les graines en germination (Khodadad, 2011).

Au période végétative, la contrainte saline se pose un double problème. D'un côté, la présence de sels solubles, en diminuant le potentiel hydrique du sol, limite l'approvisionnement en eau de la plante. D'un autre côté, l'absorption de sels dans les tissus menace le bon fonctionnement physiologique des cellules (Mahajan et Tuteja, 2005).

Face à ce problème, la recherche des espèces adaptées à la salure à potentialités économiques et/ou écologiques comme les halophytes, est un enjeu fondamental pour l'exploration des écosystèmes salins.

Bien que les halophytes se poussent naturellement dans des milieux fortement salins et possèdent une concentration très élevée en sel dans leurs tissus au stade adulte, leurs graines ne sont pas autant tolérantes au sel au stade germination. La germination des graines des plantes halophytes en milieu salin, est hautement variable et spécifique à l'espèce (Ungar, 1978).

Nombreuses recherches ont rapporté que les graines des halophytes ne germent pas lorsqu'elles sont exposées à de hautes salinités. D'autres recherches ont rapporté que la germination des halophytes est d'autant plus complexe et plus rapide que le milieu où sont immergées les semences est plus dilué (Bidai, 1999).

- Dans ce contexte que s'intègre ce travail dont l'objectif est d'évaluer la variabilité des réponses de *Carthamus tinctorius* L. et *Portulaca oleracea* L., au stress en NaCl ou Na₂SO₄ au stade de germination. Deux espèces associant la tolérance à la salinité et les intérêts médicaux et alimentaires, reconnues comme culture ancestrale, cultivées dans la région d'Oued Righ pour ses multiples vertes thérapeutiques. Des recherches ont montré qu'elles sont des sources importantes d'acides gras, hautement riches en oméga-3, acide gras insaturé qui aide à réduire le taux de cholestérol dans le sang (Van der Vossen et al., 2007 ; Emongor, 2010 ; Dugawale et al., 2019).

Notre étude est structurée en trois chapitres :

Le premier illustre un aperçu général sur la salinité des sols, effets de la salinité sur les différents stades de développement des plantes et leurs mécanismes d'adaptation aux stress salin.

Le deuxième décrit le matériel biologique et l'ensemble des méthodes utilisées dans notre étude.

Le troisième regroupe l'ensemble des résultats qui seront suivis d'une discussion, et enfin une conclusion générale sur l'ensemble de ce travail, ainsi que les perspectives de sa continuité ont été dégagées.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

I- Aperçu général sur le stress salin**I.1- Notion de stress**

Le stress fondamentalement est un concept mécanique, définie comme étant une force ou une influence hostile qui tend à empêcher un système normal de fonctionner (Hopkins, 2003).

Au sens physiologique du terme, le stress est un ensemble des perturbations physiologiques ou pathologiques qui soumet un organisme. Ces perturbations peuvent être de natures physiques (pression, radiation, température, dessiccation,...), environnementales (prédation, agression, compétition,...), chimiques (toxine, métaux, oxygène,...) ou nutritionnelle (carence) (Maarouf et Raynaud, 2007 ; Marty, 2011).

I.2- Notion de stress salin

Le stress salin est un excès d'ions dans la rhizosphère en particulier, mais pas exclusivement aux ions Na^+ et Cl^- (Hopkins, 2003). La conductivité électrique des solutions des sols saturés en sels est supérieure à quatre décisiemens par mètre (4 dS/m), l'équivalent de 40 mM de NaCl (Ashraf et *al.*, 2008).

D'après Levigneron et *al.* (1995), les conséquences d'un stress salin peuvent résulter de trois types d'effets que le sel provoque chez les plantes :

- Un déficit hydrique, une forte concentration en sel dans le sol est tout d'abord perçu par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau ;
- Un stress ionique, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation des sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique ;
- Un stress nutritionnel, des concentrations salines trop fortes dans le milieu, provoquent une altération de la nutrition minérale, en particulier *vis-à-vis* des transporteurs ioniques cellulaires. Le sodium entre en compétition avec le potassium et le calcium, et le chlorure avec le nitrate, le phosphore et le sulfate.

I.3- Salinisation des sols

La salinisation des sols devient un grave problème dans le monde entier. Parmi les 230 millions d'hectares de terres agricoles actuellement utilisées dans le monde, 20% sont affectés par le sel (Chen et *al.*, 2018).

L'Algérie, dont une grande partie des régions agricoles se caractérise par un climat aride et semi-aride, est touchée par le processus de salinité. Actuellement, près de 3,2 millions d'hectares sont menacés de salinisation dans ce pays (Benmahioul et *al.*, 2009).

Selon Yadav *et al.* (2011) et Amini *et al.* (2015), les sols sont affectés par le sel lors des processus de salinisation primaire et secondaire :

- la salinisation primaire inclut les sols à forte densité naturelle (Amini *et al.*, 2015), ils sont développés en raison de processus géologiques, hydrologiques et pédologiques naturels. Parmi les matériaux de base de ces sols figurent des roches ignées intermédiaires telles que les phénolytes, des roches ignées de base telles que le basalte, des roches volcaniques indifférenciées, des grès, des alluvions et des dépôts lagunaires (Yadav *et al.*, 2011) ;

- la salinisation secondaire (salinité anthropique) est une conséquence d'activités humaines telles que l'irrigation avec de l'eau salée sans lixiviation suffisante du sel, ce qui augmente la concentration en sel dans la zone racinaire, drainage insuffisant et au taux d'évaporation élevé, d'une fertilisation excessive et d'un labour excessif (Amini *et al.*, 2015).

II- Aperçu général sur la germination

II.1- Définition de la germination

La germination est la première étape du cycle de vie d'une plante. C'est un phénomène complexe dans lequel les graines sèches mûres passent d'un état de vie ralentie, où le métabolisme est pratiquement arrêté à un état d'activité métabolique intense (Maciejewski, 1991 ; Nadeem, 2011).

La germination comprend les événements qui commencent avec l'absorption d'eau par une graine sèche au repos et se terminent par l'allongement de l'axe embryonnaire (Bewley, 1997).

II.2- Types de germination

Il existe deux types de germination basés sur le destin des cotylédons, selon que les cotylédons se développent au-dessus de la surface du sol ou restent sous la surface du sol.

Le terme épigé désigne le type de germination lorsque les cotylédons sont remontés au-dessus de la surface du sol par hypocotyle où ils continuent de fournir un soutien nutritif aux points de croissance jusqu'à l'épuisement des réserves de cotylédons. La germination épigée est considérée sur le plan de l'évolution plus primitive que la germination hypogée ;

Par contre, la germination hypogée est une caractéristique de certaines semences, où les cotylédons sont restés sous la surface du sol et soutenaient les plantules (Miller, 2001).

II.3- Phases de germination

D’après François et *al.* (2009), le processus germinatif met en jeu des phénomènes morphologiques et physiologiques qui s’opère en trois phases (Figure 1).

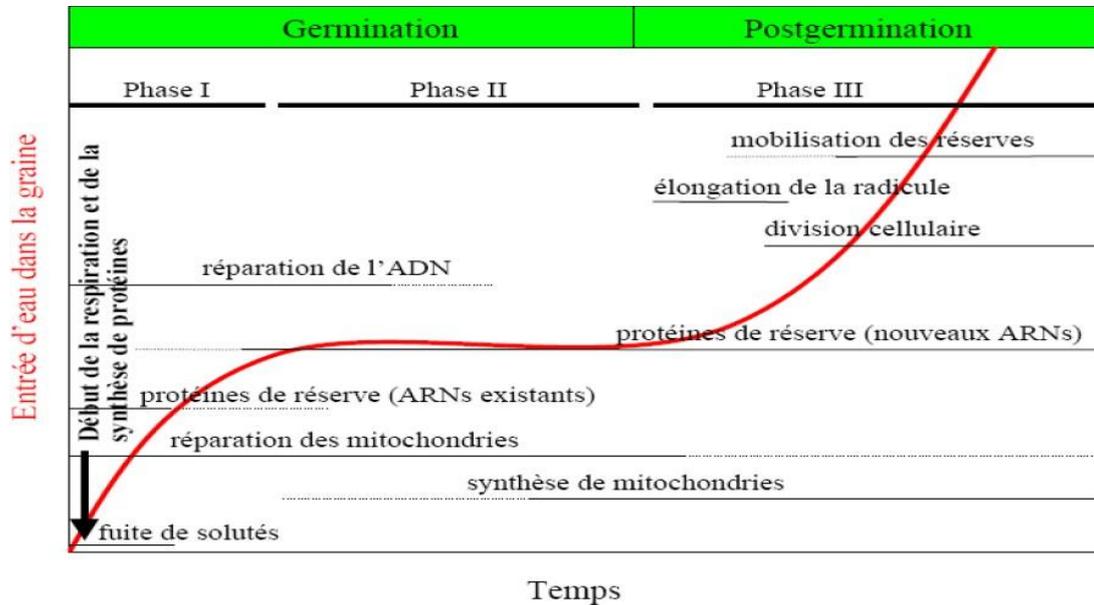


Figure 1: Principaux événements liés à la germination (Bewley, 1997).

✓ **Phase I :** phase d’imbibition (ne dure que quelques heures), est une entrée rapide et passive d’eau, elle se déroule même si la graine n’est pas viable et qui voit la graine augmenter de volume. Cette entrée d’eau est accompagnée d’importante respiration, l’augmentation de la consommation d’oxygène attribuée à l’activation des enzymes mitochondriales pour oxyder les réserves de toute nature en vue d’acquérir l’énergie nécessaire à l’émergence radriculaire (Michel, 1997).

✓ **Phase II :** phase de germination au sens strict (de durée très variable, elle est de quelques jours à quelques mois) caractérisée par une diminution de l’entrée d’eau (l’hydratation des tissus et des enzymes est totale) et une consommation d’oxygène stable. La présence d’eau et d’oxygène permet l’activation des processus respiratoires et mitotiques (François et *al.*, 2009) .

L’eau rend mobile et active les phytohormones hydrosolubles en stock dans la graine. C’est le cas des gibbérellines qui sont véhiculées vers la couche à aleurones où elles vont activer la

synthèse d'hydrolases (les α -amylases, les nucléases ou les protéases) nécessaires à la dégradation des réserves, à la division et l'élongation cellulaire (François et *al.*, 2009).

La graine s'imbibe d'eau et se gonfle, le tégument se fend et la radicule émerge et se recourbe et s'implante dans le milieu (sol) selon un géotropisme (gravi-tropisme) positif (Ozenda, 2006). Puis, la tigelle émerge et s'allonge vers le haut (le ciel). Les téguments de la graine se dessèchent et tombent (Meyer et *al.*, 2004).

✓ **Phase III** : phase de croissance post-germinative (dure quelques jours), correspond à l'installation et au développement de la plantule. Cette phase est caractérisée par une nouvelle prise de l'absorption d'eau et une augmentation importante de la respiration. La consommation de l'oxygène serait due aux enzymes néosynthétisées (François et *al.*, 2009).

II.4- Conditions de germination

La germination des graines exige des conditions internes favorables, qui fait partie de la graine, mais également que des conditions externes, à savoir les facteurs climatiques (humidité, oxygène, température...) soient propices.

II.4.1- Conditions internes de germination

Les conditions internes de la germination concernent la graine elle-même, qu'elle doit avoir atteint sa maturité morphologique (toutes les parties qui la constituent soient complètement différenciées morphologiquement) et atteint sa maturité physiologique (l'embryon de la graine est prêt à croître pour former les racines et plantules de la jeune plante) (Heller et *al.*, 2000), ainsi qu'elle doit être vivante, saine et apte à germer (non dormante) (Jeam et *al.*, 1998).

Une graine viable est qualifiée dormante lorsqu'elle ne germe pas dans des conditions environnementales a priori favorables (Baskin et Baskin, 2001). De nombreux auteurs se sont aujourd'hui accordés pour différents types de dormance :

✓ Dormance morphologique, qui est caractérisée par la présence d'un embryon immature ;

✓ Dormance physiologique, ce type de dormance est associée à la présence d'une inhibition physiologique (un ratio ABA/GA₃ élevé) empêchant l'émergence racinaire ;

✓ Dormance physique, cette forme de dormance est induite par la présence d'un tégument qui imperméabilise la graine *vis-à-vis* du monde extérieur. L'embryon ne peut ni être hydraté ni avoir les ressources en oxygène nécessaires à la germination.

II.4.2- Conditions externes de germination

La graine exige la réunion des conditions extérieures favorables à savoir la disponibilité en eau, en oxygène, la température et la lumière.

II.4.2.1- Eau

Selon Chaussat et Ledunff (1975) et Vallée et *al.* (2006), la germination exige obligatoirement de l'eau, celle-ci doit être disponible dans le milieu extérieur en quantité suffisante mais aussi sous des liaisons suffisamment faibles pour que la graine puisse l'absorber. Elle pénètre par capillarité dans les enveloppes. Elle est remise en solution dans les réserves de la graine, pour être utilisée par l'embryon et provoque le gonflement de leurs cellules, au moment de leur division.

II.4.2.2- Oxygène

L'oxygène est nécessaire à la germination de la plupart des espèces. Un substrat trop humide a pour conséquence un manque d'oxygène pour la semence. Si la concentration d'oxygène est réduite de façon significative en dessous de celle de l'air (21%), la germination de la plupart des semences est inhibée (Vallée et *al.*, 2006).

II.4.2.3- Température

La température agit soit directement par l'augmentation de la vitesse des réactions métaboliques, c'est la raison pour laquelle il suffit d'élever la température de quelque degré pour stimuler la germination (Mazliak, 1982), soit indirectement, par leur effet sur la solubilité de l'oxygène (Chaussat et Ledunff, 1975). En effet, quand la température augmente, la solubilité de l'oxygène dans l'eau d'imbibition diminue, réduit la disponibilité de l'oxygène pour l'embryon, provoquer ainsi l'entrée de l'embryon en dormance secondaire (thermodormance).

II.4.2.4- Lumière

La lumière agit de manière différente sur les espèces. Elle inhibe la germination des graines à photosensibilité négative et stimule celles à photosensibilité positive (Anzala, 2006). Les espèces indifférentes à la photosensibilité sont rares (Heller et *al.*, 1990).

III- Effets de la salinité sur les processus physiologiques de la plante**III.1- Effet de la salinité sur la germination**

La germination est influée par des facteurs génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et en particulier par la disponibilité de l'eau et la présence de sels dans le sol (Gutterman, 1993 *in* Ndour et Danthu, 2000). Plusieurs auteurs ont montré un retard de la germination causé par la salinité chez plusieurs espèces (Ndour et Danthu, 2000 ; Benata et *al.*, 2006; Boughalagh et *al.*, 2006). Les sels agissent sur la germination des graines en réduisant leur faculté et/ou leur énergie germinative, selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique :

III.1.1- Effets osmotiques

Les effets osmotiques se traduisent par l'inaptitude des graines à absorber des quantités suffisantes en eau pour les ramener à leur seuil critique d'hydratation, nécessaire au déclenchement du processus de germination ;

III.1.2- Effets toxiques

Les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination (Rejili et *al.*, 2006).

III.2- Effet de la salinité sur la croissance et le développement de la plante

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes (Bouaouina et *al.*, 2000). En effet, les dégâts causés par le stress salin se manifestent communément par des modifications sur le plan morphologique et physiologique (Laribi et *al.*, 2016).

III.2.1- Effet sur la morphologie de la plante

Les effets de la salinité sur la croissance des plantes varient en fonction du type de sels, de leur concentration, de l'espèce, de la variété, de l'organe de la plante, ainsi que de son stade végétatif (Levigneron et *al.*, 1995). La présence d'une forte concentration en NaCl, diminue la croissance de la partie aérienne et racinaire, retarde l'émergence des nouvelles feuilles, limite l'accumulation de K^+ et Ca^{+2} dans ces organes et réduit la longueur des

feuilles et des coléoptiles (Bouaouina et *al.*, 2000 ; Benderradji et *al.*, 2010 ; Mrani-Alaoui et *al.*, 2013).

Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes. L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{+2} , il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{+2} pour les mêmes sites de fixation apoplasmiques (Haoula et *al.*, 2007), provoque une diminution de la biomasse sèche, une réduction de la surface foliaire et de la longueur des racines (Benkhaled et *al.*, 2007).

III.2.2- Effet sur la croissance et le développement des plantes

La salinité affecte la croissance des végétaux à travers l'altération de la photosynthèse, l'absorption des éléments nutritifs, la respiration, la synthèse des protéines et des acides nucléiques, l'accumulation des solutés organiques, l'activité des enzymes, l'équilibre hormonal et la disponibilité en eau (Benkaddour, 2014).

Les racines sont les premiers organes confrontés à l'augmentation du sel, il a été observé que des concentrations importantes de polypeptides appelés osmotine, s'accumulent dans les plantes au niveau des vacuoles de cellules de tabac soumises à des doses élevées de sel (Singh et *al.*, 1987).

L'excès de sel devient toxique à un certain degré et accélère la sénescence naturelle des feuilles, en réduisant la capacité photosynthétique causée par la fermeture des stomates qui limite l'entrée du CO_2 (Zhu, 2001; Munns, 2002). Le contrôle et la régulation stomatique fait intervenir la turgescence cellulaire mais également des signaux racinaires, comme l'acide Abscisique (ABA) (Zhang et Davies, 1989 ; Davis et *al.*, 1994).

Par exemple chez le petit pois, le stress salin provoque la perte de l'enveloppe chloroplastique, l'apparition de gouttelettes lipidiques et la dégradation des membranes thylakoïdiennes (Olmos, 1996).

III.3- Mécanismes de résistance à la salinité

La résistance est la capacité des plantes à s'adapter à la salinité. Cela peut être obtenu par la capacité des cellules en croissance d'une plante à éviter les fortes concentrations en ions ou par la capacité des cellules à faire face aux fortes concentrations en ions (Yadav et *al.*, 2011). Chez les plantes sensibles au NaCl sont dites «*excluder*», puisque le Na^+ s'accumule dans les racines mais il est exclu des feuilles. Par contre, les plantes tolérant le NaCl sont dites «*includer*» car elles ont en général des feuilles plus chargées en Na^+ que les racines lorsqu'elles sont cultivées en présence de sel (Haoula et *al.*, 2007).

III.3.1- Inclusion et compartimentation des ions

La compartimentation des ions entre les organes (racines/parties aériennes), les tissus (épiderme/mésophile), ou encore entre les compartiments cellulaires (vacuole/cytoplasme) est l'un des mécanismes d'adaptation des plantes à la contrainte saline (Ouerghi et *al.*, 1998). L'inclusion et la compartimentation des ions est la stratégie la plus efficace pour éviter la toxicité de Na^+ sur des sites métaboliques dans le cytoplasme (Jebnoune, 2008 *in* Bouchoukh, 2010). Les halophytes utilisent ce mécanisme de compartimentation de sodium dans la vacuole afin de pouvoir générer un potentiel osmotique au sein des cellules, nécessaire à l'absorption de l'eau au niveau des sols salés (Hanana et *al.*, 2011). La plante utilise en effet le sel pour ajuster la pression osmotique de ses cellules, elle capte le sel qui parvient aux feuilles, au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de "pompes" moléculaires. Les vacuoles étant des compartiments fermés au sein de la cellule, le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (Sentenac et Berthomieu, 2003).

Aussi, la vacuole se chargerait en sodium grâce à l'action d'un antiport sodium-proton Na^+/H^+ , lequel serait entretenu par le fonctionnement accéléré des pompes à proton Na^+/H^+ . L'existence d'un système d'échange Na^+/H^+ est largement admise (Levigneon et *al.*, 1995).

III.3.2- Exclusion

Certains halophytes peuvent empêcher l'absorption excessive du sel par son exclusion du sel au niveau des racines et de la partie inférieure de la tige. La présence de l'endoderme dans les racines ainsi que le transport sélectif, leur permet d'absorber les ions nutritifs utiles et de ré-excréter les ions Na^+ (Genoux et *al.*, 2000). L'exclusion du sodium est un processus actif, assuré par un système antiport Na^+/H^+ qui utilise la force du proton motrice généré par la pompe H^+ -ATPase pour exclus les ions Na^+ hors de la cellule (Blumwald et *al.*, 2000).

La sortie de Na⁺ des vaisseaux du xylème en échange d'une entrée de K⁺ venant des cellules parenchymateuses du xylème et du parenchyme avoisinant, joue un rôle important dans la tige et les racines (Luttge et *al.*, 2002).

III.3.3- Ajustement osmotique

L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs (acides aminés libres, proline et sucres solubles totaux,...) conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence (Zouaoui et *al.*, 2018). L'accumulation de ces composés varie dans leurs proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité (El Midaoui et *al.*, 2007). L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires: stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines. La proline serait synthétisée à partir de l'acide glutamique via l'acide 5 carboxylique 1 pyrroline (P5C), mais également via l'arginine et l'ornithine (Tahri et *al.*, 1998). L'accumulation de proline contribuerait non seulement à l'ajustement osmotique, mais aussi à la stabilisation des membranes cellulaires en réagissant réciproquement avec les phospholipides (Claussen, 2005), la protection des structures cellulaires et notamment des protéines contre les effets déstabilisants de l'abaissement de l'activité de l'eau (Steinitz, 1999). Elle intervient aussi dans la détoxification des formes actives d'oxygène « espèces réactives de l'oxygène (ROS) » (Hanana et *al.*, 2011).

Selon Regragui (2005), le stress salin induit chez plusieurs espèces de plantes, des modifications dans les teneurs relatives des hydrates de carbone avec une accumulation plus ou moins importante des sucres solubles totaux (saccharose, glucose et fructose). Ces derniers sont également impliqués dans l'ajustement osmotique et l'osmoprotection (Yadav et *al.*, 2011), ils participent au maintien de la balance de la force osmotique pour garder la turgescence et le volume cytosolique aussi élevé que possible et permettent également une préservation de l'intégrité membranaire, ainsi qu'une protection des protéines (Zerrad et *al.*, 2006).

IV- Présentation des espèces étudiées

IV.1-*Carthamus tinctorius* L.

IV.1.1- Description botanique

Le carthame ou faux safran (*Carthamus tinctorius* L.) est une plante herbacée tinctoriale et oléagineuse, appartient à la famille des *Astéraceae*. C'est une espèce annuelle à bisannuelle reconnue comme culture industrielle, pouvant mesurer jusqu'à 1 m. Les feuilles disposées en spirale, sessiles, simples, limbe oblong à ovale lancéolé, bords à dents plus ou moins vert foncé brillant. Des tiges épineuses, cylindriques solides, blanc verdâtre, ramifiées au sommet et chaque ramification est terminée par un capitule florale jaune rougeâtre. Le nombre des capitules est d'environ 30 par plante. Le capitule contient en moyenne 40 fleurs. L'involucre est constitué de bractées épineuses ou inermes selon les variétés. Les graines sont blanches et luisantes, dépourvues d'albumen, mûrissent en été. Le système racinaire est gris brunâtre, bien développé, pivotante épaisse et charnue, qui s'enfonce profondément dans le sol, permet à la plante de résister à la sécheresse (Barbier, 1976 ; Van der Vossen et *al.*, 2007).

IV.1.2- Systématique

Selon Quezel et Santa (1963), le *Carthamus tinctorius* L. est une espèce du,

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Asterales

Famille : Asteraceae

Genre : *Carthamus*

Espèce : *Carthamus tinctorius* L.

Nom commun : Faux safran, safran mexicain, carthame des teinturiers, graine des perroquets.

Nom vernaculaire arabe : El zaafour (C.R.S.T.R.A, 2009).



Photo 1: *Carthamus tinctorius* L.

(Source personnelle).

IV.1.3- Origine et répartition géographique

Carthamus tinctorius L. n'est connu que comme espèce cultivée et est probablement originaire du Proche-Orient. Cette culture s'est répandue également vers l'Ouest en Europe en Afrique du Nord, en Amériques, en France et en Turquie. Le Soudan, l'Éthiopie, le Kenya et la Tanzanie en sont les principaux producteurs en Afrique tropicale (Van der Vossen et al., 2007).

IV.1.4- Utilisation

Le carthame a de nombreuses propriétés pharmacologiques et biologiques, cardioprotectrices, neuroprotectrices, purgatives, laxatives, sudorifiques et antitumorales ce qui lui confère un large usage. Elle est cultivée pour ses fleurs, utilisée pour colorer et aromatiser des aliments et pour fabriquer des colorants. Les graines de carthame étaient utilisées comme source d'huile pour l'industrie des peintures. Aujourd'hui, son huile comestible est utilisée pour la cuisson, la fabrication de la margarine et de l'huile de salade. La farine de graines décortiquées est employée pour produire des suppléments alimentaires riches en protéines pour humains (Van der Vossen et al., 2007 ; Emongor, 2010; Mirhoseini et al., 2012).

IV.2- *Portulaca oleracea* L.

IV.2.1- Description botanique

Portulaca oleracea L. est une herbacée annuelle succulente, abondamment ramifiée, érigée ou prostrée, appartient à la famille des *Portulacaceae*. Les tiges vertes à rougeâtres ou brunâtres, peuvent atteindre 50 cm de long, glabres, mais garnies de poils aux nœuds à l'état jeune. Sa racine est pivotante et charnue. Les feuilles sont alternes à plus au moins opposées ou en verticilles sur les rameaux terminaux, simples, les stipules sont absentes, les pétioles de 1 à 3 mm de long, le limbe est obovale à spatulé, de 0,5 à 1 cm de large et de 0,1 à 2 cm de long, cunéiforme à la base, arrondi à l'apex et entier. La floraison du pourpier a lieu de juillet à octobre. Le fruit est une capsule ovoïde d'environ 4 mm de long ; ces fruits sont caractérisés par leur mode de déhiscence circulaire juste en dessous du milieu, qui contiennent de nombreuses graines. Ces graines sont orbiculaires-réniformes, de 0,5 à 1 mm de diamètre, de couleur brun rougeâtre lorsqu'elles ne sont pas mûres et deviennent noires une fois mûres (Nicolas, 2012 ; Hwess et al., 2017).

IV.2.2- Systématique

D'après Cronquist (1981), le *Portulaca oleracea* L. est une espèce du,

Règne : Plantae

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Caryophyllidae

Ordre : Caryophyllales

Famille : Portulacaceae

Genre : *Portulaca*

Espèce : *Portulaca oleracea* L.

Nom vernaculaire : pourpier, kurfa ou herbe de porc.



Photo 2: *Portulaca oleracea* L.

(Source personnelle).

IV.2.3- Origine et répartition géographique

Portulaca oleracea L. est une adventice cosmopolite qu'on rencontre surtout dans les régions chaudes et tempérées de la Terre, pourrait être originaire d'Asie et s'étendre à d'autres parties du monde, notamment en Afrique et dans la région méditerranéenne, au Moyen-Orient, en Asie du Sud, en Europe, en Amérique et en Australie (Syed et al., 2016 ; Dugawale et al., 2019).

IV.2.4- Utilisation

Le pourpier est une plante médicinale agréable qui a de multiples usages. On attribue au pourpier les propriétés suivantes ; antiscorbutique, relaxante et vermifuge, anticancéreuses, antidiabétiques, hypocholestérolémiques, neuroprotectrices, hépatoprotectrices, néphroprotectrices, anti-inflammatoires, anti-ulcéreuses, antimicrobiennes et anti-oxydantes (Dugawale et al., 2019). Il a été utilisé pour la cicatrisation des plaies, le contrôle des saignements utérins et les activités vermicides et insecticides. L'herbe est utilisée comme sédatif gastrique. Elle dissiperait la chaleur excessive et la douleur, et est appliquée sur les yeux, pour supprimer l'inflammation (Hwess et al., 2017).

Chapitre II

Matériel et méthodes

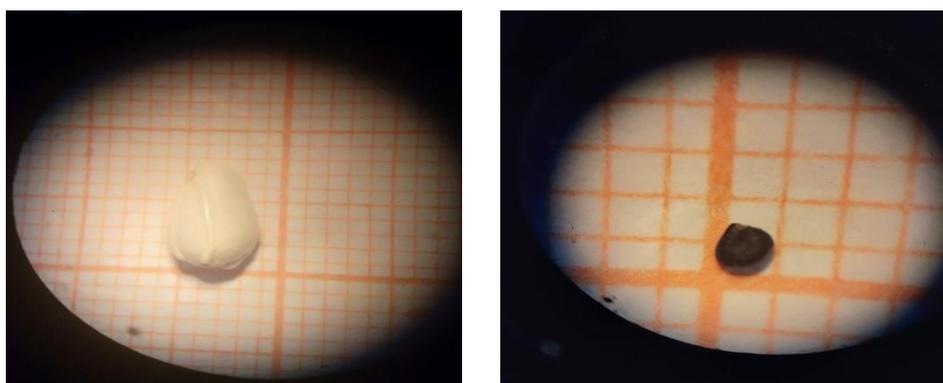
II.1- Objectif de l'étude

Le présent travail se concentre sur l'évaluation de la variabilité du comportement germinatif des graines de *C. tinctorius* et *P. oleracea* vis-à-vis des concentrations croissantes en NaCl ou Na₂SO₄.

II.2-Matériel végétal

Dans cette étude, nous avons conduit une expérimentation au laboratoire pédagogique de faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université Kasdi Merbeh- Ouargla, qui porte sur les graines de *C. tinctorius* et *P. oleracea* (Photo 3).

Les graines ont été récoltées en Août 2018 dans la région de Méggarine Wilaya de Ouargla. Les capsules ont été ouvertes et les graines libérées puis conservées dans des flacons en verre sombre et hermétiquement ferme. Ces dernières sont sélectionnées selon leur taille, leur couleur et l'état sanitaire, dont les principales caractéristiques sont données dans le tableau I.



Carthamus tinctorius L.

Portulaca oleracea L.

Photo 3 : Graines des espèces étudiées sous la loupe binoculaire

(Source personnelle).

Tableau I: Caractéristiques des graines de deux espèces étudiées.

Espèces	Poids de 100 graines (g)	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Couleur
<i>C. tinctorius</i>	3,96 ± 0,07	7,80 ± 0,84	4,20 ± 0,75	Blanche
<i>P. oleracea</i>	0,02 ± 0,00	1 ± 0	1 ± 0	Noire

II.3- Méthodologie de travail

II.3.1- Préparation des solutions salines

Nous avons utilisé pour l'imbibition des graines deux types de sels (agents stressants), le NaCl et le Na₂SO₄. Le choix de ces deux types de sels se repose sur la base de leurs dominances dans les sols de la région de Ouargla (Idder *et al.*, 2014).

Nous avons préparé une solution mère de 600 mM (35,06 g pour NaCl) et (85,23 g pour Na₂SO₄) à base de 1000 mL d'eau distillée, puis à partir de cette solution mère nous avons préparé des solutions filles de concentration croissante de 0 à 500 mM (Tableau II et III).

Tableau II: Préparation de différentes concentrations des solutions salines de NaCl ou Na₂SO₄.

Concentration (mM)	0	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
Volume de la solution mère ajusté à 60 mL	0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Volume d'eau distillée	50	40	45	40	35	30	25	20	15	10	05	0

Tableau III: Potentiel d'hydrogène (pH) et la conductivité électrique (C.E) de différentes concentrations des solutions salines.

Concentration (mM)		100	150	200	250	300	350	400	450	500	600
NaCl	pH	7,32	7,44	7,31	7,04	6,96	6,88	6,89	6,93	7,03	6,81
	C.E (mS/cm)	9,9	13,3	17,5	20,2	23,6	27	30,3	33,4	35,5	40,5
Na ₂ SO ₄	pH	7,37	7,34	7,27	7,33	7,33	7,76	7,51	8,03	7,23	7,68
	C.E (mS/cm)	12,3	17,4	22,1	26,2	27,4	31,5	34,9	37,8	40,6	45,1

II.3.2- Préparation des graines et la mise en germination

Avant la mise en germination, les graines sont désinfectées à l'eau de javel à 5% pendant 5 minutes (élimination éventuels des champignons), lavées abondamment à l'eau de robinet, puis rincées 3 fois à l'eau distillée pour éliminer tous les traces de l'eau de chlore.

Ensuite, elles sont mises à germer dans des boîtes de Pétri de 9 cm de diamètre tapissés de papier filtre à raison de 20 graines par boîte (Photo 4).

Un volume de 5ml d'eau distillée pour les lots des graines témoins et de différentes solutions saline pour les lots des graines stressées, puis ont été rajoutes 2 ml tous les trois jours durant toute l'expérimentation. Après, un volume de 2 ml des solutions correspondantes ont été rajoutes selon le besoin durant toute l'expérimentation. Chaque traitement est répété quatre fois. Les boîtes de pétri sont placées à l'obscurité dans un phytotron réglé à une température de $25 \pm 02^{\circ}\text{C}$.

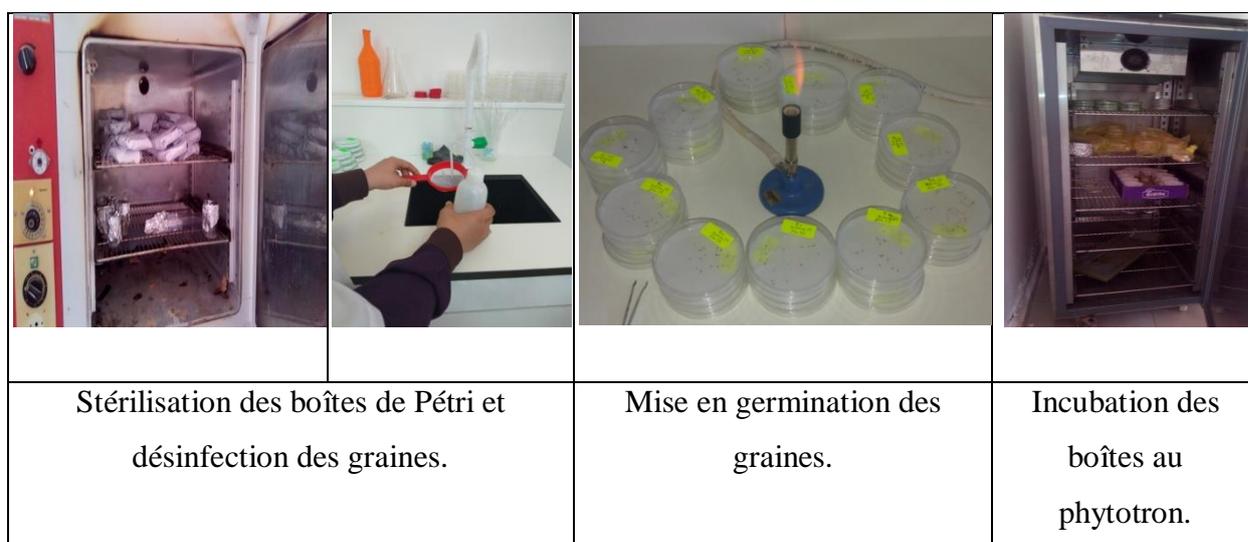


Photo 4 : Différentes étapes de l'essai de germination (Source personnelle).

La germination est repérée par la sortie de la radicule hors des téguments de la graine dont la longueur est d'au moins 2 mm. Le comptage de graines germées a été réalisée quotidiennement jusqu'au 7^{ème} jour après la mise en boîtes de Pétri des graines.

II.3.3- Paramètres étudiés

Au cours de cette expérimentation, les paramètres étudiés sont:

II.3.3.1- Cinétique de germination

La cinétique de germination représente le nombre de graines germées quotidiennement jusqu'au 7ème jour de l'expérience (Hajlaoui et *al.*, 2007).

II.3.3.2- Vitesse de germination

La vitesse de germination permet d'exprimer l'énergie de germination responsable de l'épuisement des réserves de la graine. Elle peut être exprimée par le temps moyen de germination (T50 : temps au bout duquel on atteint 50 % des graines germées). Elle est déterminée par la formule de Côme (1970).

$$\text{Durée médiane (T50)} = T1 + (0.5 - G1 / G2 - G1) \times (T2 - T1).$$

Avec : G1 = pourcentage cumulé des graines germées au temps T1 dont la valeur est la plus proche de 50 % par valeur inférieure.

G2 = pourcentage cumulé des graines germées au temps T2 dont la valeur est la plus proche de 50% par valeur supérieure.

II.3.3.3- Taux de germination final

Le taux de germination final est le meilleur moyen d'identification de la concentration saline qui présente la limite physiologique de germination des graines. Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur nombre total de graines (Mrani-Alaoui et *al.*, 2013).

$$\text{TGF \%} = (NI/NT) \times 100$$

Où NI : Le nombre des graines germées.

NT : Le nombre total des graines met en germination.

II.3.3.4- Longueurs des racines et des tiges

Les longueurs des racines et des tiges ont été mesurées à l'aide d'une règle graduée, et ce pour évaluer la croissance de la plantule *vis-à-vis* du stress (Photo 5).

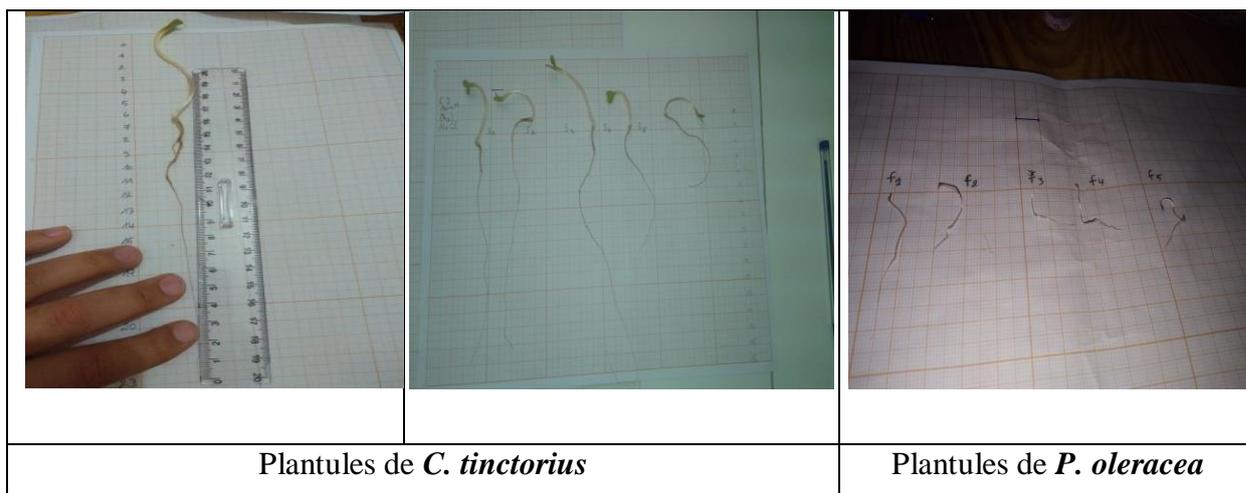


Photo 5 : Mesures des longueurs des radicules et des tigelles des plantules de *C. tinctorius* et de *P. oleracea* (Source personnelle).

II.3.3.5- Réversibilité de l'action des sels

La réversibilité de l'effet inhibiteur des sels sur la germination des graines a l'avantage de déterminer l'origine de l'effet dépressif du sel, s'il est de nature osmotique et/ou toxique. Dans ce cadre, les graines qui n'ayant pas pu germer à différentes concentrations salines. Au 7^{ème} jour, les graines non germées sont rincées trois fois avec l'eau distillée pour éliminer le sel non absorbé, puis transférées dans une nouvelle boîte ne contenant que l'eau distillée et pendant 7 jours supplémentaires, ensuite les graines ayant germé ont été comptées. Elle peut être exprimée par l'indice de récupération.

$$IR\% = (a - b/c - b) * 100$$

Où a : nombre totale des graines germés après transfert dans l'eau distillé.

b : nombre totale des graines germés dans la solution saline.

c : nombre totale des graines.

II.3.3.6- Analyse statistique

Les résultats obtenus correspondent à la moyenne de 04 répétitions. L'analyse de variance est effectuée par le logiciel Microsoft office Excel **XLSTAT 2009** et la comparaison des moyennes est faite par le test Tukey au seuil de probabilité de 5%.

Chaque moyenne est affectée d'une lettre, les moyennes suivies d'une même lettre n'étant pas significativement différentes.

Chapitre III

Résultats et discussion

III.1- Résultats

III.1.1- Cinétique de germination des graines de *C. tinctorius* stressées aux NaCl ou Na₂SO₄

L'évolution des taux cumulés de germination des graines de *C. tinctorius* soumises à des concentrations croissantes en NaCl ou Na₂SO₄ en fonction du temps est illustrée dans les figures (2 et 3).

III.1.1.1- Sous stress au NaCl

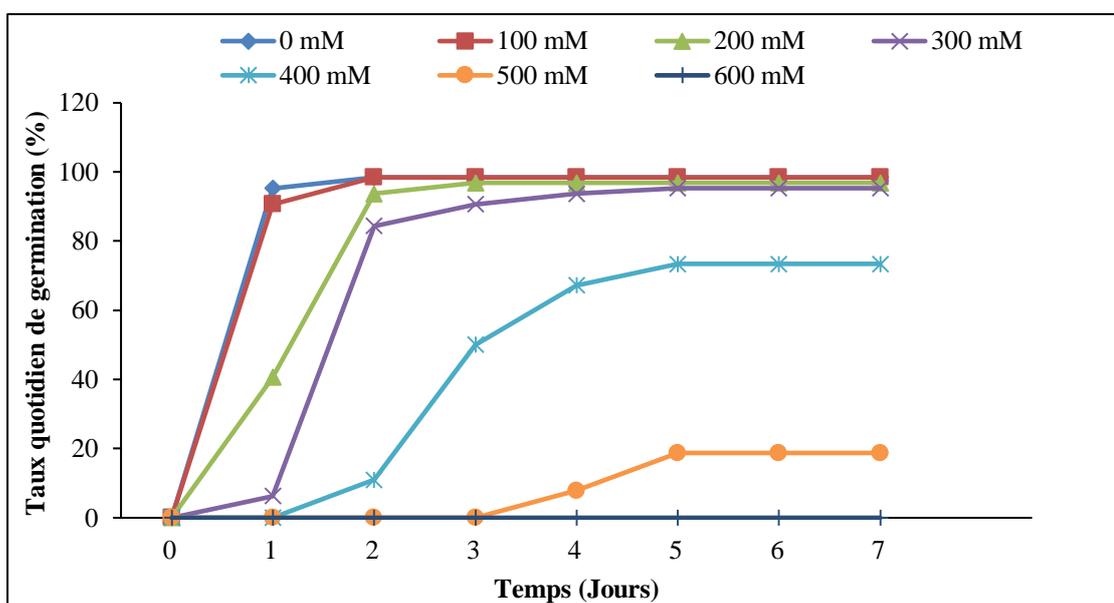


Figure 2 : Evolution des taux quotidiens de germination des graines de *C. tinctorius* en fonction de la durée de séjour dans les différentes solutions salines en NaCl.

L'allure générale des courbes de cinétique de germination des lots des graines témoins et ceux recevant les faibles concentrations de NaCl (100 et 200 mM) sont pratiquement semblables (Figure 2). La germination commence dès le 1^{er} jour du semis mais avec des taux relativement faibles par rapport aux témoins, atteignant respectivement 91 et 41% contre 95%. Ensuite, ils tendent à rejoindre le pourcentage atteint par les graines témoins (98 %) le 2^{ème} jour et le 3^{ème} jour respectivement.

Les graines stressées au NaCl de 300 mM évoluent lentement pour atteindre un taux de 95 % au bout du 4^{ème} jour du semis. Tandis que les graines arrosées aux 400 et 500 mM de

NaCl ne germent qu'au bout du 2^{ème} et 4^{ème} jour avec des taux relativement bas soit de 03 et 11%, respectifs pour suivre une évolution lente et arriver à des taux de 73 et 19 % le 5^{ème} jour.

Aucune graine n'y germer au niveau du lot de 600 mM de NaCl.

III.1.1.2- Sous stress au Na₂SO₄

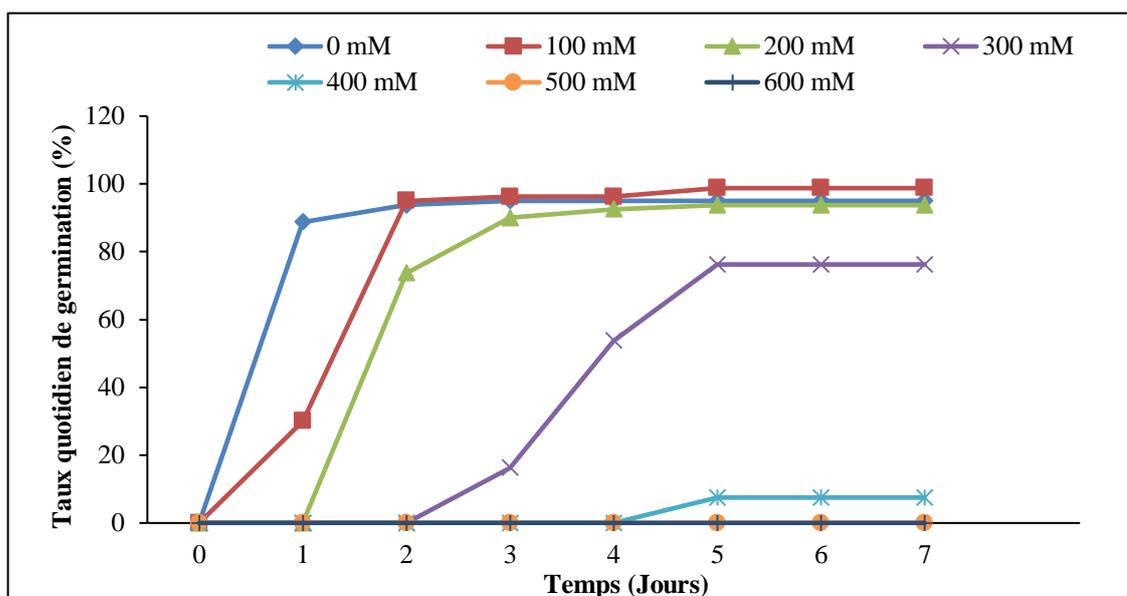


Figure 3 : Evolution des taux quotidiens de germination des graines de *C. tinctorius* en fonction de la durée de séjour dans les différentes solutions salines en Na₂SO₄.

En milieu non salé (témoin) et celui de 100 mM de Na₂SO₄, la germination commence le premier jour du semis (Figure 3), elle atteint des maximums (95%) le 3^{ème} et (99%) le 5^{ème} jour, respectivement.

Aux concentrations élevées de Na₂SO₄ (200 et 300 mM), la germination est retardée. En effet, elle ne démarre que le 2^{ème} et le 3^{ème} jour avec des pourcentages respectifs de 74 et 16 % contre 89% en milieu non salé. Le processus progresse à évoluer lentement pour atteindre des taux maximums de 94 et 74% le 5^{ème} jour dans cet ordre.

En revanche, les graines du lot de 400 mM de Na₂SO₄ ne germent qu'au bout du 5^{ème} jour, le processus cesse de progresser et le pourcentage ne dépasse guère la barre de 08%.

La germination est totalement inhibée à partir de 500 mM de Na₂SO₄.

III.1.2- Cinétique de germination des graines de *P. oleracea* stressées aux NaCl ou Na₂SO₄

Les figures (4 et 5) expriment l'évolution des taux quotidiens de germination des graines de *P. oleracea* en fonction de la durée de séjour dans les différentes concentrations en NaCl ou Na₂SO₄.

III.1.2.1- Sous stress au NaCl

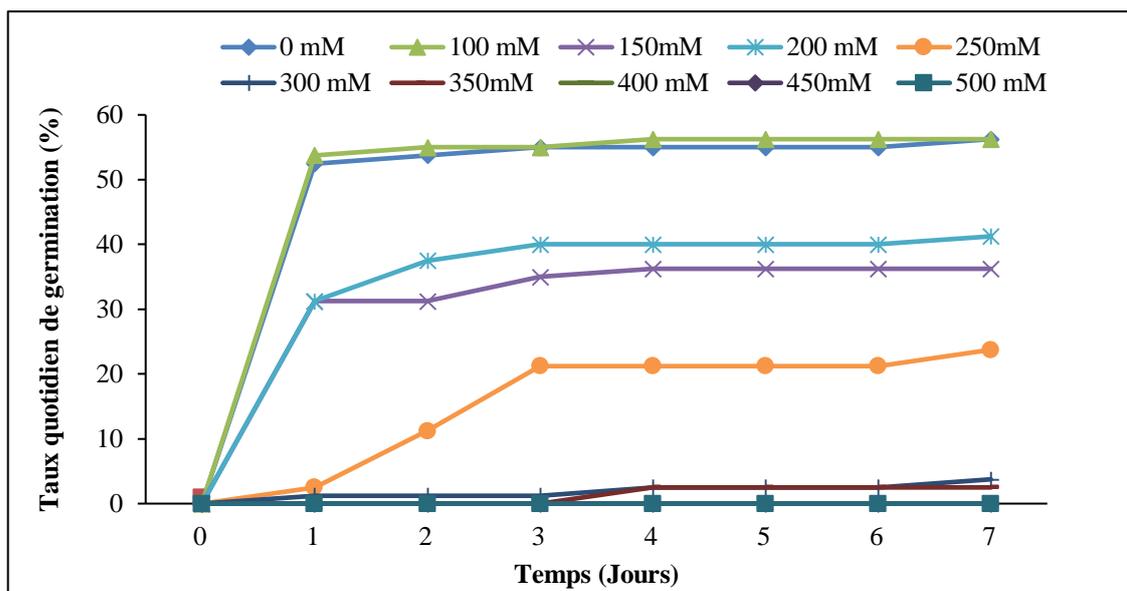


Figure 4 : Evolution des taux quotidiens de germination des graines de *P. oleracea* en fonction de la durée de séjour dans les différentes solutions salines en NaCl.

D'après la figure 4, nous avons observé que les graines déposées dans l'eau distillée et celles imbibées à 100 mM de NaCl commencent à germer dès le premier jour après le semis avec des taux élevés (53 et 54 %, respectivement), pour atteindre un niveau stationnaire dès le 3^{ème} jour.

La même durée (24 heures) a été suffisante pour l'apparition des premières germinations sous traitements de 150 à 300 mM de NaCl. Les processus progressent à évoluer lentement pour atteindre des taux maximum le 7^{ème} jour et qu'ils ont diminué de 36, 27, 57 et 93%, respectivement par rapport au témoin.

Sous stress aux 350 mM de NaCl, le taux de germination chute considérablement en s'arrêtant à 3% seulement.

Il est important de noter que, la germination est complètement inhibée à partir de la concentration de 400 mM de NaCl.

III.1.2.2- Sous stress au Na₂SO₄

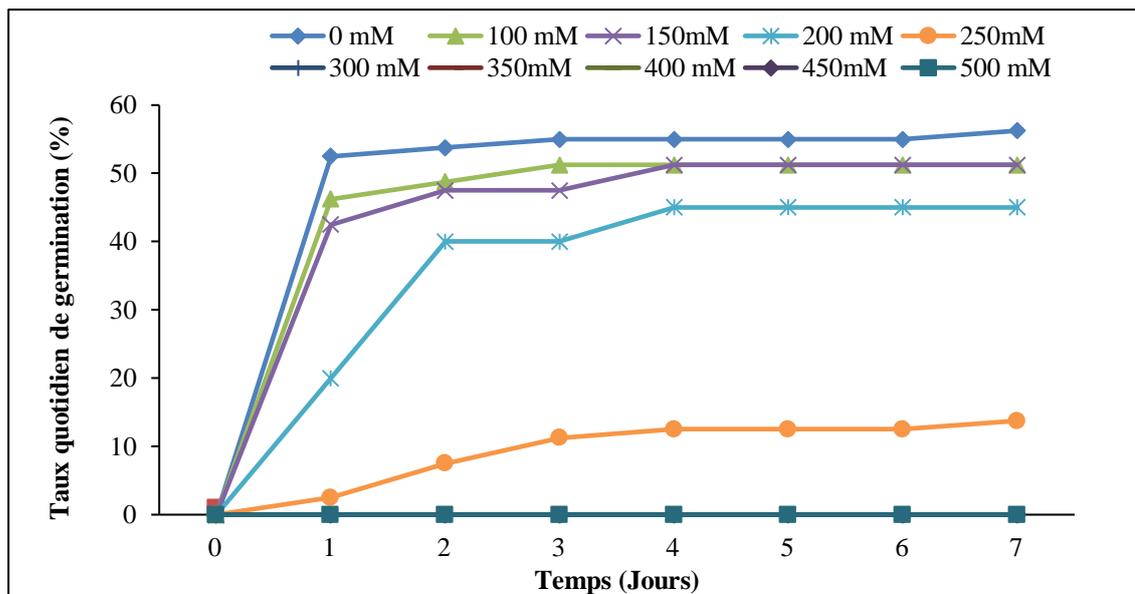


Figure 5 : Evolution des taux quotidiens de germination des graines de *P. oleracea* en fonction de la durée de séjour dans les différentes solutions salines en Na₂SO₄.

Les données de la figure 05 font ressortir que la germination des graines arrosées avec des concentrations croissantes de 100, 150 et 200 mM de Na₂SO₄ a déclenché le 1^{er} jour du semis avec des taux réduits de 46, 43 et 20 % que celles non traitées (53%) et a stabilisé le 3^{ème} jour avec des pourcentages de 55 et 51%, respectifs pour les traitements témoin et 100 mM et au bout du 4^{ème} jour avec 51 et 45% concernant les doses de 150 et 200 mM, respectivement.

L'effet dépressif de Na₂SO₄ était d'autant plus marqué à forte concentration (250 mM) et qui s'est manifesté par une chute brutale de la courbe jusqu'au un taux de 13% soit une réduction de 76,36% par rapport au témoin.

Aucun signe de germination n'est observé pour les graines recevant les solutions salines de doses supérieures ou égales à 300 mM de Na₂SO₄.

III.1.3- Capacité germinative des graines de *C. tinctorius* L. stressées aux NaCl ou Na₂SO₄

L'évaluation des taux de germination finaux des graines de *C. tinctorius* soumises à des concentrations croissantes en NaCl ou Na₂SO₄ est présentée dans la figure (6)

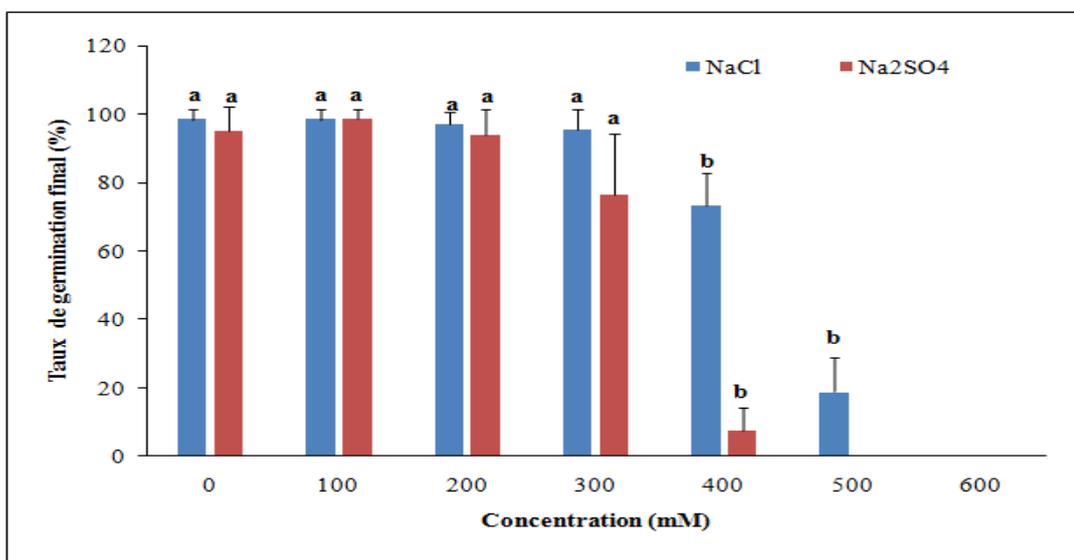


Figure 6: Effet des concentrations croissantes en NaCl ou Na₂SO₄ sur la capacité germinative des graines de *C. tinctorius*.

L'examen des résultats de la figure 6 a révélé que les graines de *C. tinctorius* présentent une meilleure habileté à germer sans sel ou sous conditions de salinité modérées de 100 et 200 mM de Na₂SO₄ et de 100 à 300 mM de NaCl. Les taux de germination enregistrés sont statistiquement proches de ceux obtenus chez les graines témoins.

Au-delà de ces seuils, les taux de germination sont significativement diminués, en passant de 98% chez les graines témoins à 73 et 19% respectivement chez celles soumises à 400 mM ($p = 0.008$) et 500 mM ($p = 0.004$) de NaCl, il passe aussi de 95 % chez les graines non stressées à 8% chez celles imbibées à 500 mM de Na₂SO₄ ($p = 0.004$).

La germination s'annule à partir de 500 mM de Na₂SO₄ et 600 mM de NaCl.

III.1.4- Capacité germinative des graines de *P. oleracea* L. stressées aux NaCl ou Na₂SO₄

L'évaluation des taux de germination finaux des graines de *P. oleracea* soumises à des concentrations croissantes en NaCl ou Na₂SO₄ est présentée dans la figure (7).

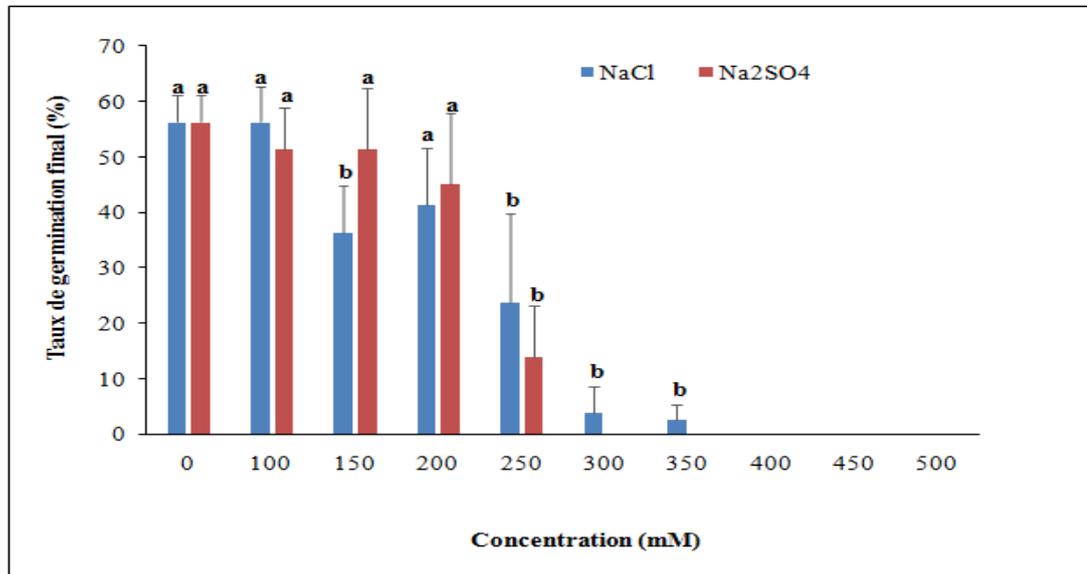


Figure 7 : Effet des concentrations croissantes en NaCl ou Na₂SO₄ sur la capacité germinative des graines de *P. oleracea*.

Les résultats de la figure 07 montrent clairement que les graines de *P. oleracea* germent mieux en absence du sel (56%) ou dans un milieu enrichi en faible concentration de sels (100 mM de NaCl) ou (100 et 150 mM de Na₂SO₄) et qui ont affiché des taux de germination de 56% et 51%, respectivement.

Dès que l'intensité du stress augmente, la germination est fortement affectée et leur capacité étaient au fur et à mesure plus faibles, elles chutent significativement à 03 et 14 %, respectivement sous concentrations de 350 mM NaCl ($p = 0.004$) et 250 mM Na₂SO₄ ($p = 0.004$).

A partir des concentrations de 300 mM de Na₂SO₄ et 400 mM de NaCl, aucune graine n'a germé jusqu'au dernier jour de stress.

III.1.5- Effet de la salinité sur les longueurs des racicules et des tigelles des espèces étudiées

Pour mieux étudier le comportement des deux espèces étudiées *vis-à-vis* du stress salin au stade de germination, la longueur de la racicule et de la tigelle a été mesurée le dernier jour de l'expérimentation. Les résultats sont représentés dans les figures (8 et 9).

III.1.5.1- Chez l'espèce *C. tinctorius*

Les données de variations des longueurs des racicules et des tigelles de *C. tinctorius* sous différentes concentrations en NaCl ou Na₂SO₄ sont représentées dans la figure (8).

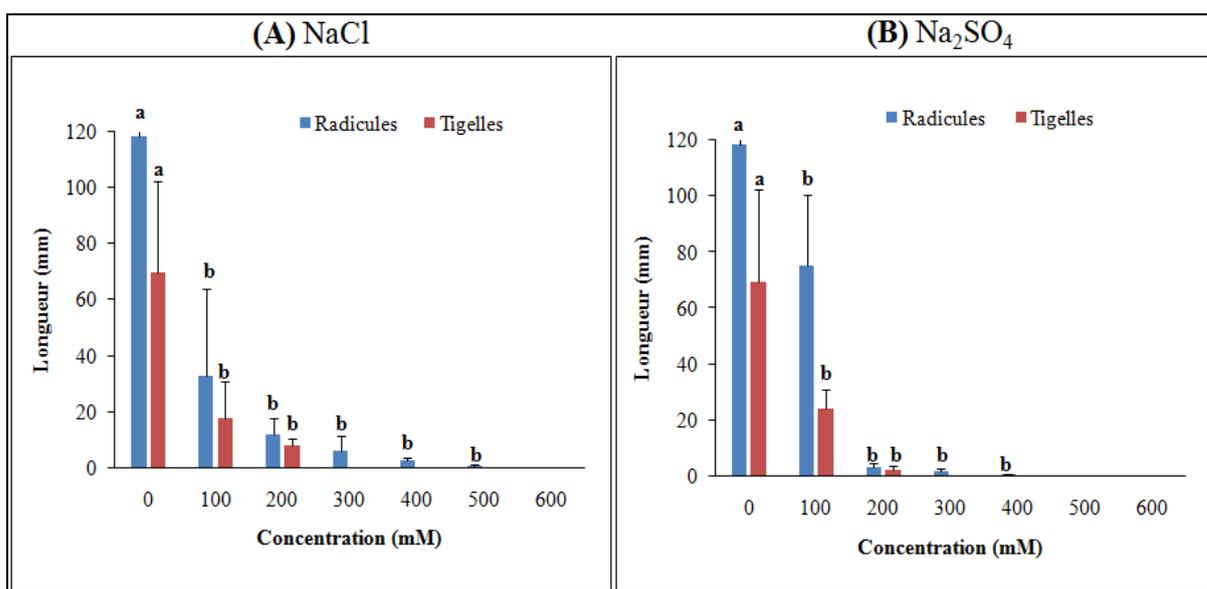


Figure 8 : Variations des longueurs des racicules et des tigelles de *C. tinctorius* sous différentes concentrations en NaCl (A) ou Na₂SO₄ (B).

L'analyse des résultats obtenus montre que l'enrichissement des milieux de germination en sel s'accompagne d'une réduction proportionnelle de l'élongation des parties radiculaire et aérienne des plantules de *C. tinctorius* (Figure 8). Les dépressions radiculaires s'opèrent d'une manière très hautement significative ($p < 0.0001$) en condition de stress modéré, de 100 et 200 mM de NaCl ou Na₂SO₄. D'où nous avons noté respectivement les valeurs moyennes de (3.3 à 1.2 cm) pour NaCl et de (7.5 à 0.3 cm) pour Na₂SO₄ par rapport celles inscrites dans le lot témoin (11.9 cm).

Les graines soumises aux traitements de 300, 400 et 500 mM de NaCl ou de 300 et 400 mM de Na₂SO₄ ne révèlent aucune croissance racinaire après la germination soit des longueurs moyennes de 0.3 et 0.1 cm respectives pour les deux types de sels.

De même, les résultats obtenus montrent que les longueurs des tiges sont sérieusement affectées par la salinité, une diminution très hautement significative ($p < 0.0001$) a été notée pour l'ensemble des graines qui ont germé sous stress modérés. Les valeurs moyennes obtenues sont de (1.8 à 0.8 cm) pour NaCl et de (2.4 à 0.2 cm) pour Na₂SO₄ contre 7.0 cm pour les témoins.

En revanche, aucune croissance végétative n'a été constatée à partir de 300 mM de sel.

Il est important de noter que la croissance de l'appareil végétatif aérien de *C. tinctorius* est plus affectée par la salinité que la partie racinaire.

III.1.5.2- Chez l'espèce *P. oleracea*

Les histogrammes de la figure 09 expriment les variations des longueurs des racicules et des tiges de *P. oleracea* en fonction des concentrations croissantes en NaCl ou Na₂SO₄.

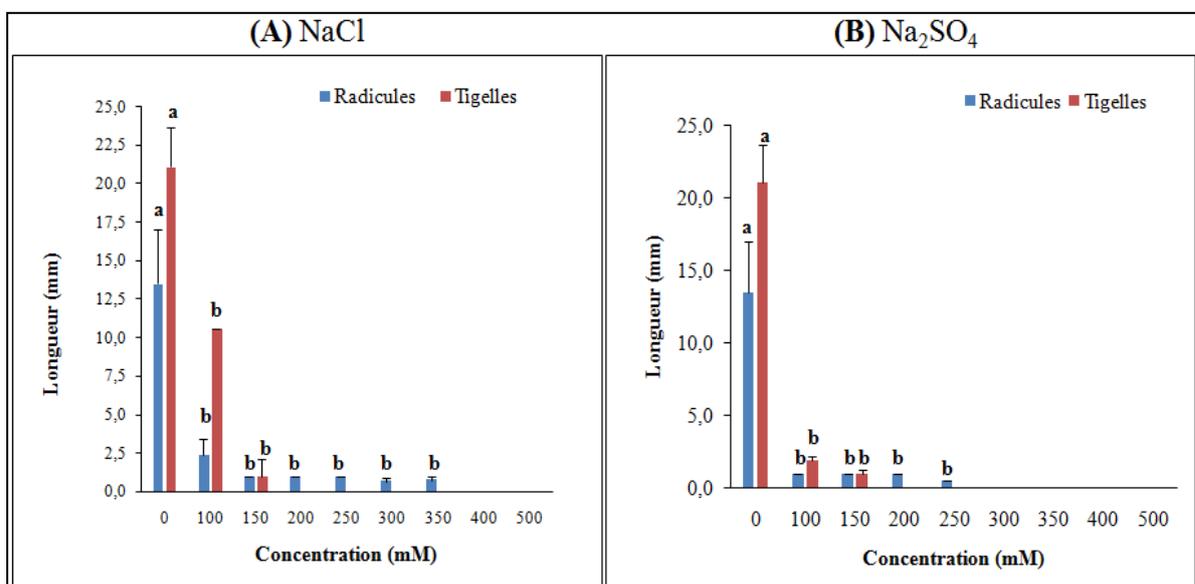


Figure 9 : Variations des longueurs des racicules et des tiges de *P. oleracea* sous différentes concentrations en NaCl (A) ou Na₂SO₄ (B).

L'analyse de l'effet du stress salin sur la germination des graines de *P. oleracea* par la mesure des longueurs des racicules et des tiges montre une réduction très hautement significative. Cette diminution est d'autant plus prononcée au fur et à mesure que les

concentrations de sels augmentent, les longueurs des radicules diminuent en passant de 1.35 cm pour les témoins à (0.24 et 0.1 cm) pour les concentrations de 100 et 150 mM de NaCl et à 0.1 cm pour les concentrations de 100 et 150 mM de Na₂SO₄, respectivement.

Dans les mêmes conditions précédentes, les longueurs des tiges ont diminué par rapport aux témoins de (50 à 95%) et de (91 à 95%) respectivement.

A fortes concentrations de 200, 250 et 300 mM de NaCl et 200 et 250 mM de Na₂SO₄, la croissance radiculaire subit un degré d'inhibition important. Alors que chez les mêmes niveaux de stress salin la croissance aérienne est complètement inhibée.

III.1.6- Réversibilité de l'action de sel

Tous les paramètres étudiés précédemment ont montré que le sel a exercé un effet dépressif sur la germination des graines des deux espèces. Cette inhibition peut être osmotique (réversible) et/ou toxique (irréversible). Dans la mesure où elle est d'origine osmotique, on devrait s'attendre à une reprise de la germination après levée de cette contrainte. Par contre, si des phénomènes de toxicité ionique interviennent, on peut prévoir l'absence de cette reprise de germination (Mrani-Alaoui et *al.*, 2013).

III.1.6- 1- Chez l'espèce *C. tinctorius*

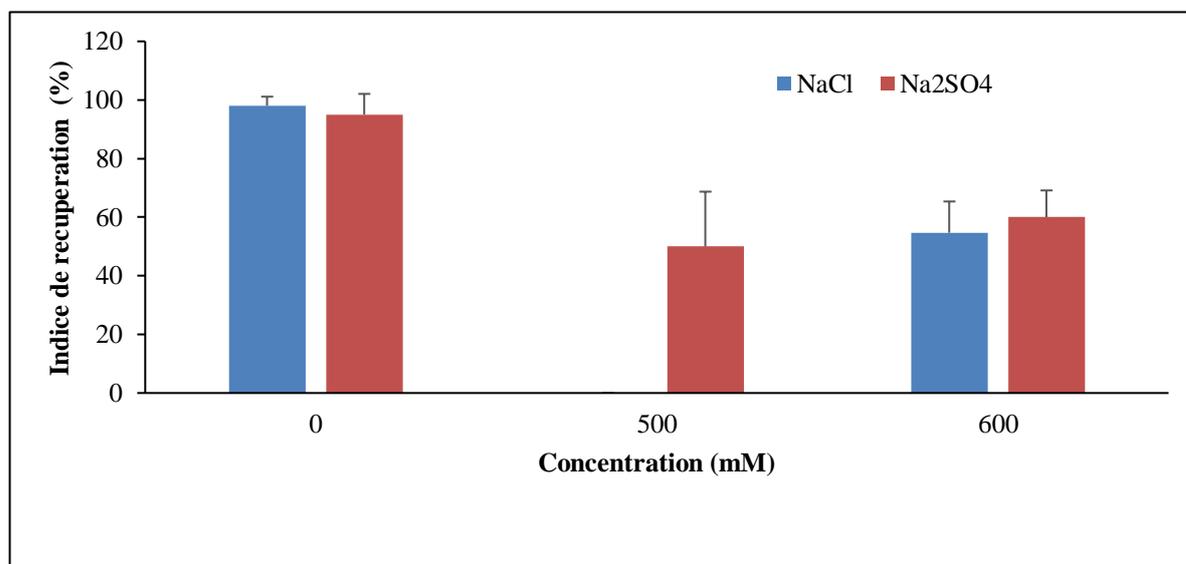


Figure 10: Taux de germination de graines de *C. tinctorius* préalablement placées ou non (témoin) à germer pendant 07 jours en présence de 600 mM de NaCl ou de Na₂SO₄ à 500 et 600 mM.

La figure 10 représente le taux de germination des graines de *C. tinctorius* préalablement placées ou non (témoin) à germer pendant 07 jours en présence de 600 mM de NaCl ou de Na₂SO₄ à 500 et 600 mM. Pour les deux types de sel, le transfert des graines dans l'eau distillée est suivi d'une reprise de la germination. Néanmoins, la capacité germinative reste plus faible que celle obtenue chez les graines mises directement sur milieu témoin. En effet, les indices de récupération enregistrés restent inférieurs de 44.2% (pour 600 mM de NaCl) et de 47.4 à 36.8% (respectivement pour Na₂SO₄ à 600 et 500 mM) par rapport au témoin.

III.1.6.2- Chez l'espèce *P. oleracea*

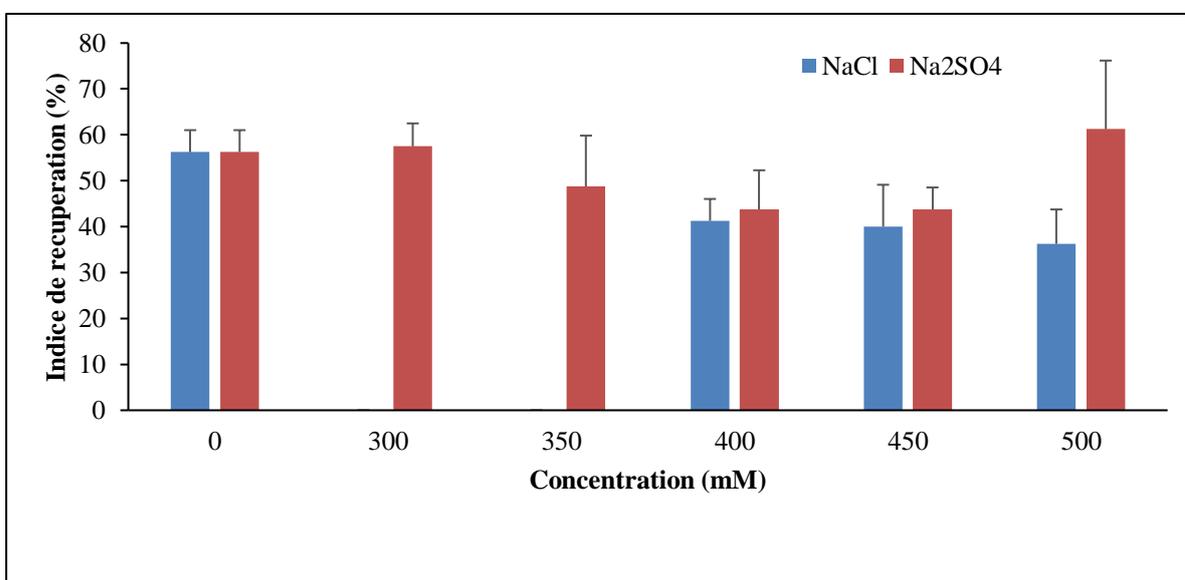


Figure 11 : Taux de germination de graines de *P. oleracea* préalablement placées ou non (témoin) à germer pendant 07 jours en présence de 400 à 500 mM de NaCl ou de 300 à 500 mM de Na₂SO₄

Les données d'indice de récupération des graines de *P. oleracea* préalablement placées ou non (témoin) à germer pendant 07 jours en présence de 400 à 500 mM de NaCl ou de 300 à 500 mM de Na₂SO₄ sont illustrées dans la figure (11). La germination dans l'eau distillée est totale pour les graines prétraitées avec 300 et 500 mM de Na₂SO₄. Cependant, cette levée d'inhibition de la germination reste moins importante chez les graines prétraitées au 400, 450 et 500 mM de NaCl ou de 350, 400 et 450 mM de Na₂SO₄ qui ont enregistré des taux de récupération inférieurs de 13.3 à 26.7% par rapport au témoin.

III.2- Discussion

La réponse des graines de *C. tinctorius* et *P. oleracea* à la contrainte saline au stade de germination a été appréciée par application des concentrations croissantes en NaCl ou Na₂SO₄.

L'évolution des taux quotidiens des graines germées en fonction des différentes concentrations en sel et au cours du temps montre que les faibles concentrations en sel (inférieur ou égal 100 mM de NaCl et 150 mM de Na₂SO₄ chez *P. oleracea* de la famille *Portulacaceae*) et (inférieur ou égal 300 mM de NaCl et 200 mM de Na₂SO₄ chez *C. tinctorius* de la famille *Astéraceae*) engendrent un retard dans l'initiation du processus germinatif et un ralentissement de sa vitesse, quoique son taux final n'ait pas diminué. En revanche, à des concentrations plus élevées, il devient sensible, une régression plus au moins important dans leur capacité germinative se produit. Cette germination s'annule à partir de 300 mM de Na₂SO₄ et 400 mM de NaCl pour *P. oleracea* et à partir de 500 mM Na₂SO₄ et 600 mM de NaCl pour *C. tinctorius*. Ce qui concorde avec plusieurs études ont indiqué que les semences des glycophytes et des halophytes répondent de la même manière au stress salin, en réduisant le nombre total des graines germées et en accusant un retard dans l'initiation du processus germinatif (Mondai et al., 1988). Ce retard peut être expliqué par les temps nécessaires à la graine de mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne (Bliss et al., 1986). Alors que Ghrif et al. (2011), ont expliqué que ce retard pourrait être dû à l'altération des enzymes et des hormones qui se trouvent dans la graine. Il pourrait s'agir également d'une difficulté d'hydratation des graines suite à un potentiel osmotique élevé entraînant une certaine inhibition des mécanismes aboutissant à la sortie de la radicule hors des téguments et par conséquent un retard de germination des graines (Gill et al., 2003). Ayed et Tiaiba (2017), en étudiant l'effet de différents niveaux de NaCl (0, 17, 34, 51, 68, 85 mM) sur la germination de deux espèces d'*Artemisia* de la famille d'Astéracée, ont démontré un effet dépressif de la salinité sur ce processus, des taux de diminution d'autant plus important ont été enregistrés chez *l'Artemisia campestris* par rapport à *l'Artemisia herba alba* dépassant les 96% chez *l'Artemisia campestris* contre 88% chez *l'Artemisia herba alba* pour le stress le plus sévère.

Rahdari et al. (2012) signalent que des forts niveaux de NaCl (50, 100, 150 et 200 mM) réduisent le taux de germination des graines de cette même espèce. Dans une autre étude, Naik et Karadge (2017), ont rapporté chez *P. oleracea* que des concentrations croissantes en NaCl ou Na₂SO₄ (25, 50, 100 et 200 mM) dans des conditions d'obscurité et de lumière continues avaient un impact négatif sur le nombre de graines germées.

L'effet dépressif était davantage sous des combinaisons (sels plus obscurité) comparativement à celui (sels plus lumière continue). A l'opposé, les résultats de Cros et *al.* (2007) ont indiqué que les graines de *P. oleracea* peuvent germer dans des conditions de sel très élevées. Le pourcentage de germination final n'a pas diminué qu'avec l'augmentation de la CE de NaCl jusqu'à ce qu'il atteignit 15 dS/m, où la réduction était remarquable ($14 \% \pm 2,3$) par rapport au témoin ($47,5 \% \pm 12$).

Selon Prado et *al.* (2000), la diminution du taux de germination des graines soumises à un stress salin serait due à un processus de dormance osmotique développé sous ces conditions de stress, représentant ainsi une stratégie d'adaptation à l'égard des contraintes environnementales.

Les effets de la salinité également pressentis lors de la multiplication et la croissance cellulaires responsables de l'élongation des systèmes racinaire et aérien. A ce niveau ces effets se sont manifestés par une réduction des longueurs des racicules et des tigelles comparativement aux celles des graines témoins. Selon Gomes et *al.* (1983), l'émergence de la racicule serait contrôlée par l'osmolarité du milieu pendant la germination, alors que la croissance ultérieure de la plantule serait limitée par la mobilisation et le transport des réserves vers l'axe embryonnaire.

Les expériences de transfert sur milieu témoin de graines préalablement imbibées par NaCl ou Na₂SO₄ sont conduites pour préciser le mode d'action du sel sur la germination.

Les résultats obtenus suggèrent que les effets sont d'abord de nature osmotique, du fait de la reprise de la germination une fois que la contrainte saline a été levée. De même, les baisses de capacité de germination observées, en absence de NaCl, entre les témoins et les graines préalablement traitées, attestent d'un autre effet, cette fois-ci toxique du sel suite à l'accumulation dans la graine des ions Na⁺ et Cl⁻. Ce mode d'action de nature osmotique et/ou toxique du sel a été démontré dans plusieurs travaux et chez plusieurs espèces telles que *Atriplex halimus* L. (Debez et *al.*, 2001) et *Cicer arietinum* L. (Hajlaoui et *al.*, 2007).

Conclusion

La germination est une étape critique dans l'établissement des semis et la détermination d'une production agricole réussie. L'objectif de cette étude réside dans l'évaluation du comportement germinatif des graines de *C. tinctorius* et *P. oleracea* soumises à des concentrations croissantes en NaCl ou Na₂SO₄.

A la lumière des résultats obtenus, il ressort que :

- les graines de deux espèces étudiées, *C. tinctorius* et *P. oleracea* sont caractérisées par leur rapidité de germination et qu'elles présentent une meilleure habileté à germer dans un milieu sans sel ;
- les faibles concentrations en sel (inférieur ou égal 100 mM de NaCl et 150 mM de Na₂SO₄ chez *P. oleracea*) et (inférieur ou égal 300 mM de NaCl et 200 mM de Na₂SO₄ chez *C. tinctorius*) entraînent un retard de germination sans réduction de la faculté germinative ;
- le processus germinatif est complètement inhibé à partir de 300 mM de Na₂SO₄ et 400 mM de NaCl chez *P. oleracea* et à partir de 500 mM de Na₂SO₄ et 600 mM de NaCl chez *C. tinctorius* ;
- l'enrichissement des milieux de germination en sel s'accompagne d'une réduction proportionnelle de l'élongation des parties végétatives (radicules et tigelles) des plantules étudiées, l'impact était plus remarquable au niveau de la partie végétative aérienne chez les plantules de *C. tinctorius* et dans celle souterraine chez *P. oleracea* ;
- les sels (Na₂SO₄ et NaCl) semblent agir sur les graines de deux espèces étudiées par ses effets osmotiques réversibles.

Enfin, il reste à signaler que les résultats obtenus ne peuvent être considérés que comme des résultats préliminaires, qui ne nous permettent en aucun cas de déduire le niveau de tolérance à la salinité des espèces étudiées, pour cela cette étude doit être complétée par d'autres travaux portés sur l'étude des paramètres biochimique et physiologique pour mieux comprendre les réponses des plantes aux contraintes environnementales.

Références bibliographiques

1. **Amini S., Ghadiri H., Chen C., Marschner P., 2016-** Salt-affected soils, reclamation, carbondynamics, and biochar: areview. *Journal of soils and sediments*, 16(3): 939-953.
2. **Anzala F., 2006-** *Contrôle de la vitesse de germination chez le maïs (Zea mays): étude de la voie de biosynthèse des acides aminés issus de l'aspartate et recherche de QTLs*. Thèse de Doctorat, Université d'Angers.
3. **Ashraf M., Athar H.R., Harris P.J.C., Kwon T.R., 2008-** Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. *Advances in agronomy*, 97: 45-110.
4. **Ayed Khadidja., Tiaiba Romayssa, 2017-** Variabilité intra et interspécifique de réponses au stress salin chez le genre *Artemisia*. Mémoire de Master production végétale et environnement, Université Mohamed Boudiaf - M'sila.
5. **Barbier E., Nadir M., Forentin J. M., Slama M., 1976-** Pollinisation du Carthame (*Carthamus tinctorius* L.) ses effets sur la formation et la germination des semences. *Apidologie*, 7(1): 85-104.
6. **Baskin C.C., Baskin J.M., 2001-** Seeds - Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press, San Diego.666 p.
7. **Ben Khaled A., Morte Gomez A., Honrubia M., Oihabi A., 2003-** Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le Rhizobium. *Agronomie*. Vol.23, N°7: 553-560.
8. **Benata H., Berrichi A.B., Reda Tazi M., Abdelmoumen H., Misbah El Idrissi M., 2006-** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et le développement de trois espèces légumineuses : *Acacia tortilis* var. raddiana, *Leucaena leucocephala* et *Prosopis juliflora*. Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole Settlat (*Recueil des résumés*).
9. **Benbrahim K.F., Ismaili M., Benbrahim S.F., Tribak A., 2004-** Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation: impact du phénomène au Maroc. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 15(4) : 307-320.
10. **Benderradji L., Bouzerzour H., Kellou K., Ykhlef N., Brini F., Masmoudi K., Djekoun A., 2010-** Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez deux variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) soumises a un stress salin. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, (32), 23-30.
11. **Benkaddour M., 2014-** Modification physiologique chez des plantes de blé (*Triticum durum* desf) exposées à un stress salin. Université badji Mokhtar, Annaba. Thèse de doctorat : 23-80-81p.

12. **Benmahioul B., Daguin F., Kaid-Harche M., 2009-** Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vera* L.). *Comptes Rendus Biologies*, 332(8): 752-758.
13. **Bewley J.D., 1997-** Seed germination and dormancy. *Plant Cell* 9:1055-1066.
14. **Bidai Y., 1999-** Réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade germination, rapport d'activité scientifique de projet N°13/97/02/04/18. Ed Faculté des sciences, Université Sénia Oran. Algérie.
15. **Blumwald E., Aharon G.S., Apse M.P., 2000-** Sodium transport in plant cells. *Biochimica et Biophysica Acta*, Vol. 1465: 140- 151.
16. **Bouaouina S., Zid E., Hajji M., 2000-** Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.). *Royo C., Nachit MM, Di Fonzo N. et Araus JL, eds. L'amélioration du blé dur dans la région méditerranéenne: nouveaux défis. Zaragoza: CIHEAM-IAMZ : 239-243.*
17. **Bouchoukh I., 2010-** Comportement écophysologique de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin. Mémoire de Magistère en Biologie végétale, Université Mentouri - Constantine. 112 p.
18. **Boulghalagh J., Berrichi A., El Halouani H., Boukroute A., 2006-** Effet des stress salin et hydrique sur la germination des graines du jojoba (*Simmondsia chinensis* [link] schneider). Recueil des résumés. Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole, Settat, Maroc, 24p.
19. **Centre de Recherche Scientifique et Technologique sur les Régions Arides., 2009-** La culture des plantes médicinales, condimentaires et aromatiques dans les régions arides : Le carthame, 11p.
20. **Chaussat R., Ledebunff Y., 1975-** La germination des semences .Ed. Bordars, Paris, 232p.
21. **Chen M., Yang Z., Liu J., Zhu T., Wei X., Fan H., Wang B., 2018-** Adaptation Mechanism of Salt Excluders under Saline Conditions and Its Applications. *International journal of molecular sciences*, 19(11), 3668: 1-13.
22. **Claussen W., 2005-** Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Science*, Vol. 168: 241- 248.
23. **Côme D., 1970-** Les Obstacles à la Germination. Monographies de Physiologie Végétale. Paris, Masson et Cie, 1, p.62.
24. **Cronquist A., 1981-** An integrated system of classification of flowering plants. Columbia University Press, New York. 1753p.

25. **Cross A.J., Leitzmann M.F., Gail M.H., Hollenbeck A.R., Schatzkin A., Sinha R., 2007-** A prospective study of red and processed meat intake in relation to cancer risk. *PLoS medicine*, 4(12), e325.
26. **Davis W.J., Tardieu F., Trejo C.L., 1994-** How do chemical signals works in plants that grow in drying soil? *Plant Physiol*, 104: 309-314.
27. **Debez A, Chaibi W, Bouzid S. 2001-** Effet du NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d'*Atriplex halimus* L. *Cah. Agric.*, 10(2): 135-138.
28. **Dugawale T.P., Khanwelkar C.C., Durgawale P.P., 2019-** Quantitative estimation of total phenolic content of two species of *Portulaca* obtained by using microwave assisted extraction and its validation. *IJPSR, Vol. 10(3): 1269-1274.*
29. **El Midaoui M., Benbella M., Aït Houssa A., Ibriz M., Talouizte A., 2007-** Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.) *Revue HTE* 136: 29-34.
30. **Emongor V., 2010-** Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) the underutilized and neglected crop: A review. *Asian J. Plant Sci*, 9(6): 299-306.
31. **Eynard A., Lala R., Keith D.W., 2006-** *In Encyclopedia of Soil Science, (CRC Press)* Chapter: 323-1538.
32. **Fronçois J., Morot G., Roger P., 2009-** Biologie Végétale, Vol 2, croissance et développement.
33. **Genoux C., Putzola F., Maurin G., 2000-** La Lagune méditerranéenne : Les plantes halophiles. TPE. 1^{ère} S-2, 22p.
34. **Ghrib C.D., Gharbi F., Rejeb S., Khoudja L., Rejeb M.N., 2011-** Tolérance à la salinité de trois espèces d'Eucalyptus aux stades germinatif et plantule. *European Journal of Scientific Research.*, 50 (2): 208-217.
35. **Gill P.K., Sharma A.D., Singh P., Bhullar S.S., 2003-** Changes in germination, growth and soluble sugar contents of *Sorghum bicolor* (L.) Moench seeds under various abiotic stresses. *Plant Growth Regulation*, 40 (2): 157-162.
36. **Gomes F.E., Prisco J.T., Campos F.A.P., Filho E.J., 1983-** Effect of NaCl salinity in vivo and in vitro on ribonuclease activity of *Vigna unguiculata* cotyledons during germination, *Physiologia Plantarum* 59(2):183-188.
37. **Hajlaoui H, Denden M, Bouslama M., 2007-** Étude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) au stade germination. *Tropicultura*, 25(3): 168-173.

38. **Hanana M., Hamroni L., Cagnac O., Bluwaled E., 2011-** Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. *Presses scientifique de CNRC, Enviro*, N°19 : 121-141.
39. **Haoula F., Ferjani H., Ben El Hadj S., 2007-** Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺, et Ca⁺²) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du Ray- Grass anglais et du chiendent. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 11(3): 235-244.
40. **Heller R., Esnault R., Lance C., 1990-** Physiologie Végétale, *Masson Paris*. p 16.
41. **Heller R., Esnault R., Lance C., 2000-** Physiologie végétale et développement, Ed. Dunod, Paris. p366.
42. **Hopkins W.G., 2003-** Physiologie végétale. 2éme édition. De Boeck, Bruxelles: 476 p.
43. **Houle G., Morel L., Reynolds C.E., Siégel J., 2001-** The effect of salinity on different developmental stages of an endemic annual plant, *Aster laurentianus* (Asteraceae). *American Journal of Botany*, 88(1): 62-67.
44. **Hwess H., Ayadi R., Mahouachi W., Rezgui M., Balti H., Hamrouni L., 2017-** Notes ethnobotanique et ethnopharmacologique sur *Portulaca oleracea* (L.). *Phytothérapie*, 1-5.
45. **Idder A., Idder T., Nezli I.E., Hamdi-Aïssa B., Cheloufi H., Dosso M., Philippon O., 2014-** Compartimentation et accumulation estivale des sels neutres dans les aridisols sableux nus de la cuvette d'Ouargla (sahara algérien). *Lebanese Science Journal*, vol 15(1) : 41-50.
46. **Jeam P., Catmrine T., Giues L., 1998-** Biologie des plantes cultivées-Ed l'Arpers Angers, Paris, 150p.
47. **Khodadad M., 2011-** An evaluation of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.), seed germination and seedling characters in salt stress conditions. *African Journal of Agricultural Research*, 6(7): 1667-1672.
48. **Laribi B., Gharbi A., Kouki K., M'hamdi M., Bettaieb T., 2016-** Étude de la tolérance à la salinité chez une plante condimentaire : le carvi (*Caruma carvi* L.), volume IABC (17). *Published January*, N°31 :1321-1327.
49. **Levigner A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P., Casse- Delbart F., 1995 -** Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*. (4): 263-273.
50. **Luttge U., Kluge M., Bauer G., 2002-** Botanique. 3éme édition, *Tec et Doc Lavoisier*, Paris: 439- 450.

51. **Maarouf A., Reynaud J., 2007-** La botanique de A à Z. 1662 définitions. Ed Dunod : P.286.
52. **Maciejewski J., 1991-** Semences et plants, Lavoisier Technique documentation. 5 P.
53. **Mahajan S., Tuteja N., 2005-** Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Arch. Biochem. Biophys.*, 444: 139-158.
54. **Marchanda G., Garg N., 2008-** Salinity and its effects on the functional biology of legumes. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(5): 595-618.
55. **Marty V., 2011-** *Adaptation de l'Archaea halophile Halobacterium salinarum aux stress environnementaux: mécanismes de survie et rôle de la protéolyse intracellulaire.* Thèse de Doctorat. Université de Grenoble.
56. **Mazliak P., 1982-** Croissance et développement. Physiologie végétale II. Hermann ed., Paris, Collection Méthodes,465p.
57. **Meyer S., Reeb C., Bosdeveix R., 2004-** Botanique, biologie et physiologie végétale .Ed. Moline, Paris, 461p.
58. **Michel V., 1997-** La production végétale, les composantes de la production. Ed. Danger, Paris, p 478.
59. **Miller B.M., 2001-** Seed germination. In Principles of seed science and technology.
60. **Mirhoseini M., Mohamadpour M., Khorsandi L., 2012-** Toxic effects of *Carthamus tinctorius* L. (Safflower) extract on mouse spermatogenesis. *Journal of assisted reproduction and genetics*, 29(5), 457-461.
61. **Mondai T.K., Bal A.R., Pal S., 1988-** Effect of salinity on germination and seedling growth of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *J. Indian Soc. Coast. Agric Res.*6: 91-97.
62. **Mrani-Alaoui M., Eljourmi L., Ouarzane A., Lazar S., El Antri S., Zahouily M., Hamyene A., 2013-** Effet du stress salin sur la germination et la croissance de six variétés marocaines de blé (*Effect of salt stress on germination and graouth of six moroccan wheat varieties*). *J.Mater.Environ. Sci*, vol 4, N°6 :997-1004.
63. **Munns R., 2002-** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ* 25: 239-250.
64. **Nadeem M., 2011-** Remobilization of seed phosphorus reserves and exogenous phosphorus uptake during germination and early growth stages of maize (*Zea mays* L.). Thèse de Doctorat, Bordeaux 1.
65. **Naik, V.V., Karadge, B.A., 2017-** Effect of NaCl and Na₂SO₄ salinities and light conditions on seed germination of purslane (*Portulaca oleracea* Linn.). *Journal of Plant*

Stress Physiology, 1-4.

66. **Ndour P., Danthu P., 2000-** Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de quelques acacias africains. Projet National de Semences Forestières du Sénégal. 11 p.
67. **Nicolas J.P., 2012-** *Plantes médicinales du Nord de Madagascar: ethnobotanique Antakarana et informations scientifiques*. Jardins du monde.
68. **Olmos E., Hellin E., 1996-** Cellular adaptation from a salt-tolerant cell line of *Pisum sativum*, *J. Plant Physiol.* 148: 727-734.
69. **Ouerghi Z., Zid E., Hajji M., Soltani A., 1998-** Comportement physiologique du blé dur (*Triticum durum* L.) en milieu salé. *CIHEAM - Options Méditerranéennes* : 309- 31.
70. **Ozenda P., 2006-** Les végétaux organisations et diversité biologique 2ème édition, 383 P.
71. **Prado F.E., Boero C., Gallardo M., Gonzalez J.A., 2000-** Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 41: 27-34.
72. **Qadir M., Schubert S., Ghafoor A., Murtaza G., 2001-** Amelioration strategies for sodic soil: a review. *Land Deg. Develop.*, 12: 357-386.
73. **Quezel P., Santa S., 1963-** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions Désertiques méridionales, Tomes 2, ED. Centre nationale de la recherche scientifique, Paris.
74. **Rahdari P., Tavakoli S., Hosseini S.M., 2012-** Studying of salinity stress effect on germination, proline, sugar, protein, lipid and chlorophyll content in Purslane (*Portulaca oleraceae* L.) leaves. *Stress Physiol. Bio. J.* 8(1):182-193.
75. **Regragui A., 2005-** Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur le couple tomate-Verticillium: Conséquences physiologiques et impact sur la bioprotection des tomates contre la Verticilliose. Thèse de doctorat en Phytopathologie, Université Mohammed V-Agdal Faculté des Sciences, Rabat, Morocco : 81-82.
76. **Rejili M., Vadel M.A., Neffatp M., 2006-** Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, 1(17): 65-78.
77. **Rengasamy P., 2010-** Soil processes affecting crop production in salt affected soils. *Aust. J. Soil Res.* 37: 613-620 p.
78. **Sentenac H., Berthomieu P., 2003-** Découverte d'un nouveau mécanisme de tolérance des plantes au sel. UMR Biochimie et physiologie moléculaire des plantes (Unité mixte Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier /Université/CNRS/ INRA) Service Presse INRA. 34p.

79. **Singh N.K., Handa A.K., Hasegawa P.M., Ressan R.A., 1987-** Characterisation of osmotin. *Plant physiology* 85: 529-536.
80. **Steinitz B., 1999-** Sugar alcohols display no osmotic roles in regulating morphogenesis and metabolism in plants that do not produce polyols as primary photosynthetic products. *Journal of Plant Physiology*, Vol. 155: 1-8.
81. **Syed S., Fatima N., Kabeer G., 2016-** *Portulaca oleracea* L.: A Mini Review on Phytochemistry and Pharmacology. *International Journal of Biology and Biotechnology*, 13(4): 637-641.
82. **Tahri E.H., Belabed A.M., Sadki K., 1998-** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). Université Mohamed Premier. Maroc. *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, 2: 81-87.
83. **Tremblin G., Binet P., 1984-** Halophilie et résistance au sel chez *Halopeplis amplexicaulis* (vahl) ung, *Oecol. Plant.* (5): 291-293.
84. **Ungar I.A., 1978-** Halophytes seed germination. *Ed Bot Rev* 44: 233-235.
85. **Vallée C., Bilodeau G., 1999-** Les techniques de culture en multicellules. Presses Université Laval.
86. **Van Der Vossen H. A. M., Mkamilo G. S., 2007-** Oleagineux.
87. **Yadav S., Irfan M., Ahmad A., Hayat S., 2011-** Causes of salinity and plant manifestations to salt stress: a review. *Journal of Environmental Biology*, 32(5): 667-685.
88. **Yamaguchi T., Blumwald E., 2005-** Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends Plant Sci.* 10(12): 615-620.
89. **Zerrad W., Hillali S., Maataoui B.S, El Antri S., Hmyene A., 2006-** Etude comparative des mécanismes biochimiques et moléculaires de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Congrès International de Biochimie*, Agadir : 371-376.
90. **Zhang J., Davies WJ., 1989-** Abscisic acid produced in dehydrating roots may enable the plant to measure the water status of the soil. *Plant Cell Environ*, 12: 73-82.
91. **Zhu J.K., 2001-** Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, 2001, n°2 vol. 6, p. 66-71.

92. **Zouaoui A., Moula E., Snoussi S.A., 2018-** Etude de l'effet de la salinité et de l'inoculation de *Brady rhizobium* sp. (Lotus) sur le comportement morpho-physiologique du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revue Agrobiologia*. 8(1): 802-808.

Analyse des comportements germinatifs des graines de *Carthamus tinctorius* L. et *Portulaca oleracea* L. sous contrainte saline

Résumé :

L'étude porte sur l'effet d'une contrainte saline imposée par NaCl ou Na₂SO₄ sur le carthame (*Carthamus tinctorius* L.) et le pourpier (*Portulaca oleracea* L.) au stade de germination. À cet effet, les graines sont mises à germer face à des concentrations croissantes en sels allant de 0 à 600 mM de NaCl ou Na₂SO₄. Les paramètres relatifs à la germination des graines (cinétique et capacité de germination, longueurs des radicules et des tigelles) ont été évalués durant une semaine d'observation. Les résultats obtenus montrent que les faibles concentrations en sel (≤ 100 mM NaCl et ≤ 150 mM Na₂SO₄ chez *P. oleracea*) et (≤ 300 mM NaCl et ≤ 200 mM Na₂SO₄ chez *C. tinctorius*) entraînent un retard de germination sans réduction de la capacité germinative. Le processus est complètement inhibé à partir de 300 mM de Na₂SO₄ et 400 mM de NaCl chez *P. oleracea* et à partir de 500 mM Na₂SO₄ et 600 mM de NaCl chez *C. tinctorius*. La croissance des parties végétatives (radicules et tigelles) diminue proportionnelle avec l'accroissement de salinité. Les deux espèces étudiées semblent affectées par une dépression osmotique.

Mots clés : *Carthamus tinctorius* L, *Portulaca oleracea* L., germination, NaCl, Na₂SO₄, dépression osmotique.

Analysis of the germinative behaviors of the seeds of *Carthamus tinctorius* L. and *Portulaca oleracea* L. under salt stress

Abstract:

The study investigates the effect of saline stress imposed by NaCl or Na₂SO₄ on safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and purslane (*Portulaca oleracea* L.) at the germination stage. For this purpose, the seeds are seeded against increasing concentrations of salts ranging from 0 to 600 mM NaCl or Na₂SO₄. Seed germination parameters (kinetics and germination capacity, length of rootlets and tigels) were evaluated during a week of observation. The results obtained show that the low salt concentrations (≤ 100 mM NaCl and ≤ 150 mM Na₂SO₄ in *P. oleracea*) and (≤ 300 mM NaCl and ≤ 200 mM Na₂SO₄ in *C. tinctorius*) cause a delay in germination without reducing the germinative capacity. The process is completely inhibited from 300 mM Na₂SO₄ and 400 mM NaCl in *P. oleracea* and from 500 mM Na₂SO₄ and 600 mM NaCl in *C. tinctorius*. The growth of the vegetative parts (radicles and tigels) decreases proportionally with the increase of salinity. Both species studied appear to be affected by osmotic depression.

Keywords: *Carthamus tinctorius* L, *Portulaca oleracea* L., germination, NaCl, Na₂SO₄, osmotic depression.

تحليل السلوك الإنتاشي لبذور الزعفران (*Carthamus tinctorius* L.) والبندراق (*Portulaca oleracea* L.) تحت الإجهاد الملحي

ملخص:

تبحث الدراسة في تأثير الإجهاد الملحي الذي يفرضه NaCl أو Na₂SO₄ على الزعفران (*Carthamus tinctorius* L.) والبندراق (*Portulaca oleracea* L.) في مرحلة الإنتاش. لهذا الغرض، يتم زرع البذور في أوساط ذات تراكيز ملوحة متزايدة تتراوح من 0 إلى 600 ملي مول من NaCl أو Na₂SO₄. تم تقييم الخصائص المتعلقة بإنتاش البذور (الحركية وقدرة الإنتاش، أطوال الجذور و السويقات) خلال أسبوع من المراقبة. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن التراكيز المنخفضة من الملح (≥ 100 ملي مول من NaCl و ≥ 150 ملي مول من Na₂SO₄ عند بذور البندراق) و (≥ 300 ملي مول من NaCl و ≥ 200 ملي مول من Na₂SO₄ عند بذور الزعفران) تسبب تأخيرًا في الإنتاش دون تقليل القدرة الإنتاشية. تم إعاقة العملية تمامًا ابتداء من 300 ملي مول NaCl و 400 ملي مول Na₂SO₄ عند بذور البندراق ومن 500 ملي مول Na₂SO₄ و 600 ملي مول NaCl عند بذور الزعفران. يتناقص نمو الأجزاء النباتية (الجذور والسويقات) بالتناسب مع زيادة الملوحة. يبدو أن كلا النوعين المدروسين يتأثران بالإنخفاض الأسموزي.

الكلمات المفتاحية : *Carthamus tinctorius* L., *Portulaca oleracea* L., NaCl, الإنتاش, الإنخفاض الأسموزي.