



Projet de Fin d'ETUDES  
**Licence Sciences & Techniques**  
**Biotechnologie et Valorisation des Phyto-Ressources**

***Réaction de quelques génotypes de colza au  
stress salin***

**Présenté par : SFA WAFAE**

**Encadré par :**

- Dr. NABLOUSSI ABDELGHANI
- Pr. HAGGoud ABDELLATIF

**Soutenu le : 04 - juillet - 2022**

**Devant le jury composé de :**

- Pr. NABLOUSSI ABDELGHANI (Encadrant-INRA MEKNES)
- Dr. HAGGoud ABDELLATIF (Encadrant-FST FES)
- Pr. IRAQUI MOHAMMED (examineur)

**Année universitaire**  
**2021 /2022**

## Résumé

Le stress salin est l'un des principaux facteurs limitant la production agricole. Par conséquent, il est important de valoriser les zones menacées par ce phénomène (climat aride à semi-aride) à travers la culture d'espèces et de variétés qui tolèrent la salinité. Cette étude a été menée pour comparer le comportement germinatif de quelques génotypes de colza (*Brassica napus*) dans des conditions de stress salin. Dans ce cadre, un essai a été conduit sur onze génotypes : Baraka, TC1-7, Alia, KN, KF, Adila, MJF, Nap 9, Traper, Invigor et Moufida, dont les graines sont soumises à différentes concentrations de NaCl (0, 100, 200 et 300mM). Les mesures effectuées ont concerné le pourcentage de germination, le taux de germination final, le temps moyen de germination, la longueur des radicules et la longueur des pousses. Les résultats obtenus suggèrent que la capacité germinative des génotypes n'est pas affectée au niveau du traitement 100 mM de NaCl. Par contre, à des concentrations plus élevées (200 et 300mM), le stress salin a affecté négativement tous les paramètres. En effet, il y a eu une diminution du pourcentage de germination, du taux de germination finale et une augmentation du temps moyen de germination. Aussi la longueur de radicule et la longueur de l'hypocotyle diminuent significativement en augmentant le niveau de stress. Cependant, en présence comme en absence de sel, le génotype Baraka a montré le meilleur comportement germinatif à tous les niveaux de stress (0, 100, 200 et 300mM) avec les pourcentages de germination les plus élevés, soient (100%,100%,86% et 39%) respectivement, tandis que Traper, Invigor et Moufida sont les plus sensibles au tel stress. Pour la confirmation et la valorisation des résultats obtenus, le comportement de ces génotypes vis-à-vis la salinité devrait être évaluée en conditions réelles, en pots et/ou en plein champ.

**Mots-clés:** colza (*Brassica napus*), stress salin, germination, croissance, NaCl.

## Abstract

Salt stress is one of the main factors limiting agricultural production. Therefore, it is important to enhance the areas threatened by this phenomenon (arid to semi-arid climate) through the cultivation of species and varieties that tolerate salinity. This study was carried out to compare the germination behavior of several rapeseed (*Brassica napus*) genotypes under salt stress conditions. In this context, a trial was conducted on eleven genotypes: Baraka, TC1-7, Alia, KN, KF, Adila, MJF, Nap 9, Traper, Invigor and Moufida, whose seeds are subjected to different concentrations of NaCl (0, 100, 200 and 300mM). The measurements taken concerned the percentage of germination, the final germination rate, the average germination time, the length of the radicles and the length of the shoots. The results obtained suggest that the germinative capacity of the genotypes is not affected at the level of the 100 mM NaCl treatment. On the other hand, at higher concentrations (200 and 300 mM), salt stress negatively affected all parameters. Indeed, there was a decrease in the percentage of germination, the rate of final germination and an increase in the average time of germination. Also the length of the radicle and the length of the hypocotyl decrease significantly by increasing the level of stress. However, in the presence as in the absence of salt, the Baraka genotype showed the best germination behavior at all stress levels (0, 100, 200 and 300mM) with the highest germination percentages, i.e. (100%, 100% .86% and 39%) respectively, while Traper, Invigor and Moufida are the most sensitive to such stress. For the confirmation and enhancement of the results obtained, the behavior of these genotypes with respect to salinity should be evaluated in real conditions, in pots and/or in the open field.

**Key words:** rapeseed (*Brassica napus*), salt stress, germination, growth, NaCl.

## Dédicace

---

*Mes très chers parents aucune dédicace ne saurait vous exprimer mon estime et mon profond respect, voire l'expression de ma profonde reconnaissance pour votre patience, vos grands sacrifices, vos prières et vos encouragements quotidiens. Puisse Dieu vous donner santé et longue vie, afin que je puisse à mon tour vous combler, sans jamais vous décevoir.*

*De même, je dédie ce modeste travail à Mes deux sœurs Zineb et Samira et mon frère Hassan.*

*A mon collègue **Hamza RHAZAL**, Tu as toujours offert soutien et réconfort, j'exprime envers toi une profonde admiration et reconnaissance.*

*À mes amis **Niama HACHMAOUI**, **Fatima-zahra DEHMANI**, **Oumaima MEKNASSI**, **Driss TOUINSSI**, et **Driss SELIMANI**. Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des frères et sœurs sur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.*

*Mes respectueux enseignants et à tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à son élaboration. Que Dieu leur accorde santé et prospérité*

## Remerciements

---

J'exprime ma reconnaissance et mes remerciements à mon encadrant, **Dr. NABOULSSI ABDELGHANI**, Coordinateur de l'Unité de Recherche d'Amélioration des Plantes et Conservation des Ressources Phytogénétiques au CRRA(Centre Régionale de la Recherche Agronomique) de Meknès qui m'a fait l'honneur de confier ce travail, pour tout le temps qu'il m'a consacré, pour m'avoir dirigée et encouragée tout au long de ce travail, je le remercie également pour sa disponibilité, son aide précieuse, ses conseils et ses remarques.

Ainsi, Je tiens à présenter mes vifs remerciements et exprimer ma profonde gratitude à mon encadrant, **Pr. HAGGOUR ABDELLATIF**, Professeur à la Faculté des Sciences et technique à Fès.

Mes remerciements s'adressent également à Mme SAGHOURI EL IDRISSE Imane Doctorante à l'INRA pour son aide au laboratoire et ses conseils.

J'adresse ma gratitude et mes remerciements les plus sincères à Monsieur M.Kouighat doctorant à l'INRA pour son aide dans la relecture du draft de mon rapport.

Également, je tiens à remercier vivement Mlle wafae Sellami doctorante à l'INRA pour son aide, son soutien, ses suggestions pertinentes et le partage de son expertise au quotidien.

J'adresse ma gratitude et mes remerciements les plus sincères à toute l'équipe du laboratoire de l'amélioration génétique pour l'intérêt qu'elle a accordé à mes travaux de recherche, pour son aide précieuse, et l'amitié qu'elle m'a témoignée, en particulier, M. El Fechtali Mohamed.

## Liste tableaux

---

<b>Tableau 1:noms, origine et type des géotypes étudiés.....</b>	<b>14</b>
<b>Tableau 2:Analyse de la variance (ANOVA) pour les paramètres de test de germination évalué sous différents niveau de stress Salin induit par le NaCl.....</b>	<b>18</b>

## Liste figures

---

<b>Figure 1:description des composantes de la plante( rabelle-sante) .....</b>	<b>4</b>
<b>Figure 2: L'appareil reproducteur de colza(rabelle-sante).....</b>	<b>5</b>
<b>Figure 3: Le fruit de colza (source : rabelle-sante) .....</b>	<b>5</b>
<b>Figure 4:: Huile de colza : volume de production mondiale 2012/13-2020/21 (Statista, 2021).....</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 5:: Huile de colza : volume de production mondiale 2012/13-2020/21 (Statista, 2021).....</b>	<b>9</b>
<b>Figure 6:Volume de production de colza dans le monde par pays 2019/2020 (Statista, 2021).....</b>	<b>9</b>
<b>Figure 7:dispositif expérimental .....</b>	<b>15</b>
<b>Figure 8:Différente concentrations de NaCl .....</b>	<b>15</b>
<b>Figure 9:Irrigation journalière des boites de pétrie.....</b>	<b>15</b>
<b>Figure 10:Comptage des graines germées par boite .....</b>	<b>16</b>
<b>Figure 11:Mesure de la longueur des radicules et des pousses .....</b>	<b>17</b>
<b>Figure 12:Effet du stress salin induit par le NaCl sur le pourcentage de germination d'onze variétés de colza.....</b>	<b>19</b>
<b>Figure 13: Effet du stress salin induit par le NaCl sur le taux de germination d'onze variétés de colza .....</b>	<b>20</b>
<b>Figure 14:Effet du stress salin induit par le NaCl sur le temps moyenne de germination d'onze variétés de colza.....</b>	<b>21</b>
<b>Figure 15:Effet du stress salin induit par le NaCl sur la longueur des radicules d'onze variétés de colza .....</b>	<b>22</b>
<b>Figure 16: Effet du stress salin induit par le NaCl sur la longueur des pousses d'onze variétés de colza .....</b>	<b>23</b>

<b>Introduction</b> .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Chapitre 1 : revue bibliographique</b> .....	<b>4</b>
<b>I. Généralité sur le colza</b> .....	<b>4</b>
1. Classification et description botanique .....	4
2. Origine cytogénétique .....	5
3. Intérêt agro-économique de colza : .....	6
a. Alimentation humaine.....	6
b. Usage industriel.....	6
c. Alimentation animale .....	6
4. Stades de croissance et développement de colza.....	7
5. Exigences écologiques de la culture .....	8
6. Importance de la culture .....	8
a. Production du colza à l'échelle mondiale.....	8
b. Production du colza à l'échelle nationale.....	9
7. Contrainte de la culture et stress abiotiques .....	10
<b>II. Effet du stress salin sur la culture du colza</b> .....	<b>11</b>
1. Effet du stress salin sur la croissance et la productivité du colza .....	11
2. Effet du stress salin sur la germination du colza .....	11
3. Mécanismes d'adaptation et de tolérance du colza au stress salin.....	12
a. Signalisation ROS.....	12
b. Ajustement osmotique .....	12
c. Revigoration des semences par les régulateurs de croissance.....	12
d. Gestion des éléments nutritifs .....	13
e. Application foliaire d'hormones .....	13
<b>Chapitre 2 : matériels et méthodes</b> .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>I. Matériel végétal</b> .....	<b>14</b>
<b>II. Méthodologie</b> .....	<b>14</b>
<b>Chapitre 3 : Résultats et discussion</b> .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>I. Résultats</b> .....	<b>18</b>
1. Analyse de la variance .....	18
2. Impact du stress salin sur la germination et la croissance .....	18
a. Impact du stress salin sur germination .....	18
b. Impact du stress salin sur la croissance.....	22
<b>II. Discussions</b> .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>III. Conclusion et perspective</b> .....	<b>24</b>

## Introduction

Le sel constitue une grave menace pour la sécurité alimentaire mondiale, car il peut réduire les rendements des cultures et causer des dommages irréparables aux terres. Les zones les plus menacées sont celles à climat aride à semi-aride (Ruellan et al, 2008). Les écosystèmes arides et semi arides constituent environ 2/3 de la surface du globe terrestre (Ait Belaid, 1994). Dans ces écosystèmes, marqués par des sécheresses rigoureuses et fréquentes, la salinisation des sols se manifeste comme l'un des principaux facteurs limitant le développement des plantes. Au Maroc, le changement climatique engendre l'érosion du sol sous l'effet de la désertification qui aboutit à l'envasement des barrages, accentuation de la salinisation des sols ainsi que la ressource en eau (Ouhamdouch et al, 2016). Au Maroc, la salinisation des sols prend des dimensions alarmantes en réduisant les terres cultivables et menaçant l'équilibre alimentaire de ces régions (Kinet et al, 1998).

Actuellement, le colza cultivé essentiellement dans des zones tempérées du Nord, est devenu une espèce oléo protéagineuse ayant contribué à l'accroissement des ressources en huile et en protéine dans plusieurs pays. Au Maroc cette culture se trouve actuellement dans différentes régions et zones et se fait globalement en sec (bour) même si dernièrement elle a été introduite dans des périmètres irrigués. La sécheresse et les hautes températures sont les principaux stress abiotiques menaçant le colza au niveau de ces différentes zones. Cependant avec les changements climatiques causant des sécheresses et salinisation accrues. La salinité peut émerger comme une nouvelle menace de cette culture dans le futur proche.

La germination est considérée comme une étape critique dans le cycle de développement de la plante. En effet, elle conditionne l'installation de la plantule, son branchement sur le milieu, et probablement sa productivité ultérieure. Le chlorure de sodium présent dans le sol ou dans l'eau d'irrigation affecte la germination des glycophytes. Il diminue la vitesse de germination et réduit le pouvoir germinatif. Cet effet dépend de la nature de l'espèce, de l'intensité du stress salin et de sa durée d'application (Ben Naceur et al, 2001).

Le développement de variétés tolérantes à la salinité jouera un rôle très important dans l'augmentation de la surface réservée à la culture du colza au Maroc, en l'étendant dans des zones arides et semi-arides (en irrigué et en sec). Dans ces circonstances l'amélioration génétique reste le moyen le plus efficace pour disposer d'un matériel végétal adapté aux conditions pédoclimatiques marocaines. Il s'agit de tester et de sélectionner des variétés aptes à maintenir un niveau de germination satisfaisant sous contraintes de salinité.

Dans ce contexte, le présent travail vise à évaluer la réponse de 11 variétés de colza à différents niveaux de stress salin survenant au stade de germination.

Par ailleurs, et en dehors de mon projet de fin d'étude j'ai contribué à plusieurs tâches liées à d'autres thématiques ou sujets de recherche que je vais énumérer à la fin de ce rapport.

## **Présentation de l'institution**

### **Aperçu sur l'Institut National de la Recherche Agronomiques(INRA).**

L'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) a pour mission d'entreprendre les recherches pour le développement agricole. C'est un établissement public dont les origines remontent à 1914 avec la création des premiers services de recherche agricole officiel. Il a connu dernièrement une réorganisation structurelle visant la modernisation de son processus de gestion. La finalité de la nouvelle organisation est de doter l'institution d'une : •planification stratégique adéquate pour renforcer les capacités prospectives d'adaptation, de réaction et d'anticipation de la demande sociale de recherche agronomique; •politique de proximité en se basant sur la régionalisation et la déconcentration de la recherche; •système intégré de suivi, d'évaluation et de contrôle; •gestion intégrée et rationnelle des ressources; •politique de valorisation de ses produits; • politique cohérente d'information et de coopération. L'INRA opère à travers 10 centres régionaux de la recherche agronomique et 23 domaines expérimentaux répartis sur le territoire national et couvrant les divers agrosystèmes du pays. Les projets de recherche de l'INRA sont définis avec la participation des partenaires, des clients et des prescripteurs régionaux. Ils sont menés au sein de trente unités de recherche hébergés par les Centres Régionaux. Ils sont encadrés à l'échelle centrale par dix départements scientifiques à vocation disciplinaire

### **Aperçu sur le Centre Régional de la Recherche Agronomique (CRRA)**

Le CRRA Meknès est une institution à profond ancrage historique qui développe une stratégie de recherche actualisée pour la production de technologies, connaissances et méthodes. Les recherches du centre accompagnent la mise en œuvre des plans régionaux adoptés dans le cadre du Plan Maroc Vert et en étroite collaboration avec le développement et la profession. Les ressources humaines du CRRA Meknès :

Des compétences scientifiques et techniques pluridisciplinaires confirmées ♣ 25 Chercheurs spécialisés dans différentes disciplines des sciences agronomiques et humaines ♣ 19 Technicien NES de recherche ; 31 agents ♣ Un administrateur

## Chapitre 1 : Revue bibliographique

### I. Généralité sur le colza

#### 1. Classification et description botanique

Le colza appartient à un groupe de plantes oléagineuses de la famille des crucifères (*Brassicacees*).

Le colza est une plante herbacée de 80 à 100 cm de hauteur, à la tige dressée et ramifiée. Les feuilles sont vert-bleuâtre : celles de la base sont profondément découpées et pétiolées, tandis que les feuilles de la tige sont embrassantes (sans pétiole), les plus basses restant très découpées alors que les feuilles supérieures sont entières et lancéolée (figure 1) (Rihet, 2019).

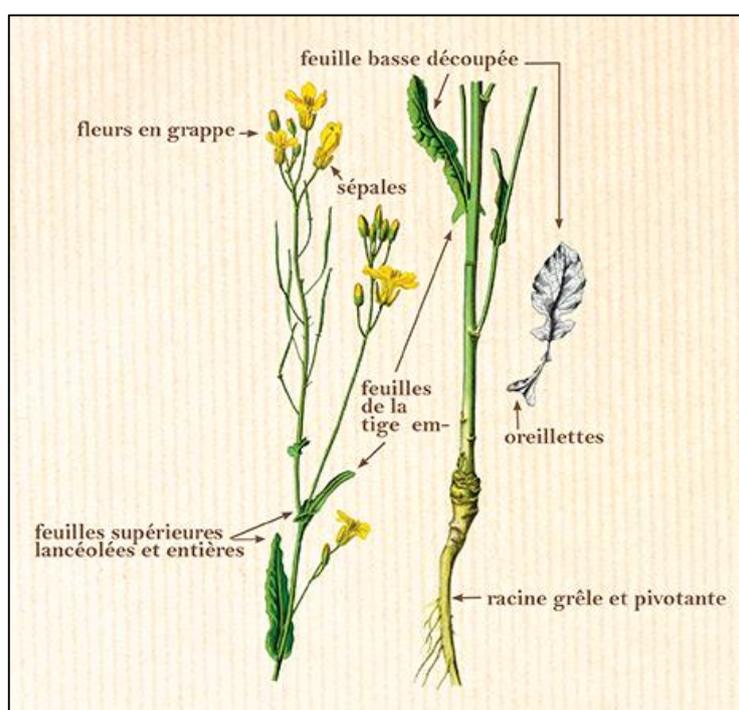


Figure 1: description des composantes de la plante (Rihet, 2019)

Les fleurs sont jaune pâle, regroupées en grappes. La fleur se compose de quatre pétales libres, de quatre sépales allongés, de six étamines, quatre longues et deux courtes, et d'un ovaire avec un style et un stigmate (figure 2). Les quatre nectaires au bas de la corolle sécrètent une grande quantité de nectar riche en glucose qui attire de nombreux insectes (Rihet, 2019).

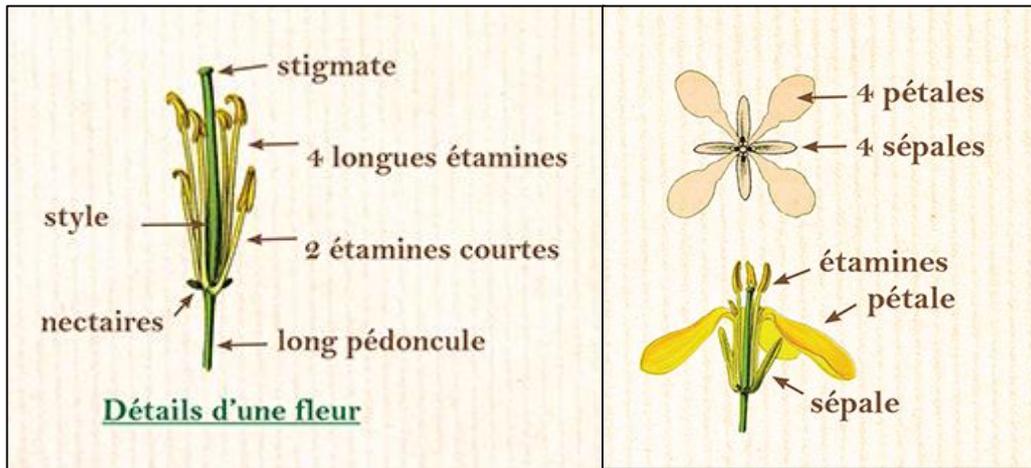


Figure 2: L'appareil reproducteur de colza (Rihet, 2019)

Le colza (ou colza) est principalement utilisée pour la production d'huile extraite des graines. Le résidu riche en protéines des graines est transformé en farine et incorporé dans l'alimentation des moutons, des vaches et des porcs (Rihet, 2019).

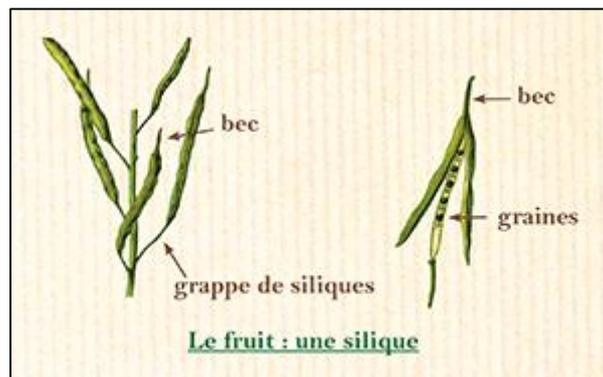


Figure 3: Le fruit de colza (source Rihet, 2019)

## 2. Origine cytogénétique

Le colza cultivé est un hybride naturel entre le chou et la navette (Nabloussi, A. 2015). Le colza aurait pour origine le Sud-ouest de l'Europe, mais il a pu également se former en Asie Orientale (Guettaa, I. 2010).

### Rang taxonomique : (USDA-NRCS, 2014)

- Règne : Plantes (règne végétal)
- Sous-règne : Trachéobiontes (plantes vasculaires)
- Super-embranchement : Spermatophytes (plantes à graines)
- Embranchement : Magnoliophytes (plantes à fleurs)
- Classe : Magnoliopsides (dicotylédones)
- Sous-classe : Dilléniidées

- Ordre : Capparales
- Famille : Brassicacées (famille de la moutarde)
- Genre : Brassica L. (moutarde)
- Espèce : Brassica napus L. (canola et colza)

### 3. Intérêt agro-économique de colza :

Le colza est cultivé pour ses huiles alimentaires sans acide érucique et riches en acide oléique. Mais d'autres applications industrielles non alimentaires sont également importantes.

#### **a. Alimentation humaine**

L'huile de colza est jaune à dorée. Sa préoccupation nutritionnelle réside dans sa composition équilibrée en acides gras. En fait, cette huile ne contient que 7 à 8 % de graisses saturées, plus de 60 % de graisses mono insaturées (acide oléique) et seulement environ 30 % de graisses polyinsaturées (Nabloussi, 2015).

#### **b. Usage industriel**

L'huile de colza a plusieurs utilisations industrielles, alimentaires et non alimentaires. Elle peut entrer dans la composition de la margarine, du beurre de cacao, des huiles anti-poussière, des anti-mousses, des pesticides et des herbicides, des biolubrifiants, des détergents, des cosmétiques, des produits pharmaceutiques et plus encore. L'utilisation de l'huile de graines oléagineuses comme carburant et lubrifiant est certainement le plus grand défi. L'idée d'utiliser l'huile végétale comme carburant n'est pas nouvelle. Les carburants à base d'huiles végétales sont utilisés après le processus d'estérification de ces huiles sous forme d'esters méthyliques. Après combustion, les esters méthyliques laissent moins de résidus dans le moteur que l'huile non traitée et produisent moins de polluants que le diesel dérivé du pétrole. De plus, le biodiesel sous forme d'esters méthyliques produit moins de composés organiques volatils, de dioxyde de carbone et d'hydrocarbures que le diesel et ne produit presque pas de soufre (Van, 2004). En raison de leur grande stabilité à l'oxydation, les huiles à haute teneur en acide oléique telles que l'huile de colza sont les plus recommandées pour la production de lubrifiants (Harold et al, 1995) ou de biodiesel (Körbitz, 1995).

#### **c. Alimentation animale**

Après extraction de l'huile du colza, le résidu est récupéré sous forme de tourteau et utilisé comme aliment pour animaux. Néanmoins, ces tourteaux doivent contenir de très petites

quantités de glucosinolate, une substance soufrée goitrogène qui a un effet néfaste sur la nutrition animale (Nabloussi, 2015).

#### 4. Stades de croissance et développement de colza

Deux types principaux de développement se distinguent :

- Le type "Hiver" (Colza d'hiver) à phase rosette longue, qui demande une période hivernale vernalisante ( $< 10^{\circ}\text{C}$  pendant au moins 40 jours), pour accomplir son cycle végétatif, puis une photopériode longue; il possède une certaine résistance au froid (INA P-G – Département AGER – 2003).
- Le type "Printemps" (Colza de printemps) à phase rosette très courte, qui ne nécessite aucune phase vernalisante, mais requiert des jours longs; il est sensible au froid (INA P-G – Département AGER – 2003).

Stade de développement de colza :

- Phase végétative : le colza d'hiver étale d'abord au-dessus du sol ses deux cotylédons (germination épigée), puis développe une vingtaine de feuilles formant avant l'hiver, une rosette. Au début de l'hiver, la plante possède une tige de 2 à 3 cm, ou de 10 à 20 cm, selon les conditions écologiques et variétales. Parallèlement à la formation de cette rosette de feuilles, le système racinaire se développe en pivot et la plante y accumule les réserves qui seront utilisées au moment de la montée, de la ramification des tiges et de la maturation (INA P-G – Département AGER – 2003).
- Phase reproductrice : à la fin de l'hiver débute la montée : l'inflorescence s'ébauche au sommet de la tige, et parallèlement commence l'élongation des entre-nœuds supérieurs. La floraison débute bien avant que la tige n'ait atteint sa taille définitive; la ramification de la tige se produit alors que la montée et la floraison se poursuivent. Très échelonnée, la floraison dure de 4 à 6 semaines à l'échelle de la plante; elle est à autogamie prépondérante (70% en moyenne) (INA P-G – Département AGER – 2003).
- Phase de maturation : la formation du fruit est assez rapide. La maturité des graines est acquise en 6 à 7 semaines après la fécondation. A maturité, le moindre choc peut provoquer la déhiscence de la silique et la chute des graines (INA P-G – Département AGER – 2003).

## 5. Exigences écologiques de la culture

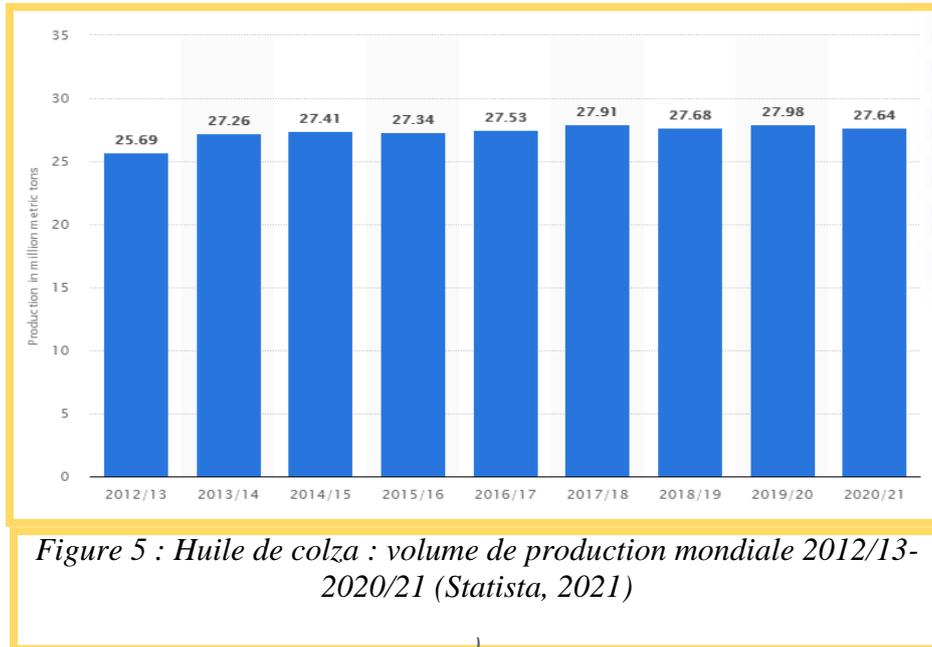
- Le sol : le colza préfère les sols riches, profonds et meubles qui sont bien drainés et retiennent une certaine humidité. Il ne tolère pas les sols mal drainés ou inondés (Sattel et al, 1998).
- La Température : le colza ne supporte pas les basses températures de l'hiver, mais est sensible aux températures élevées et sèches (sirocco). La température optimale pour son développement se situe entre 10° et 20°C (Amrani, 2013).
- Eau : le colza est une culture particulièrement gourmande en eau avec un besoin total de 450-500 mm pour l'ensemble du cycle (Nabloussi, 2015).
- Nutrition minérale : le besoin en minéraux du colza est assez important et reste lié à l'objectif de rendement souhaité. Cependant, lorsque les résidus de culture sont recyclés et incorporés dans le sol, la récupération inférieure du phosphore moyenne de l'azote et très élevée du potassium à 50 %, 31 % et 91 %, respectivement. (Zerrari et al, 2001).

## 6. Importance de la culture

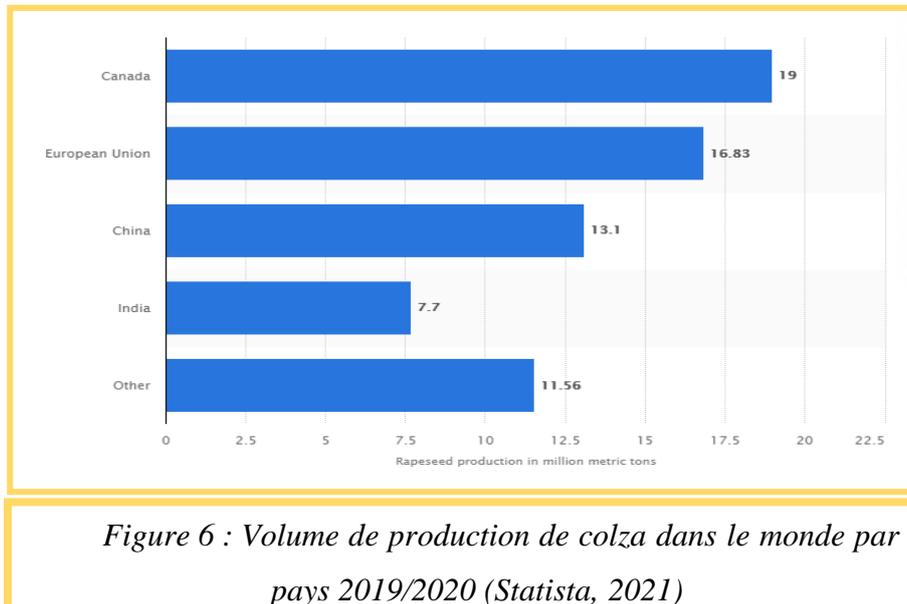
### a. Production du colza à l'échelle mondiale

Le colza est une culture largement répandue dans le monde, principalement pour l'alimentation animale, la production d'huile alimentaire, et plus récemment pour la production de biocarburant. Le colza est la deuxième graine oléagineuse la plus produite au monde après le soja. Il est cultivé sur tous les continents. Les principaux producteurs sont le Canada, l'Union européenne, l'Australie, la Chine et l'Inde (Statista, 2021).

La production mondiale d'huile de colza en 2020/21 était de 27,64 millions de tonnes. La figure 5 montre la production mondiale d'huile de colza de 2012/13 à 2020/21 (Statista, 2021).



La figure 6 montre la production de colza dans différents pays de 2019 à 2020. Force est de constater que le Canada est le premier producteur mondial de colza avec une production de 19 millions de tonnes, suivi de l'Union européenne, de la Chine et de l'Inde. (Statista, 2021)



### **b. Production du colza à l'échelle nationale**

Le Maroc accuse un grand déficit en matière d'huiles et de protéines végétales issues des graines oléagineuses. Actuellement, le tournesol est l'unique culture oléagineuse pratiquée dans des zones limitées (Nabloussi, 2015).

La culture du colza a été introduite pour la première fois au Maroc en 1981 (Nabloussi, 2015). En 2012, un projet dans le cadre du Plan Maroc Vert, était consacré aux oléagineux dans la province de Meknès avec la signature d'un contrat programme entre le Gouvernement du Royaume du Maroc et la Fédération interprofessionnelle des oléagineux (FOLEA) pour la période 2013– 2020. Son objectif principal est d'atteindre 127.000 hectares de surface cultivée en oléagineux dans le pays, dont 85.000 hectares de tournesol et 42.000 hectares de colza. L'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) est partie prenante dans le processus de la promotion et le développement du secteur des oléagineux, à travers la diversification des cultures oléagineuses mises en recherche-expérimentation, la mise au point de variétés améliorées et de techniques culturales appropriées, répondant aux principes de développement durable et de protection de l'environnement. Parmi ces espèces oléagineuses, le colza (Nabloussi, 2015).

## **7. Contrainte de la culture et stress abiotiques**

### a) La sécheresse

La première fragilité du colza face au changement climatique réside en effet dans la diminution voire l'absence de précipitations au moment de son implantation. Les sécheresses printanières peuvent également impacter négativement le développement du colza puisqu'il va moins valoriser les engrais azotés et soufrés ce qui implique une croissance ralentie. La qualité d'enracinement est essentielle pour faire face à ces situations météorologiques (Anonyme, 2022).

### b) La haute température

L'impact de l'élévation des températures se manifeste surtout par une précocification de la reprise des colzas. Si la hausse des températures n'a pas d'impact sur la formation des grains, elle en a en revanche sur leur remplissage diminuant l'efficacité de la photosynthèse. Les températures au-delà des 29°C sont stressantes pour la culture, elles réduisent le nombre de fleurs et le rendement en graines du colza. De nombreux chercheurs pensent que l'élévation des températures est responsable du plafonnement des rendements en colza (Anonyme, 2022).

### c) La salinité

Au sein des contraintes qui limitent la production d'oléagineuses (colza) et de la plupart des espèces cultivées, le sel du sol est un facteur important de création de stress hydrique et de réduction des surfaces (Daoud et al, 2007). En fait, plus de la moitié des sols irrigués

contiennent du sel, en particulier l'accumulation de Na<sup>+</sup> provenant de l'eau salée d'irrigation. Et l'utilisation excessive d'engrais (Bennaceur et al, 2001).

La tolérance aux stress salin, est donc une qualité énormément recherchée pour contribuer au développement durable de l'écosystème. En général, la plante cultivée doit être sélectionnée pour la tolérance aux environnements extrêmes qui marquent le phénomène de changement climatique.

## **II. Effet du stress salin sur la culture du colza**

### **1. Effet du stress salin sur la croissance et la productivité du colza**

Chez *B. napus*, le stress salin a réduit la longueur des pousses et la surface foliaire de 34 % et 47 %, respectivement (Wani et al, 2013). Pitann et al. (2009) ont montré que la réduction de la longueur des pousses et de la surface foliaire était due à une division et à un allongement cellulaire altérés et perturbés. Une corrélation négative significative a été trouvée entre la tolérance au sel et la pousse fraîche dans *B. napus*, suggérant que la tolérance globale, ou sensibilité au sel, pourrait être liée à la séquestration cellulaire des ions toxiques et à la tolérance tissulaire (Yong et al, 2015). Chez *Brassica napus*, la croissance des racines a été significativement réduite en raison de la réduction de la longueur des racines et de la masse fraîche des racines sous stress salin (Hayat et al, 2012). Le stress salin a entraîné une réduction significative du rendement en graines et des traits contribuant au rendement, notamment le nombre de gousses par plante et le nombre de graines par gousse et le poids de 1000 graines chez différents génotypes de *Brassica napus* (Chakraborty et al, 2015). Le stress de salin a considérablement réduit la hauteur de la plante, le nombre de branches primaires, de gousses par plante et le rendement en graines qui en résulte, ainsi qu'une diminution des accumulations de carbone et d'azote dans différents organes de la plante et leur translocation vers les tissus reproducteurs de colza (Zuo et al, 2019). De plus, la réduction de la photosynthèse induite par le stress salin, les échanges gazeux des feuilles et la production élevée de ROS entraînent une réduction globale de la croissance et des performances de rendement des *brassicacées* (Nazarbeygi et al, 2011; Wani et al, 2013).

### **2. Effet du stress salin sur la germination du colza**

Le stress salin réduit principalement la germination des graines et l'émergence des semis (Carpýcý et al, 2009). Le stress salin réduit la croissance des plantes en modifiant la teneur en eau des tissus végétaux ou en provoquant l'accumulation d'ions toxiques tels que Na<sup>+</sup> ou Cl<sup>-</sup> à des niveaux toxiques (Munns, 2002). Cependant, le degré de tolérance au sel pendant la

germination des graines varient selon les espèces de *Brassica* et même dans les cultivars. (Zadeh et al, 2007). D'autres études ont montré une réduction du pourcentage de germination et du taux de germination dans *B. Napus* peut-être d à la toxicité ionique ou de l'indisponibilité / de l'absorption réduite des nutriments, en particulier du potassium (K<sup>+</sup>), ou les deux (Mer et al, 2000; Ahmad et al, 2009). Les enzymes telles que l' $\alpha$ -amylase et la protéase sont deux enzymes importantes impliquées dans le métabolisme de réserve et la germination des graines (Lu et al, 2015; Damaris et al, 2019). Le stress salin réduit l'activité de ces deux enzymes et entrave ainsi la germination des graines (Pace et al, 2012; Adetunji et al, 2020).

### **3. Mécanismes d'adaptation et de tolérance du colza au stress salin**

#### *a. Signalisation ROS (Reactive Oxygen Species)*

La famille des brassicacées produisent des ROS (les espèces oxygénés actifs) lorsqu'elles sont exposées à des conditions de stress salin (Mittal et al, 2012). Lors de la production de ROS, les cellules subissent deux processus biochimiques : le premier est un dommage oxydatif dû à une production élevée et incontrôlée de ROS et le second est l'activation de cascades de signalisation en réponse aux ROS dans des conditions de stress (Shahzad et al, 2019). Ainsi, un équilibre serré entre la production de ROS et le piégeage des ROS est nécessaire pour comprendre le rôle des ROS dans la régulation de la tolérance au stress de salinité dans *Brassica*.

#### *b. Ajustement osmotique*

Au niveau cellulaire, le stress salin affecte la turgescence et l'équilibre osmotique dans la cellule. L'ajustement osmotique est un mécanisme important qui joue un rôle crucial dans le cycle de vie d'une plante soumise à un stress salin. La plante produit différents osmolytes et solutés compatibles pour atténuer les effets négatifs induits par le stress salin. Deux mécanismes sont responsables, dont le premier de novasynthèse de solutés compatibles et la deuxième accumulation d'ions inorganiques dans le cytoplasme (Fleurs et al, 2004). Ces solutés aident à protéger les protéines et les membranes des dommages dus aux fortes concentrations d'ions inorganiques et aux dommages oxydatifs sous stress hydrique (Chen et al, 2011).

#### *c. Revigoration des semences par les régulateurs de croissance*

La revigoration des graines (SI) est une approche très pratique pour améliorer la germination et la vigueur des graines, et l'amorçage des graines (SP). Le stress salin diminue considérablement la germination des graines du colza et SP peut potentiellement améliorer le processus de germination en améliorant de nombreux processus d'imbibition, la vitesse de germination et l'activité de l'enzyme  $\alpha$ -amylase (Nawaz et al, 2013; Ibrahim, 2016).

#### *d. Gestion des éléments nutritifs*

Le stress salin provoque un déséquilibre ionique en raison de l'absorption et de la translocation accrues de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  au détriment d'autres nutriments minéraux essentiels. La gestion des éléments nutritifs via l'application d'engrais est l'une des pratiques les plus importantes pour contrer l'effet néfaste du sel dans la famille de Brassicacées en maintenant l'homéostasie ionique (Tanveer et al. 2013; Bargaz et al. 2016). L'application de nutriments essentiels comme N, P ou K améliore significativement la performance de *Brassicacées* dans différents environnements de stress abiotiques défavorables (Iqbal et al. 2015).

#### *e. Application foliaire d'hormones*

L'application exogène d'hormones régulées par le stress joue un rôle important dans l'amélioration des effets du stress chez les plantes (Anjum et al. 2015). De nombreuses hormones telles que les brassinolides, l'acide salicylique, les gibbérellines et d'autres ont montré des résultats significatifs dans l'atténuation des effets néfastes du stress salin chez différents génotypes de *Brassica*. Les phytohormones induisent principalement la tolérance à la salinité en améliorant l'ajustement osmotique, la pression de turgescence, l'efficacité de l'utilisation de l'eau, l'accumulation de nutriments et la production d'antioxydants (Iqbal et al, 2013).

## Chapitre 2 : Matériels et méthodes

### I. Matériel végétal

Onze génotypes de colza de différentes origines et structures génétiques ont fait l'objet de cette étude. Le tableau 1 montre les noms, l'origine et le type de ces génotypes.

Tableau 1: noms, origine et type des génotypes étudiés

code	génotype	Origine	Type
V1	BARAKA	INRA-MAROC	Variété lignée pure
V2	TC1-7	INRA-MAROC	lignée mutante
V3	ALIA	INRA-MAROC	Variété lignée pure
V4	KN	INRA-MAROC	lignée pure
V5	KF	INRA-MAROC	lignée pure
V6	ADILA	INRA-MAROC	Variété lignée pure
V7	MJF	INRA-MAROC	lignée pure
V8	NAP9	INRA-MAROC	lignée pure
V9	TRAPER	Allemagne	Variété hybride
V10	INVIGOR	Etranger	Variété hybride
V11	MOUFIDA	INRA	Variété lignée pure

### II. Méthodologie

Dans le but de déterminer les effets néfastes de NaCl sur la germination des graines de colza, un essai de germination a été effectué sous différentes concentrations de chlorure de sodium (figure 7). Trois niveaux de stress salin ont été simulés à travers l'application de trois concentrations de NaCl (100, 200, et 300 mM) (figure 8). Pour chaque traitement, on a stérilisé 150 graines (50 graines par répétition) avec l'éthanol à 70% pendant 5 minutes et lavées avec l'eau distillé 3-5 fois. Les graines stérilisées ont été séchées avec du papier buvard et conservées à température ambiante pour un séchage complet. Les graines traitées sont placées sur un papier filtre dans des boîtes de Pétri stériles contenant 15 ml de solution de NaCl (figure 8) ou 15 ml de dH<sub>2</sub>O pour le témoin. Les boîtes ont été irriguées chaque jour (figure 9). Les graines ont été cultivées dans des conditions optimales (température à 25°C). La germination des graines a été enregistrée quotidiennement pendant 8 jours et les graines ont été considérées comme étant germées lorsque la longueur de la radicule était de 2 mm.



*Figure 5:dispositif expérimental*



*Figure 7:Irrigation journalière des boîtes de pétrie*



*Figure 6:Différente concentrations de NaCl*

Au cours de cet essai les paramètres étudiés sont:

- Pourcentage de germination (PG): le nombre de graines germées est compté après 2, 4, 6 et 8 jours. Le pourcentage de germination (GP) est déterminé en comptant le nombre total de graines germées à la fin de l'essai de germination (8 jours).



*Figure 8: Comptage des graines germées par boîte*

- Taux de germination final (TGF): ce paramètre constitue le meilleur moyen d'identification de la concentration qui présente la limite physiologique de germination des graines. Il est exprimé par le rapport  $(GR = \Sigma (Ni / Di))$  selon Carlton et al. (1968), où  $Ni$  est le nombre de graines germées dans chaque comptage et  $Di$  représente le jour de comptage.
- Temps moyen de germination (TMG) : c'est le temps au bout duquel on atteint 50% des graines germées et il est déterminé comme étant l'inverse du taux de germination final  $(TMG = 1/TGF)$ .
- Longueur de radicule (LR) et pousse (LH): cette longueur est mesurée à l'aide d'une règle graduée.



*Figure 9: Mesure de la longueur des racines et des pousses*

## Chapitre 3 : Résultats et discussion

### I. Analyse de la variance

Les résultats de l'analyse de la variance ont mis en évidence un effet de traitement (concentration de NaCl) très hautement significatif sur le pourcentage de germination, le taux et le temps moyen de germination (Tableau 2).

Tableau 2: Analyse de la variance (ANOVA) pour les paramètres de test de germination évalué sous différents niveaux de stress salin induit par le NaCl.

Variable	PG (%)	TG	TMG (J)	LE (cm)	LR (cm)
<b>Dépendante</b>					
<b>Traitement par NaCl</b>	<b>43246,59***</b>	<b>681,519***</b>	<b>42,312 **</b>	<b>66,903***</b>	<b>265,443***</b>
<b>Génotype</b>	<b>6709,73***</b>	<b>108,386***</b>	<b>8,438NS</b>	<b>4,024***</b>	<b>10,626***</b>
<b>Gen X Trait</b>	<b>812,527***</b>	<b>11,787***</b>	<b>14,84NS</b>	<b>1,025**</b>	<b>3,523***</b>

NS: Non significative

**\*, \*\*, \*\*\* Différences significatives aux niveaux de probabilité de 0,05, 0,01 et 0,001 respectivement.**

**PG (%) : pourcentage de germination, TG : indice de taux de germination, TMG : temps moyenne de germination par jour, LE : longueur des hypocotyles, LR : longueur des radicules.**

Le stress salin affecte d'une manière hautement significative la germination des graines de colza, pourcentage (PG), indice de taux de germination (TGF) et la longueur de radicule (LR). Il y avait aussi un important effet de la variété et son interaction avec la salinité sur ces paramètres sauf le TMG (tableau2). Cela indique que les génotypes testés ont réagi différemment vis-à-vis des niveaux de salinité suggérant la possibilité de sélectionner des génotypes tolérants à la salinité pendant la germination des graines.

### II. Impact du stress salin sur la germination et la croissance

#### a. Impact du stress salin sur germination

Les résultats de l'effet du stress salin induit par le NaCl sur les paramètres de germination des graines de colza ; pourcentage de germination (PG), indice de taux de germination (TG) et le temps moyen de germination (TMG), sont illustrés respectivement par les figures 12,13 et 14.

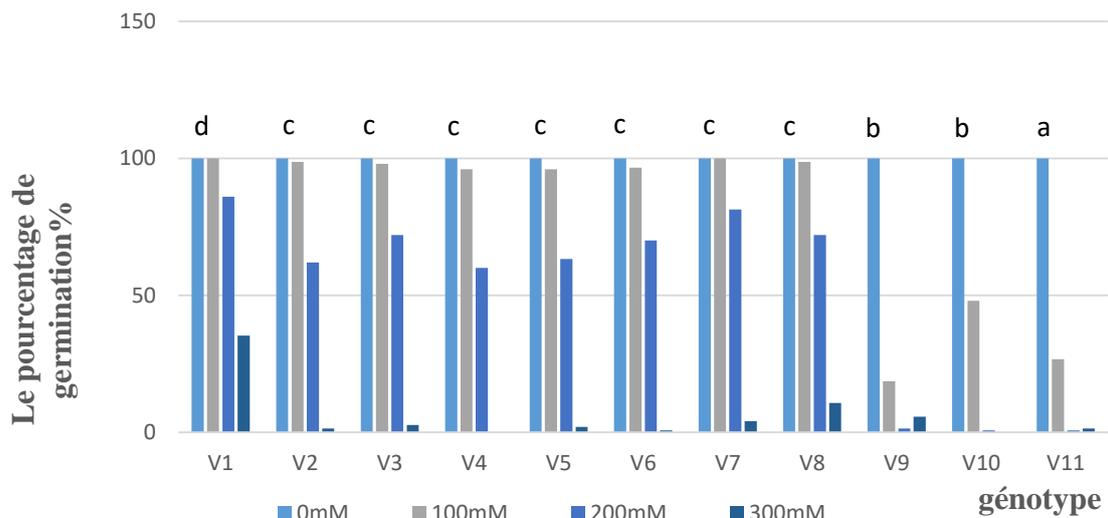


Figure 10: Effet du stress salin induit par le NaCl sur le pourcentage de germination d'onze variétés de colza

Le PG le plus élevé (100%) a été observé en absence de stress salin (contrôle) chez toutes les variétés. Sous stress modérée (100mM) le PG le plus élevé (100%) été observé chez « V1 » et « V7 » suivie par « V8 » (98%), tandis que « V9 » et « V11 » avaient le PG le plus bas (19% et 26% respectivement). Sous un stress intermédiaire (200mM) « V1 » avait le PG le plus élevé (86%) suivie par « V7 » avec un PG de (80%), tandis que « V9 », « V10 » et « V11 » ont montré les réduction les plus drastiques (5%, 4% et 2% respectivement). Sous un stress sévère (300mM) encore une fois « V1 » a maintenu le PG le plus élevé (39%), tandis qu'aucune germination n'a été enregistrée chez « V4 » et « V10 ».

Dans la présente étude, tous les paramètres de germination mesurés ont été affectés par le stress dû à la salinité. En particulier le PG a diminué avec l'augmentation de niveaux de stress. Ceci est en accord avec les résultats trouvés par (El-Badri et al, 2021).

Par rapport aux autres variétés « V1 » présente un PG assez élevée de (100% à 100mM), (86% à 200mM) et (39% à 300mM) suivie par « V7 » et « V8 », tandis que « V9 », « V10 » et « V11 » avaient un PG trop faible avec une moyenne de (19% à 100mM, 5% à 200mM et 9% à 300mM) chez « V9 ». (49% à 100mM, 4% à 200mM et 0% à 300mM) chez « V10 ». (29% à 100mM, 2% à 200mM et 4% à 300mM) chez « V11 ».

(Babar Shahzad et al, 2021), Ont trouvé que lorsque la concentration de NaCl atteint le 200mM, la germination des graines a été observée seulement chez une variété. En comparaison avec nos résultats, même si on a augmenté le niveau de salinité à 300mM, la germination des graines a

été enregistrée chez tous les génotypes avec le PG le plus élevé (39%) été enregistré chez « V1 ». Donc on peut dire que la variété « V1 » a montré le niveau le plus élevé de tolérance à la salinité. Les génotypes (V1, V7, et V8) ayant un potentiel génétique pour maintenir une croissance plus élevée des plantules dans des conditions de stress salin sont tolérants à la salinité dans cette étape particulière, et leur tolérance devrait être confirmée aux stades adultes de la plante.

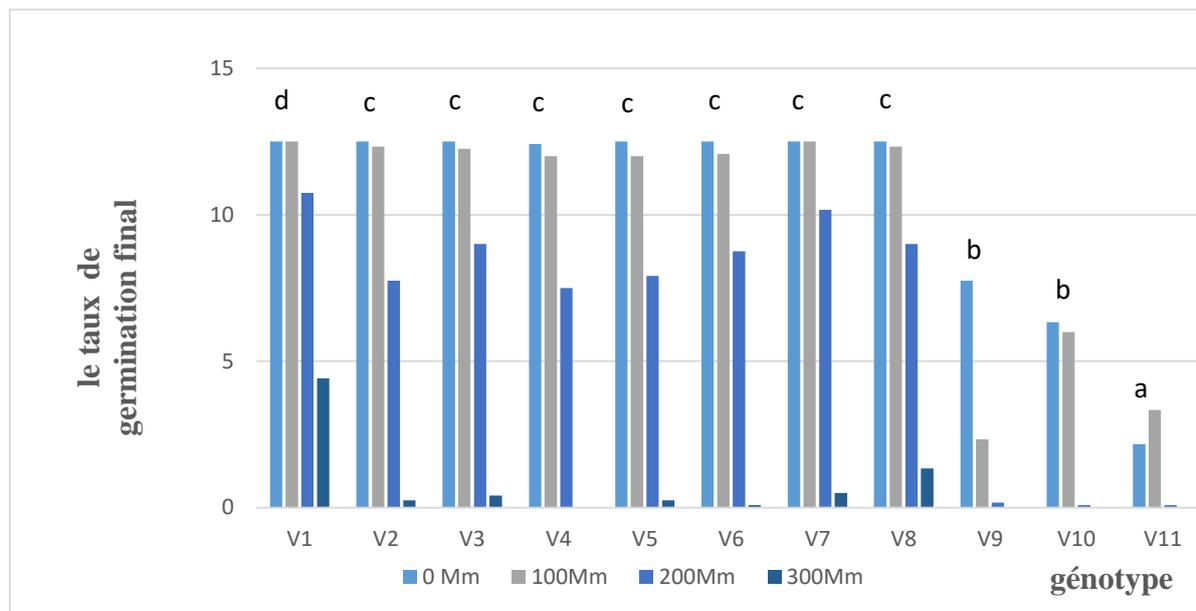
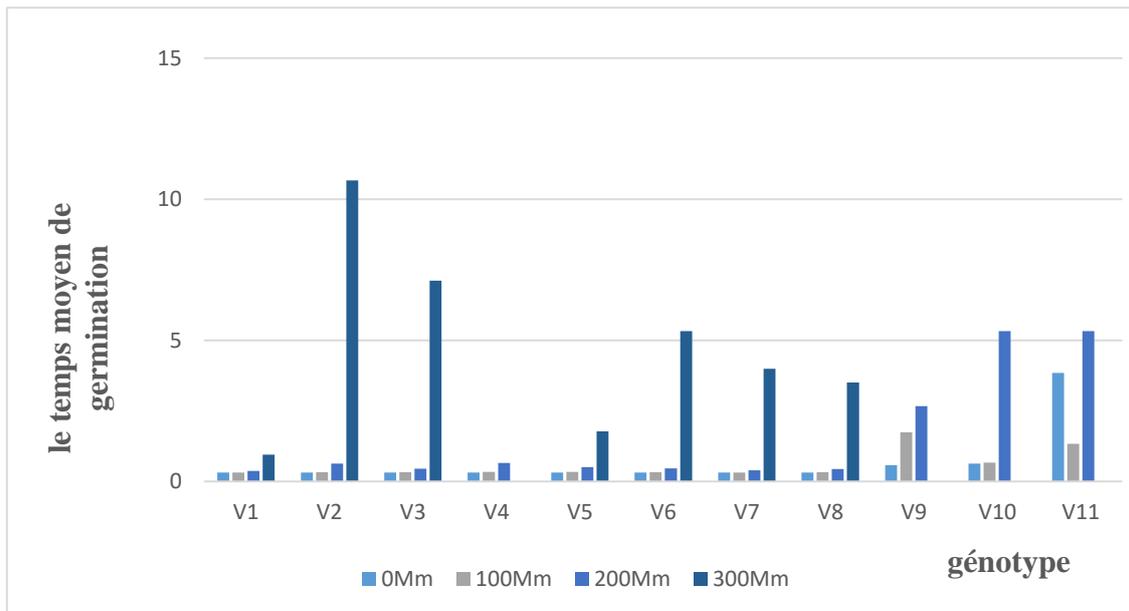


Figure 11: Effet du stress salin induit par le NaCl sur le taux de germination d'onze variétés de colza

Le taux de germination final (TGF) été élevé à 0 et 100mM avec la moyenne 12.5 chez tous les génotypes sauf « V9 », « V10 »et « V11 ». Le TGF a diminué significativement chez toutes les variétés à 200 et 300Mm. Cependant, les variétés « V1 », « V7 » et « V8 » ont confirmé leur plus haute tolérance aux différents niveaux de salinité en maintenant les plus hautes valeurs de TGF comparées aux variétés « V9 », « V10 »et « V11 ».



*Figure 12: Effet du stress salin induit par le NaCl sur le temps moyen de germination d'onze variétés de colza*

Le temps moyen de germination (TMG) de toutes les variétés expérimentés a été considérablement retardé en augmentant le niveau de salinité. Les variétés « V1 », « V5 », « V7 » et « V8 » étaient les moins touchées car elles ont montrées le TMG le plus faible pour tous les niveaux de salinité.

Le TMG a augmenté avec l'augmentation du niveau de stress. Ceci est en parfaite concordance avec les résultats d'une étude antérieure sur le colza (Babar Shahzad et al. 2021).

## b. Impact du stress salin sur la croissance

Les résultats de l'effet du stress salin induit par le NaCl sur les paramètres de la croissance notamment la longueur des racicules (LR) et la longueur des pousses (LH), sont illustrés respectivement par les figures 15 et 16.

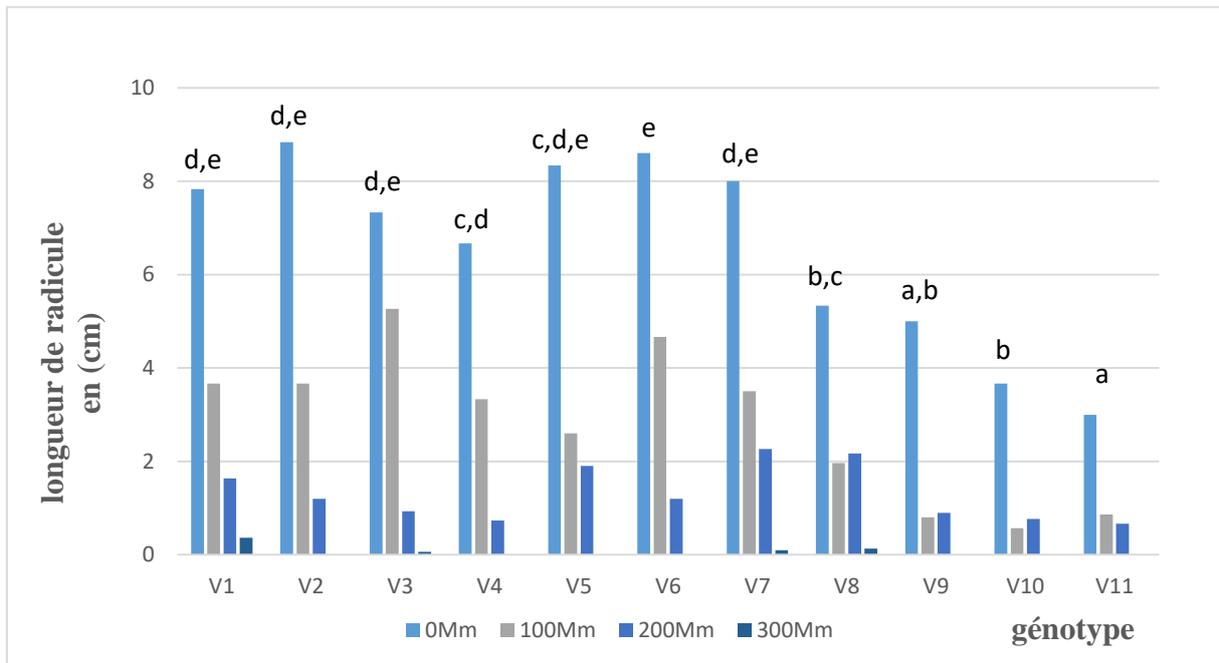


Figure 13: Effet du stress salin induit par le NaCl sur la longueur des racicules d'onze variétés de colza

Pour tous les niveaux de stress salin combinés, les variétés « V1 », « V7 », « V8 », « V2 », « V3 » et « V6 » présentaient la longueur de racicule la plus élevée.

Les variétés « V2 », « V4 », « V5 », « V6 », « V9 », « V10 » et « V11 » ont la longueur de racicule moyenne la plus faible, avec une valeur particulière de 0.2 cm observée sous conditions de stress sévère (300mM).

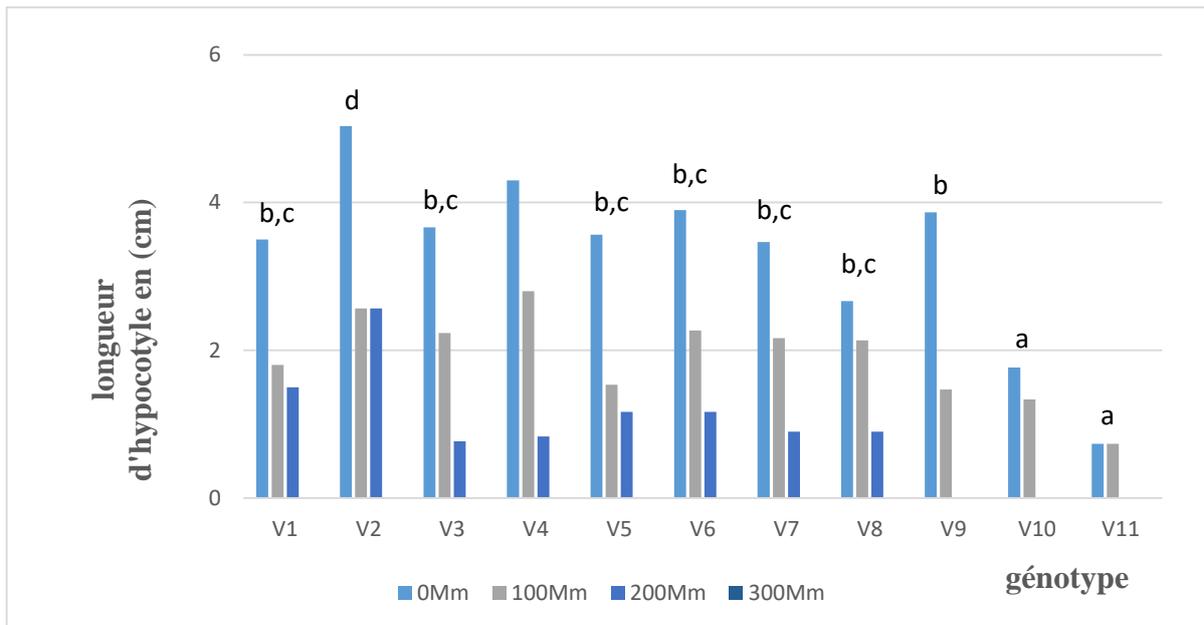


Figure 14: Effet du stress salin induit par le NaCl sur la longueur des pousses d'onze variétés de colza

D'un autre côté, la longueur des pousses a diminuée avec l'augmentation du niveau de salinité. La longueur moyenne des pousses la plus élevée (5 cm) a été observée chez « V2 » en absence du stress (contrôle). Cependant, en situation de stress modéré (100mM), « V11 » a eu la pousse la plus courte (0.18cm), alors que « V2 », « V3 », « V4 », et « V6 » ont les pousses les plus longues avec des valeurs moyennes respectives de (2.7, 2.3 et 2.1 cm). Sous stress intermédiaire la LH la plus élevée a été enregistrée chez « V2 » soit une valeur moyenne de (2.5cm). Par contre chez « V9 », « V10 » et « V11 » aucune croissance des pousses n'a été enregistrée. En situation de stress sévère (300mM) aucune croissance des pousses n'a été observée chez aucune des variétés testées.

En augmentant le niveau du stress salin la LR et la LH étaient significativement inférieurs au RL et LH du traitement contrôle. Des résultats similaires ont été rapportés par Pujari et al. (2002) et Bybordi. (2010).

Notre étude a révélé que, pour tous les niveaux de stress salin, les variétés V1, V7, et V8 sont les plus tolérantes. La variation de la réponse des variétés de colza au stress déterminée à travers l'analyse de certains paramètres de germination et de croissance la croissance précoce des jeunes plantules tels que la longueur des pousses, la longueur des racines le pourcentage de germination, le taux de germination final et le temps moyen de germination indiquent que la germination et la croissance des plantules sont deux stades fiables et opportuns pour l'étude de réaction des génotypes de colza au stress salin.

### **III. Conclusion et perspective**

Nous avons évalué la tolérance au stress salin d'onze variétés de colza au stade de germination. Les résultats obtenus ont montré que les variétés de colza présentent des variations significatives pour les paramètres étudiés. La variété Baraka a montré le meilleur comportement germinatif à toutes les niveaux de stress (0, 100, 200 et 300mM), suivie de la lignée MJF et la variété Nap 9. Par contre les deux variétés hybrides Traper, Invigor et la variété lignée Moufida seraient les plus sensibles au tel stress.

A l'issue de cette étude, nous suggérons que les recherches se poursuivent pour vérifier et approfondir les résultats obtenus, en recommandant les actions suivantes :

- Le comportement des plantes en conditions in vivo (en pots ou en plein champ) devrait être étudié afin de valider les résultats obtenus sous conditions contrôlées.
- A la lumière des résultats trouvés, nous proposons dans l'avenir d'analyser d'autres paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques complémentaires.
- Le comportement des plantes au stade adulte pour confirmer la tolérance de ces géotypes.

#### Activités additionnelles

En plus des activités principales de mon travail de PFE, j'ai participé à quelques activités inscrites dans d'autres sujets de recherche, dont essentiellement ce qui suit :

- Apprentissage et participation au dosage des paramètres biochimique (dosage de proline, glycine, polyphénols, anthocyanes et sucres.) chez l'Amandes.
- Détermination de la teneur en chlorophylle chez l'Amandes.
- Manipulation du programme statistique SPSS pour l'analyse des données.
- Estimation de l'effet de la fertilisation azoté en condition de semis direct sur le rendement du blé tendre.

## Références bibliographiques

Ait Belaid, M. (1994). Les systèmes d'information pour l'environnement : Développement et formation. *Géo observateur* 5 (1994) 61-9.

Amrani, M. (2013). La culture de cloza (*Brassica Napus*). Model de vulgarisation tiré en 3000 exemplaires .ITGC.

Anjum, SA et al. (2015) Jasmonate de méthyle appliqué de manière exogène améliore la tolérance à la sécheresse du blé imposée aux stades précoces et tardifs de développement. *Acta Physiol Plant* 38:25.[https:// doi.org/10.1007/s11738-015-2047-9](https://doi.org/10.1007/s11738-015-2047-9).

Anonyme. (2021).agri-MAROC.Analyse : Le Maroc s'investit dans les filières colza et tournesol. <https://www.agrimaroc.ma/maroc-filieres-colza-et-tournesol/#:~:text=Les%20superficies%20de%20tournesol%20et,Siari>. Consulté le 02 /06/2022.

Babar Shahzad, Abdul Rehman Mohsin, Tanveer Lei Wang<sup>3</sup>, Sang Koo Park<sup>4</sup>, Amjed Ali<sup>5</sup>. (2021). Salt Stress in Brassica: Effects, Tolerance Mechanisms, and Management. Received: 6 August 2020 / Accepted: 9 February 2021 © The Author(s), under exclusive licence to Springer Science+Business Media, LLC part of Springer Nature 2021

Ben Naceur M., Rahmoune C., Sdiri H., Meddahi M. & Selmi M., 2001, Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sècheresse*, 12, 4, 167-174.

Boulghalagh J, Berrichi A, El Halouani H et 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.

Boyeldieu. (1997).LES CÉRÉALES. INA P-G Département AGER - 16/06/03. Doc-player. <https://docplayer.fr/21986939-Les-cereales-ina-p-g-departement-ager-16-06-03.html>. Consulté le 22/05/2022.

Bybordi,A.(2010).the influence of salt stress on seed germination, growth and yield of canola cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(1) ,128-133.

Carpýcý E, Celýk N, Bayram G. (2009) Effets du stress salin sur la germination de certains maïs (*Zea mays*L.). *Afr J Biotechnol* 8.

Chakraborty K, Bose J, Shabala L, Shabala S. (2016) Différence de La capacité de rétention de K<sup>+</sup> des racines et la sensibilité réduite des canaux perméables au K<sup>+</sup> aux espèces réactives de l'oxygène confèrent une tolérance différentielle au sel chez trois espèces de Brassica. *J Exp Bot* 67:4611–4625

Chakraborty K, Sairam RK, Bhaduri D (2015) Effects of different levels of salinité du sol sur les attributs de rendement, l'accumulation d'azote et les micronutriments dans Brassica spp. *J Plante Nutr.* <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1109105>.

Chen TH, Murata N. (2011) .La glycinebétaine protège les plantes contre le stress abiotique : mécanismes et applications biotechnologiques. *Plante, Cellule Environ* 34:1–20.

Debez A, Chaibi W et Bouzid S. (2001). Effet du NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d'*Atriplex halimus* L. *Agriculture*. 2 (10) : 8-135.

El-Badri, A. M., Batool, M., A. A. Mohamed, I., Wang, Z., Khatab, A., Sherif, A., Wang, B. (2021). Antioxidative and Metabolic Contribution to Salinity Stress Responses in Two Rapeseed Cultivars during the Early Seedling Stage. *Antioxidants*, 10(8), 1227. Doi:10.3390/antiox10081227.

Flowers TJ. (2004). Amélioration de la tolérance des cultures au sel. *J Exp Bot* 55:307– 319

Fleurs TJ, Colmer TD (2008) Tolérance à la salinité chez les halophytes.

GILL K S. (1979). Effects of soil salinity on grain filing and grain development in burly. *Biologia plantarum*, 24 (4): 266-269.

Hayat S, Maheshwari P, Wani AS, Irfan M, Alyemeni MN, Ahmad A. (2012). Effet comparatif de 28 homobrassinolide et de l'acide salicylique dans l'amélioration du stress NaCl dans *Brassica juncea* L. *Plant Physiol Biochem* 53: 61–68.

Iqbal M, Ashraf M. (2013) .Induction de sel médiée par l'acide gibbérellique tolérance chez les plants de blé : croissance, séparation ionique, photosynthèse, rendement et homéostasie hormonale. *Environ Exp Bot* 86:76– 85. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.06.002>.

Iqbal N, Umar S, Khan NA. (2015) .La disponibilité de l'azote régule production de proline et d'éthylène et atténue le stress de salinité chez la moutarde (*Brassica juncea*). *J Plant Physiol* 178:84–91

Jaganathan D, Ramasamy K, Sellamuthu G, Jayabalan S, Venkataraman G (2018) CRISPR pour l'amélioration des cultures : une revue de mise à jour. *Usine avant Sci.* <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00985>.

Kinet JM, Benrebiha F, Bouzid S, Lailhacar S et Dutuit P. (1998). Allier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions arides et semi arides. Cahiers agricultures 7 (1998) 505-9.

Lu, H et al. (2015). Sondes fluorescentes spécifiques à la sous-famille pour la cystéine les protéases présentent des activités de protéase dynamiques pendant la germination des graines. Plant Physiol 168: 1462–1475. [https://doi.org/ 10.1104/ pp.114.254466](https://doi.org/10.1104/pp.114.254466).

Mailard, J. (2001). Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. Handicap International, 34p.

Mittal, S, Kumari, N, Sharma V. (2012) Réponse différentielle du sel Stress Brassica juncea: performance photosynthétique, pigment, proline, D1 et enzymes antioxydantes. Plant Physiol Biochem 54: 17–26.

Munns, R, Tester M. (2008). Mécanismes de tolérance à la salinité. Annu Rev Plant Biol 59: 651–681.

Nabloussi A. (2015). Amélioration génétique du colza, Enjeux et réalisations pour un développement durable de la filière. N° du dépôt légal : 2015MO2338 ISBN : 978-9954-593-27-1 INRA-Editions : 2015

Nazarbeygi, E, Yazdi HL, Naseri R, Soleimani R. (2011) .Les effets de différents niveaux de salinité sur la proline et les chlorophylles A, B du canola américain-eurasien. J Agric Environ Sci 10:70–74 Nongpiur RC, Singla-Pareek SL, Pareek A (2016) Génomique approchent pour améliorer la tolérance au stress salin chez les plantes cultivées. Curr Genomics 17:343–357. <https://doi.org/10.2174/1389202917666160331202517>.

Ndour P et 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.

Ouhamdouch S. Bahir M. CaRREIRA Pm. Chamti H. Goumih A. (2016). Impact Du Changement Climatique Sur La Ressource En Eau Au Maroc ; Cas Du Bassin D'essaouira. Larhyss Journal. Volume 13, Numéro 3, Pages 221-237.

Pace R, Benincasa P, Ghanem ME, Quinet M, Lutts S. (2012) Germination de semences non traitées et apprêtées dans le colza (Napus de Brassica var Oleifera Del.) sous salinité et faible potentiel matriciel. Expl Agric 48:238–251.

Pujari, D.S.; Chanda, S.V. (2002). Effect of salinity stress on growth, peroxidase and iaa oxidase activities in vigna seedlings. *Acta Physiol.Plant.* 2002, 24, 435–439.

Rihet Anne. (2019). Rabelle-sante. Le colza. <https://www.rebelle-sante.com/rebelle-sante-ndeg-214/botanique/le-colza>. Consulté le (02 /06/2021).

Rejili M, Vadel M.A et Neffatp M. (2006). Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, 1(17): 65-78.

Ruellan et coll. (2008). Sattell, R., R. Dick, R. Ingham, R. Rakow, D. Kaufman et D. McGrat. (1998). Rapeseed (*Brassica campestris/Brassica napus*). *Oregon Cover Crops*, Oregon State University.p: 1.

Shahzad B, Fahad S, Tanveer M, Saud S, Khan IA. (2019). réponses et tolérance au stress salin Approches pour améliorer la tolérance au stress abiotique chez les plantes. Taylor & Francis, New York, pp 61–77.

Tanveer M, Anjum SA, Bajwa AA, Zahid H. (2013). Améliorer le maïs croissance et développement par rapport à l'élémentaire appliqué au sol. *Asiatique J Agric Biol* 1: 200–207.

Wani SH, Singh NB, Haribhushan A, Mir JI. (2013) .Compatible ingénierie des solutés chez les plantes pour la tolérance au stress abiotique - rôle de glycine bêtaïne. *Curr Genomics* 14:157–165.<https://doi.org/10.2174/1389202911314030001>.

Zadeh HM, Naeni MB. (2007). Effects of salinity stress on the morphologie et rendement de deux cultivars de canola (*Napus de BrassicaL.*). *J Agron* 6: 409-414.

Zerrari, N. et D. Moustouai. (2001). La fertilisation des cultures oléagineuses au Maroc : caractérisation et perspectives. *Revue H.T.E.* 118 : 64.

ZID, E. (1982). Relations hydriques dans la feuille de *Citrus aurantium* : effets de l'âge et de la salinité. *Rev. FAC. Sc. Tunis*, 2 : 195-205.

Zuo Q et al. (2019) .Assimilation et partage du carbone et de l'azote dans le colza (*Napus de BrassicaL.*) Dans *Saline Environment Communications in Soil Science and Plant Analysis* 50: 1700–1709. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1631336>.

