



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences exacts et des sciences de la nature et de la vie  
Department des sciences agronomique

## MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Science de la nature et de la vie

Filière : Science agronomique

Spécialité : Hydro-pédologie

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :

**Derradji Hayat**

Le : samedi 26 septembre 2020

### **L'effet de salinité sur la germination de Quelques variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)**

---

#### **Jury :**

Titre	<b>Benaissa Kelthoum</b>	Grade	<b>MCB</b>	Statut
Titre	<b>Kessai abla</b>	Grade	<b>MAA</b>	Statut
Titre	3e membre du jury	Grade	Université d'appartenance	Statut

Année universitaire : 2019/2020.

# **DÉDICACE**

**A mon mère, pour tous lui sacrifices, lui amour lui tendresse, lui soutien lui prières tout au long de mes études.**

**À qui je porte fièrement son nom, mon père "رحمه الله".**

**A mes chères sœurs, NASIMA, DJANET, SOUAD et FARHA et surtout SAMIRA, leurs fils et leurs maris, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.**

**A mes chers frères, MOHAMED et CHAWKI, et leurs enfants et leurs femmes pour leur appui et leur encouragement.**

**A mon futur mari HECHEMI pour son soutien et sa présence dans ma vie.**

**Pour tous ceux qui m'a appris une lettre dans ce monde.**

**À ma meilleure amie, avec qui j'ai passé les meilleurs moments à l'université, HADJER, NAIMA, SALSABIL, YASMINE, IMENE RADJAA et ANFEL.**

**Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,**

**Merci d'être toujours là pour moi.**

# **REMERCIEMENTS**

**Tous nos remerciements vont d'abord à Dieu, le tout puissant, pour nous avoir donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.**

**En guise de reconnaissance, je tiens à témoigner mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de la période de préparation de ma mémoire de fin d'études et à l'élaboration de ce modeste travail.**

**Ma sincère gratitude à Mme Hiouani Ftima pour la qualité de son enseignement et de ses conseils.**

**Je remercie également mes professeurs pour la qualité de l'enseignement qu'ils m'ont prodigué au cours de ces cinq années passées à l'université.**

**Je tiens à remercier Mme Boukhelouf Wahiba, membre de l'I.T.D.A.S (L'Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne) de BISKRA, Afin de me fournir le matériel végétal.**

**Enfin, je n'oserais oublier de remercier tout le corps professoral d'Université Mohamed Khider, pour le travail énorme qu'il effectue pour nous créer les conditions les plus favorables pour le déroulement de nos études.**

## Table des matières

Dédicace.....	I
Remerciements.....	II
Table des matières.....	III
Liste des tableaux .....	VI
Liste des figures.....	VII
Liste des abréviations.....	VIII
Introduction générale.....	1

## Etude bibliographique

### Chapitre 01 : Généralités sur la salinité et le stress salin

1.1. Définition de Stress salin .....	3
1.2. Définition de la salinité .....	3
1.3. Origines de la salinité .....	4
1.3.1. La roche mère .....	4
1.3.2. La nappe phréatique.....	4
1.3.3. La minéralisation de la matière organique.....	4
1.3.4. Les engrais minéraux.....	4
1.3.5. Les produits de traitement.....	5
1.4. Importance de la salinité.....	5
1.5. Types de salinités.....	5
1.5.1. Salinisation primaire (ou Naturelle).....	5
1.5.2. La salinité secondaire (ou d'origine humaine).....	6
1.6. Effet de salinités sur les plantes .....	7
1.7. Effet de salinités sur la germination.....	7
1.8. Mécanismes d'adaptation des plantes au sel.....	8

### Chapitre 02 : Généralités sur le quinoa

2.1. L'origine et histoire du quinoa.....	9
2.2. L'importance de la culture du quinoa.....	10
2.3. Classification scientifique.....	10

2.4. Description botanique.....	11
2.4.1. Les racines.....	12
2.4.2. La tige.....	12
2.4.3. Les feuille.....	13
2.4.4. La fleur.....	13
2.4.5. Le fruit.....	14
2.5. Phénologie de quinoa.....	14
2.5.1. Stade Levée.....	14
2.5.2. Deux feuilles vraies.....	14
2.5.3. Quatre feuilles vraies.....	15
2.5.4. Six feuilles vraies.....	15
2.5.5. Ramification.....	15
2.5.6. Début de formation de la panicule.....	15
2.5.7. Panicule.....	15
2.5.8. Début de floraison.....	16
2.5.9. Floraison.....	16
2.5.10. Grain laiteux.....	16
2.5.11. Grain pâteux.....	16
2.5.12. Maturité physiologique.....	17
2.6. Résistance du quinoa à la sécheresse et à la salinité.....	17
2.6.1. Résistance du quinoa à la sécheresse.....	17
2.6.2. Résistance à la salinité.....	17
2.7. Valeur nutritionnelle des graines.....	18
2.8. Variétés du quinoa.....	19

## **Partie Expérimental**

### **Chapitre 3 : Matériel et méthodes**

3.1. Objectif de travail.....	20
3.2. Préparation des solutions salines.....	20
3.3. Matériel végétale.....	21

3.4. Protocole expérimental.....	23
3.5. Les paramètres étudiés.....	25
3.5.1. Taux de germination final (TGF).....	25
3.5.2. Cinétique de germination.....	25
3.5.3. Moyenne journalière de germination ou MDG.....	25
3.5.4. Longueurs des racines et des épicotyles.....	25

#### **Chapitre 4: Résultats et discussion**

4.1. Présentation des résultats.....	26
4.1.1. Taux de germination.....	26
4.1.2. Cinétique de germination.....	27
4.1.3. Moyenne journalière de germination ou MDG.....	29
4.1.4. Longueurs des racines et des épicotyles.....	30
4.2 Discussion.....	33
Conclusion.....	35
Référence bibliographique.....	36

## Liste des tableaux

<b>Tableau.1.1.</b> Richesse moyenne, exprimée en kilogramme par tonne, en matière sèche, azote N. phosphore $P_2O_5$ et potasse $k_2O$ de quelques fumiers frais.....	4
<b>Tableau 2.1.</b> Classification scientifique du quinoa.....	11
<b>Tableau 2.2.</b> Teneurs en macronutriments du quinoa par rapport d'autres aliments (pour 100 grammes de poids secs).....	19
<b>Tableau 3.1.</b> Les concentrations de solutions salines.....	20
<b>Tableau 3.2.</b> Illustration, nom et caractéristiques des variétés de quinoa étudiant	22

## Liste des figures

<b>Figure 2.1.</b> Carte de localisation de la production de quinoa dans les pays andins.....	10
<b>Figure 2.2.</b> Un plant de quinoa en graines.....	11
<b>Figure 2.3.</b> Système racinaire du quinoa.....	12
<b>Figure 2.4.</b> Les formes d'inflorescences du quinoa.....	14
<b>Figure 2.5.</b> Panicules de quinoa.....	16
<b>Figure 2.6.</b> Culture de quinoa au flanc du volcan Tunupa surplombant le salar d'Uyuni	18
<b>Figure 3.1.</b> préparation des solutions salines NaCl.....	21
<b>Figure 3.2.</b> des photos montre les etapes de protocole exprementale.....	24
<b>Figure 3.3.</b> mesurer la Longueurs des racines et des épicotyles à l'aide pied à coulisse	25
<b>Figure 4.1.</b> Variation du taux de germination, des différentes variétés du quinoa, en fonction de la concentration de NaCl.....	26
<b>Figure 4.2.</b> Cinétique de germination pour les (05) variétés étudiées à des concentrations.	29
<b>Figure 4.3.</b> Effets des différentes concentrations de NaCl sur le moyen journalier de germination des variétés de quinoa étudiées.....	30
<b>Figure 4.4.</b> Variation de la longueur des épicotyles du (05) variétés de quinoa en fonction de la concentration en NaCl.....	31
<b>Figure 4.5.</b> Variation de la longueur des racines du (05) variétés de quinoa en fonction de la concentration en NaCl.....	32

## Liste des abréviations

**APG III** : classification phylogénétique, est la troisième version de classification botanique des angiospermes.

**CE** : conductivité électrique.

**CELLS** : Système de survie écologique contrôlé.

**Cm** : Centimètre.

**FAO** : Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture).

**g / l** : gramme / litre

**ha** : hectare

**ITDAS** : Institut technique du développement de l'agronomie saharienne

**J.-C** : Jésus-Christ.

**Kcal** : kilocalorie.

**Kg** : kilogramme.

**K<sub>2</sub>O** : Oxyde de potassium

**MDG** : Moyenne journalière de germination (Mean Daily Germination).

**mg** : milligramme.

**min** : minute.

**ml** : millilitre.

**mm** : millimètre.

**mM** : millimole.

**mS** : milisimens

**NaCl** : chlorure de sodium.

**NaNO<sub>3</sub>** : nitrate de sodium

**NASA** : l'Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace.

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : Oxyde de phosphore.

**TGF** : Taux de germination final.

# **Introduction**

## **Introduction générale**

La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe. La salinité des sols et des eaux, constitue un des principaux problèmes pour le développement des plantes dans les zones arides et semi aride. La tolérance des plantes à la salinité varie largement en fonction de l'espèce, de la variété, du stade végétatif et des facteurs liés au milieu tel que: la température, l'humidité, l'intensité de la lumière et la fertilité (*Daoud et Halitim., 1994*).

Diverses variétés de quinoa sont tolérante la salinité, la sécheresse ou le gel, et ces caractéristiques ont encore accru l'intérêt pour sa culture au niveau mondial (*Aabha Dixit, 2015*). Le quinoa a été reconnu par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) comme l'une des cultures les plus remarquables au monde en raison de sa haute qualité nutritionnelle (*Bazile et al, 2012*).

Cette espèce dote d'une remarquable capacité d'adaptation à différents milieux agro écologiques et à différentes altitudes, doublée d'une résistance naturelle aux sols arides, et une culture qui peut jouer un rôle majeur dans la lutte contre la faim (*FAO, 2016*), il est considéré comme ayant une valeur nutritionnelle élevée, principalement en raison élevé en quantité et en qualité des protéines par rapport à d'autres sources de protéines (*Avila Ruiz, 2016*), et aux acides gras essentiels ainsi qu'à une large gamme de minéraux et de vitamines (*Stikić et al, 2015*).

La présence des sels solubles en forte concentration provoque l'élévation de la pression osmotique de la solution du sol et affecte les mécanismes physiologiques de la plante. Elle constitue un facteur limitant majeur de la production (*Nacer et Tiar, 2012*).

Cette étude a été menée sur l'effet du stress salin sur la germination des cinq variétés de quinoa sont : Q101, Q102, Q105, Quinoa noir et Giza02. Afin de connaître les niveaux de tolérance des variétés de quinoa à différentes concentrations salines et de déterminer les différences de réponse des variétés au stress salin au stade de germination, Cette phase est considérée comme une étape critique dans le cycle de développement du plant.

Cette étude a été divisée en deux parties:

La partie théorique c'est une synthèse bibliographique comprend deux chapitres ; le premier chapitre est consacré à l'étude de la salinité et du stress salin biologie de la plante de quinoa, et le deuxième chapitre comprend une étude sur la plante de quinoa.

Une partie pratique centrée sur une étude appliquée en deux chapitres. Le premier chapitre comprenait tous les matériels et méthodes utilisés. Quant au deuxième chapitre, les résultats obtenus ont été présentés, analysés et discutés.

# **Etude Bibliographique**

# **Chapitre 01**

## **Généralités sur la salinité et le stress salin**

### 1.1. Définition de Stress salin

Le stress salin est une brusque augmentation de la concentration en sels qui conduit d'une part, à un afflux plus élevé d'ions dans la cellule suite à la chute de la concentration du milieu externe, d'autre part, à une perte d'eau par voie osmotique (*Nultsh, 1998*).

Le stress salin dans le sol ou l'eau est l'un des principaux stress abiotiques en particulier dans les zones arides et semi-arides régions et peut gravement limiter la croissance des plantes et rendement (*GAO.S et al., 2008*).

### 1.2. Définition de la salinité

La salinité est la quantité globale des sels solubles contenus dans l'eau d'irrigation ou dans la solution du sol (*Slama, 2004*).

La salinisation est défini par *Servant(1975)*, comme étant l'ensemble des mécanismes suivant lesquels le sol s'enrichit en sels solubles et acquiert, à un degré plus ou moins fort, le caractère salé. *Cherbuy (1991)* a ajouté qu'il s'agit d'un processus résultant de la migration des sels à travers le profil du sol et de leur accumulation, par précipitation en profondeur.

*Meroud (2001)*, vient d'indiquer que ce phénomène d'accumulation des sels solubles (en particulier le sodium) à la surface du sol et dans la zone racinaire, occasionne des effets nocifs sur les végétaux qui vont induire une diminution des rendements et une stérilisation du sol.

*François(2008)*, a actualisé la définition de la salinisation comme étant un phénomène par lequel un sol devient sur salé. La salinisation résulte le plus souvent de l'irrigation de sols mal drainés sous climat aride. La stagnation de l'eau dans les couches superficielles du sol par défaut de drainage se traduit par une accumulation de sels dans les horizons les plus superficiels, car les mouvements ascendants, liés à la forte évaporation due au climat chaud et aride, excèdent de beaucoup l'infiltration et donc le lessivage.

La salinisation est un terme générique caractérisant une augmentation progressive de la concentration des sels dans les sols sous l'influence d'apport d'eau d'irrigation salée, de l'aridité du climat ou de conditions hydrologiques particulières (lessivage insuffisant, proximité de la nappe...).

### 1.3. Origines de la salinité

La salinité a plusieurs origines, nous citons les suivantes

#### 1.3.1. La roche mère

Les matériaux qui forment les assises géologiques du sol de la Tunisie dont les marnes du Crétacé et de l'Eocène, les argiles et sables plus ou moins gypseux du Mio-pliocène, et les formations gypseuses et salées du Trias ... renferment des quantités plus ou moins importantes de sels solubles. L'eau en passant au contact de ces roches s'enrichit en sels, les transporte et les répand avec le temps (*Slama, 2004*).

#### 1.3.2. La nappe phréatique

La nappe phréatique salée et peu profonde provoque une salinisation de l'horizon de surface du sol par la remontée capillaire.

#### 1.3.3. La minéralisation de la matière organique

Comme tout amendement organique, le fumier, lors de son application, peut augmenter la salinité du sol. La qualité du fumier et son pouvoir salinisant varient avec l'espèce animale. (**Tableau 1.1**).

**Tableau.1.1.** Richesse moyenne, exprimée en kilogramme par tonne, en matière sèche, azote N. Oxyde de phosphore  $P_2O_5$  et oxyde de potassium  $K_2O$  de quelques fumiers frais.

Animaux	Matière sèche	N	$P_2O_5$	$K_2O$
Bovins	182	3,4	1,3	3,5
Porcs	272	4,5	2,0	6,0
Chevaux	326	6,7	2,3	7,2
Moutons	384	8,2	2,1	8,4
Poules	450	20,0	13,0	25,0

Nous remarquons que le fumier des poules est le plus riche en éléments minéraux. Il est le plus salinisant, son application doit se faire avec précaution.

#### 1.3.4. Les engrais minéraux

Les engrais minéraux influencent la salinité du sol par l'action spécifique de chacun de leurs ions, ainsi que par les quantités solubilisées c'est-à-dire ionisées.

Chaque engrais a un indice global de salinité, qui exprime son action sur la pression osmotique d'un extrait de sol, par rapport à l'action sur le même extrait, du nitrate de sodium pris comme référence. L'indice global de salinité du  $\text{NaNO}_3$  est fixé à 100. L'indice de salinité d'un engrais s'exprime aussi par unité fertilisante. Nous pouvons écrire les formules suivantes:

$$\text{indice globale de salinité} = \frac{\text{Accroissement de la pression osmotique dans le sol par un poids donné d'un engrais}}{\text{Accroissement de la pression osmotique par le meme poids de nitrate de sodium}} \times 100$$

$$\text{indice de salinité par unité fertilisante} = \frac{\text{indice deglobale salinité}}{\text{nombre d'unités fertilisante dans 100kg d'engrais}}$$

### 1.3.5. Les produits de traitement

Les produits de traitement de la terre et des plantes : herbicides, fongicides et insecticides agissent aussi sur la salinité du sol. L'utilisation intensive de la bouillie bordelaise, pour traiter la vigne, a contaminé le sol de la région de Bordeaux en France avec du sulfate de cuivre.

### 1.4. Importance de la salinité

La salinité affecte plus de 950 millions d'hectares dans le monde. et touche plus du tiers des sols irrigués de la planète soit plus de 40 millions d'hectares (*Slama, 2004*).

La salinité des sols est un stress abiotique majeur qui affecte les processus physiologiques et métaboliques, conduisant à la réduction de la croissance et du rendement .

La salinité provoque un stress abiotique chez les plante (*Munns et Tester, 2008*), et des effets d'ordre osmotique, toxique ou nutritionnel.

### 1.5. Types de salinités

#### 1.5.1. Salinisation primaire (ou Naturelle)

La salinité primaire s'explique par l'accumulation de sels dans le sol ou d'eaux souterraines sur une longue période de temps en deux processus naturels :

- L'altération des matériaux de base contenant des sels solubles : Les processus d'altération des roches se décomposent et la libération des sels solubles de divers types, principalement des chlorures de sodium, de calcium et de magnésium, et dans une moindre mesure, les sulfates et les carbonates. Le chlorure de sodium est le sel le plus soluble (*Noomene, 2011*).

- Le dépôt de sels océaniques effectués dans le vent et la pluie : «les Sels cycliques" sont des sels de l'océan amenés par le vent et déposés par la pluie, et sont principalement le chlorure de sodium (*Noomene, 2011*).

L'eau de pluie contient de 6 à 50 mg / kg de sel, la concentration de sels diminue avec la distance de la côte. Si la concentration est de 10 mg / kg, il s'ajoute 10 kg / ha de sel pour chaque 100 mm de précipitations par an. L'accumulation de chlorure de sodium dans le sol serait considérable au cours des millénaires. La quantité de sel stocké dans le sol varie en fonction du type de sol, étant faible pour les sols sableux et élevée pour les sols contiennent un pourcentage élevé de minéraux argileux. Il varie aussi inversement avec une pluviométrie (*Noomene, 2011*).

### **1.5.2. La salinité secondaire (ou d'origine humaine)**

La salinisation secondaire est le résultat des activités humaines qui modifient l'équilibre hydrologique du sol entre l'eau appliquée (irrigation ou de pluie) et de l'eau utilisée par les cultures (transpiration) (*Noomene, 2011*).

Les causes les plus fréquentes sont :

- Le défrichement des terres et le remplacement de la végétation pérenne avec des cultures annuelles,
- L'utilisation des eaux d'irrigation riches en sel,
- Un drainage insuffisant et un système d'irrigation déséquilibré...

Avant l'intervention des activités humaines, dans des climats arides ou semi-arides, l'eau utilisée par la végétation naturelle a été en équilibre avec la pluie. A la compensation de mode d'irrigation, nous avons distingué une modification des interrelations entre le système pédosphérique, le système hydro-sphérique et le système atmosphérique qui ont été en équilibre,

entre autre les précipitations d'une part, et l'eau d'irrigation sur l'autre et la physico-chimie des sols d'autre part (*Noomene, 2011*).

L'excès d'eau soulève la nappe souterraine et mobilise des sels précédemment stockés dans le sous-sol et les amène jusqu'à la zone des racines. Les plantes utilisent l'eau et laissent le sel jusqu'à ce que l'eau du sol devienne trop salée pour l'absorption d'eau par les racines des autres. L'eau s'évapore en laissant des dépôts de sels à la surface et formant ainsi «brûlure du sel » dans des cas. Le sel peut également se mobiliser latéralement vers les cours d'eau pour augmenter leur degré de salinité.

### **1.6. Effet de salinités sur les plantes**

La salinisation est un processus important de dégradation des sols. Elle constitue un facteur limitant à la croissance et au développement des plantes. Les conséquences de ce phénomène qui ne cesse de prendre de l'ampleur, se manifestent par la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions ( $Na^+$  et  $Cl^-$ ) dans les tissus des organes (*Chérifi et al., 2017*).

La réaction des plantes à la salinité est très différente selon que l'on s'intéresse à la phase de la germination ou à celle du développement (*Daroui, 2013*). La salinité affecte tous les processus physiologiques de la plante. L'effet de la salinité se traduit par une régression du nombre moyen de pousses par bourgeon et une réduction significative de la Longueur des feuilles, et aussi Les teneurs en chlorophylle a, chlorophylle b et en Chlorophylle a+b ont été significativement réduites par l'effet de la salinité (*Belfakih et al., 2013*).

### **1.7. Effet de salinités sur la germination**

La germination des graines est un ensemble de processus métaboliques aboutissent à l'émergence de la radicule. Ce stade de développement est considéré comme une étape critique dans l'établissement des semis et ainsi la détermination d'une production agricole réussie (*Benidire et al., 2015*).

La germination devient un facteur déterminant pour la réussite de la croissance des plantes dans les milieux salés (*Daroui, 2012*).

La germination des plantes qu'elles que soient halophytes ou glycophytes est affectée par la salinité. Selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique (*Ismail, 1990*).

La salinité agit sur la germination en ralentissant sa vitesse, ce qui expose plus la semence aux risques, et en diminuant plus ou moins fortement son taux selon la concentration en sels dont NaCl. Elle intervient vraisemblablement par deux effets, l'un osmotique et l'autre toxique (*Slama, 2004*). L'effet osmotique se traduit par la difficulté que trouve l'embryon à absorber une quantité d'eau suffisante pour déclencher les processus métaboliques de la germination (*Bliss et al., 1986*). L'effet toxique résulte de l'envahissement de l'embryon par  $Cl^-Na^+$  (*Rush et al., 1976*).

### 1.8. Mécanismes d'adaptation des plantes au sel

Les plantes ont généralement la capacité d'ajuster leur pression osmotique en fonction de leur tolérance au sel, suivant les conditions de leur culture (*Slama, 2004*).

La plante va essayer faire l'adaptation avec la salinité par la production d'antioxydants et de molécules protectrices afin de limiter les dégâts pouvant être engendrés suite à cette accumulation et combinaison de stress hydrique, salin et oxydatif. Ainsi, au niveau cellulaire, les mécanismes développés par la plante comportent principalement quatre éléments (*Hannana et al., 2011*) :

- Les mécanismes de perception et signalisation du stress salin empruntant différentes voies de transduction de signaux qui contribuent à accélérer et amplifier le message.
- Les mécanismes limitant l'accumulation des ions toxiques dans le cytoplasme (compartmentation vacuolaire et exclusion hors de la cellule).
- Les mécanismes de protection et agissant contre l'excès de ces ions cytoplasmiques, notamment ceux impliqués dans la régulation osmotique par synthèse de composés osmotiques solubles.
- Les mécanismes de réparation des dommages induits par le stress salin, tels que la production d'antioxydants.

# **Chapitre 02**

## **Généralités sur le quinoa**

## 2.1. L'origine et histoire du quinoa

Le quinoa est une plante originaire des Andes, et plus précisément des alentours du lac Titicaca, entre le Pérou et la Bolivie. Le quinoa constituait un aliment de base des populations précolombiennes; il fut néanmoins remplacé par les céréales à l'arrivée des Espagnols (*Mujica et al., 2001*).

D'après les témoignages historiques, il aurait été domestiqué par les peuples des Amériques entre 3 000 et 5 000 ans avant J.-C. Des traces de quinoa ont été retrouvées dans des tombes de Tarapacá, Calama et Arica au Chili, ainsi que dans différentes régions du Pérou (*Mujica et al., 2001*).

Dans les pays andins, la culture a été reprise par les paysans pauvres et reconnue pour ses bénéfices. Le quinoa joue ainsi un rôle clé pour cette population, tant dans la vie de tous les jours que dans les systèmes sociaux et politiques. Il peut avoir différents usages ; de l'aliment de base dans l'alimentation, comme un en-cas, à l'aliment stocké en cas de crise, en passant par ses applications médicinales. En plus de cela, le quinoa a de forts liens avec la tradition puisqu'il est particulièrement consommé aux dates festives (*Marcelo, 2016*).

Le bouleversement de l'histoire qui nous intéresse a eu lieu à la seconde moitié du XXe siècle, lorsque son potentiel a été redécouvert. Le quinoa est alors devenu un produit alimentaire populaire, en particulier en Europe et en Amérique du Nord, mais aussi dans les régions urbaines andines (**Figure 2.1**). Il est apprécié pour ses propriétés diététiques, pour son agriculture biologique et les principes du commerce équitable. Dès les années 80, la production de quinoa, dédiée à la consommation par l'homme, a donc grimpé remarquablement en raison de la demande croissante régionale et internationale (*Marcelo, 2016*).

Le nombre de pays la cultivant a augmenté de 8 en 1980 à 95 en 2015. A chaque étape de cette propagation mondiale, le nombre de centres de recherche qui étudient la culture et effectuant des expériences augmente, résultant dans une coopération internationale qui génère de nombreux projets (*Marcelo, 2016*).



**Figure 2.1.** Carte de localisation de la production de quinoa dans les pays andins

(Del Castillo, 2008).

## 2.2. L'importance de la culture du quinoa

En 1996, la FAO a classé le quinoa parmi les cultures prometteuses pour l'humanité, en raison non seulement de ses importantes propriétés bénéfiques et de ses nombreuses utilisations, mais aussi du potentiel qu'elle offre pour résoudre les graves problèmes de malnutrition humaine. La NASA a également intégré cet aliment dans le système CELLS (en français: Système de survie écologique contrôlé) pour équiper ses missions de longue durée, en raison de son excellente composition nutritionnelle, ce qui montre que cette culture peut représenter une solution possible pour résoudre les problèmes de malnutrition dus à un apport protéique insuffisant (FAO, 2013).

## 2.3. Classification scientifique

Le quinoa est une plante dicotylédone angiosperme de la famille des Chenopodiaceae (**Figure 2.2**). Depuis 2009, une nouvelle classification dite phylogénétique (APG III) range le quinoa dans la famille des Amaranthaceae, mais nous continuerons de nous référer à la classification de Cronquist (**Tableau 2.1**).

**Tableau 2.1.** Classification scientifique du quinoa (*Herbillon, 2015*).

Classification de Cronquist (1981)	
<b>Règne</b>	Plantae
<b>Division</b>	Magnoliophyta
<b>Classe</b>	Magnoliopsidae
<b>Sous-classe</b>	Caryophyllidae
<b>Ordre</b>	Caryophyllales
<b>Famille</b>	Chenopodiaceae
<b>Genre</b>	Chenopodium
Classification APG III (2009)	
<b>Ordre</b>	Caryophyllales
<b>Famille</b>	Amaranthaceae
Nom binomial	
<i>Chenopodium quinoa</i> Willd., 1798	

**Figure 2.2.** Un plant de quinoa en graines.

Les Chenopodiaceae constituent une grande famille qui comprend environ 1500 espèces réparties dans une centaine de genres, poussant dans les régions tempérées et subtropicales du monde entier. Il s'agit principalement de plantes herbacées vivaces ou annuelles, plus rarement d'arbres et d'arbustes, qui sont généralement halophytes ; c'est-à-dire qu'ils ont la particularité de s'adapter aux milieux salés par divers mécanismes. Les Chenopodiaceae regroupent des espèces d'usage industriel, horticoles, fourragères et alimentaires, en plus des spécimens préjudiciables pour les cultures (mauvaises herbes) (*Herbillon, 2015*).

#### 2.4. Description botanique

Le quinoa est une dicotylédone autogame annuelle. Elle comporte une racine pivotante, qui dans le processus initial de germination est le premier organe à se développer après quelques heures. Sa croissance est en rapport étroit avec celle de la partie aérienne, des plantes de 1.70 m pouvant développer une racine de 1.50 m (*Tapia et al. 1979*).

### 2.4.1. Les racines

En raison de l'absence d'une période de dormance des graines, la germination du quinoa est extrêmement rapide, elle s'initie en seulement quelques heures en présence d'une humidité de sol adéquate.

La radicule s'allonge en première, puis continue de croître pour donner lieu à une racine pivotante pouvant atteindre 30 cm de profondeur et à partir de laquelle vont se développer des racines secondaires et tertiaires, desquelles se forment des radicelles pouvant également se ramifier (**Figure 2.3**). Ce système racinaire est très robuste, il peut soutenir des plantes de plus de 2 m de hauteur bien que de rares cas d'affaissement des plants aient pu être observés sous l'effet du vent, d'une humidité excessive ou du poids de leurs panicules (*Gandarillas, 1979 ; Mujica et al, 2001*).

La profondeur de la racine est étroitement liée à la hauteur de la plante. Des plantes de 1,70 m avec une racine de 1,50 m et d'autres de 90 cm de hauteur avec une racine de 80 cm ont été référencées (*Pacheco et Morlon, 1978*). C'est à ce fabuleux système racinaire pivotant, vigoureux, profond, bien ramifié et fibreux que le quinoa doit sa résistance à la sécheresse et sa bonne stabilité.



**Figure 2.3.** Système racinaire du quinoa (*Gandarillas, 1979*)

### 2.4.2. La tige

Cylindrique au niveau du collet et anguleuse plus haut, peut atteindre une taille de 0.5 à 2m selon la variété et les conditions de croissance (*Mujica et Jacobsen, 1999*). En fonction du développement de la ramification, on peut trouver des plantes avec une tige principale développée et quelques tiges latérales très courtes dans les écotypes de

l'Altiplano, ou des plantes avec des tiges de taille égale dans les écotypes des vallées, avec toutes les variantes intermédiaires.

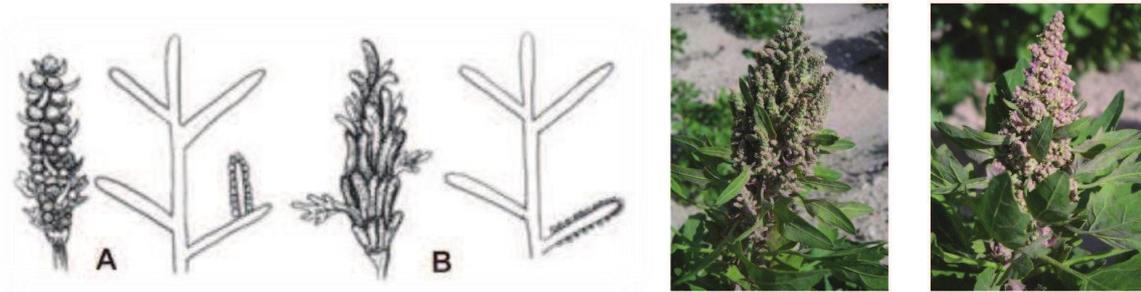
La moelle de la tige a une texture tendre chez les jeunes plantes, qui devient spongieuse et creuse à maturité, avec une écorce ferme et compacte. La couleur de la tige est variable selon le type de quinoa (*Del Castillo, 2008*).

### 2.4.3. Les feuille

Présentent différentes longueurs dans une même plante. Celles de la tige principale Sont plus longues que celles des ramifications. Les feuilles, alternes, ont un limbe polymorphe, en forme de losange, de triangle ou lancéolé, plat ou onduleux, un peu épais, charnu et tendre. Le nombre de dents ou de lobes des feuilles serait une caractéristique variétale (*Tapia et al., 1979*). La couleur prédominante de la plante est verte, mais chez les plantes adultes les couleurs de base sont rouge, pourpre et vert, selon le génotype. L'endroit et l'envers des jeunes feuilles, ainsi que les tiges et les jeunes inflorescences sont couvertes de vésicules d'oxalate de calcium, qui sont des excroissances épidermiques de forme sphérique et de couleur blanche, pourpre ou rouge. Ces vésicules salines pourraient jouer un rôle important dans les relations hydriques de la plante, permettant son adaptation à la sécheresse (*Gandarillas, 1982*).

### 2.4.4. La fleur

Le quinoa présente des fleurs hermaphrodites disposées en inflorescences en grappes, considérées comme de faux épis (panicules) .Dans l'étape reproductrice du quinoa, l'inflorescence est terminale et de longueur variable. Il en existe deux types : glomériforme et amarantiforme (**Figure2.4.**) , Et selon *Gandarillas (1968)*, le type glomériforme serait la forme ancestrale ayant donné le second type par mutation. Les fleurs apétales (incomplètes) et très petites (3 mm au maximum), peuvent être hermaphrodites en position apicale ou pistillaires dans la région inférieure de la panicule, dans des proportions diverses selon la variété (*Tapia et al, 1979*). En général le quinoa est une espèce autogame, avec environ 10% de pollinisation croisée (*Rea, 1969*).



**Figure.2.4.** Les formes d'inflorescences du quinoa A) glomérulaire ; B) amaranthiforme

(*Tapia et Fries, 2007*)

### 2.4.5. Le fruit

est un akène, de forme cylindrique à lenticulaire, dans lequel l'embryon périphérique entoure le péricarpe central (tissus de réserve), et se trouve couvert par le péricarpe et deux assises tégumentaires (*Prego et al, 1998*). Le péricarpe contient de la saponine en plus ou moins grande quantité et, bien que chez certaines variétés (formes cultivées), il soit séparé facilement, dans d'autres (formes sauvages), il reste difficile à éliminer.

La combinaison des couleurs du péricarpe et du tégument de la graine donne la vaste gamme de couleurs que peuvent présenter les panicules. Il existe trois formes de grain : coniques, cylindrique et ellipsoïdes. Les bords du grain sont d'une grande valeur taxonomique, car ils sont communément marqués chez les formes cultivées, et plus arrondis chez les sauvages (*Tapia et al., 1979 ; Lescano 1994 ; Izquierdo et al., 2001*).

## 2.5. Phénologie de quinoa

Le cycle de croissance du quinoa peut être différencié en 12 phases, les durées indiquées de chaque phase sont des nombres des jours moyens (*Mujica et Canahua, 1989*).

### 2.5.1. Stade Levée

Elle correspond à la sortie de la plantule et au déploiement des feuilles cotylédonaires (Germination épigée). Elle se produit entre sept et dix jours après le semis, en conditions de germination optimales.

### 2.5.2. Deux feuilles vraies

Les deux premières feuilles vraies apparaissent 15 à 20 jours après le semis, conjointement à une croissance rapide des racines. Elles sont de forme rhomboïdale au contraire des feuilles cotylédonaires, lancéolées. Elles sont très sensibles aux attaques d'insectes.

### 2.5.3. Quatre feuilles vraies

La deuxième paire de feuilles vraies se déploie 25 à 30 jours après le semis. Les feuilles cotylédonaire sont toujours vertes. La plantule montre dans cette phase une assez bonne résistance au froid et à la sécheresse, mais ses feuilles tendres constituent une alimentation de choix pour les ruminants.

### 2.5.4. Six feuilles vraies

L'apparition de la troisième paire de feuilles vraies se produit 35 à 45 jours après le semis, alors que les feuilles cotylédonaire commencent à se flétrir.

### 2.5.5. Ramification

A partir du stade huit feuilles, soit 45 à 50 jours après le semis, on peut observer pour les variétés qui ramifient la présence de bourgeons axillaires jusqu'au troisième nœud. Les feuilles cotylédonaire jaunies, tombent et laissent une cicatrice sur la tige. L'inflorescence n'est pas encore visible recouverte et protégée par les feuilles.

### 2.5.6. Début de formation de la panicule

L'inflorescence commence à apparaître à l'apex de la plante au bout de 55 à 60 jours, entourée d'une agglomération de feuilles de toute petite taille qui la recouvrent encore en partie. Parallèlement, la première paire de feuilles vraies jaunit et n'est plus photosynthétiquement active. La tige s'allonge et son diamètre augmente.

### 2.5.7. Panicule

L'inflorescence est désormais clairement visible au-dessus des feuilles, ainsi que les glomérules qui la composent (**Figure 2.5**). Des boutons floraux individualisés apparaissent, 65 à 70 jours après le semis.



**Figure 2.5.** Panicules de quinoa (IRD).

#### **2.5.8. Début de floraison**

Les premières fleurs s'ouvrent 75 à 80 jours après le semis. La plante commence à être plus sensible au froid et à la sécheresse.

#### **2.5.9. Floraison**

L'ouverture de 50% des fleurs de l'inflorescence se produit aux environs du 90ème ou 100ème jour. Cette observation doit se faire à la mi-journée, les fleurs se refermant pendant la nuit. C'est durant cette phase que la plante est la plus sensible aux gelées. Les feuilles inférieures, flétries, tombent.

#### **2.5.10. Grain laiteux**

Le grain est qualifié de laiteux 100 à 130 jours après le semis, car un liquide blanchâtre en sort lorsqu'une pression est exercée sur le fruit. Un déficit hydrique pendant cette phase peut entraîner une forte diminution du rendement.

#### **2.5.11. Grain pâteux**

L'intérieur des fruits devient d'une consistance pâteuse, toujours de couleur blanche, 130 à 160 jours après le semis.

### 2.5.12. Maturité physiologique

Le grain, plus résistant à la pression, est à maturité au bout de 160 à 180 jours, avec une teneur en eau inférieure à 15%. Pendant le remplissage des grains depuis la floraison, la plupart des feuilles ont jauni et sont tombées si bien que la défoliation est presque complète à maturité (*Lebonvallet., 2008*).

## 2.6. Résistance du quinoa à la sécheresse et à la salinité

### 2.6. 1. Résistance du quinoa à la sécheresse

Le quinoa est une plante hautement résistante à la sécheresse puisqu'elle tolère des températures élevées allant jusqu'à 35°C et présente de faibles besoins en eau (*Oelke et al., 1992*). Toutefois, la sécheresse a plusieurs conséquences sur la plante et l'effet ne sera pas le même selon l'intensité et la durée de l'épisode sec, mais aussi le stade de développement durant lequel elle se produit, le génotype de la plante ou le fait qu'elle ait déjà souffert de sécheresse à un stade précédent, ou encore les caractéristiques du sol et la tolérance de la plante au déficit hydrique (*Mujica et al, 2001*).

La plante est capable de croître dans les régions où la pluviométrie annuelle est de l'ordre de 200 à 400 mm (*Valencia-Chamorro, 2003*) ; et certains écotypes ont même montré qu'ils pouvaient atteindre la maturité dans des conditions d'irrigation équivalente à seulement 50 mm de précipitation par saison, ce qui est une irrigation extrêmement faible pour toutes les espèces de cultures (*Martínez et al., 2009*). Le quinoa a ainsi développé différents mécanismes de résistance au stress hydrique (*Mujica et al, 2001*). Malgré cela, la sécheresse reste l'un des facteurs de baisse de rendement en graines, même si des sécheresses modérées en début de cycle peuvent avoir un effet positif d'endurcissement des plants (*Bosque et al., 2003*).

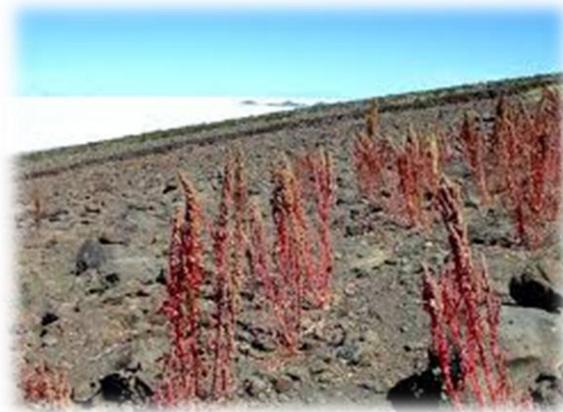
### 2.6.2. Résistance à la salinité

Les variétés de quinoa cultivées dans la zone située entre les salars boliviens (**Figure2.6**) ont acquis une étonnante capacité à se développer dans ce milieu où les sols et les eaux d'irrigation peuvent avoir des concentrations en sel non négligeables. Il semble que les plus tolérantes d'entre elles puissent faire face à des niveaux de salinité aussi élevés que ceux présents dans l'eau de mer (*Jacobsen et al., 2001, 2003 ; Koyro et Eisa, 2008 ; Hariadi et al., 2011*).

On dit de cette plante qu'elle est un halophyte facultatif, c'est-à-dire qu'elle peut vivre en milieu salé comme en milieu d'eau douce. Elle est capable d'accumuler des ions salins dans ses tissus afin d'ajuster le potentiel hydrique des feuilles. Cela lui permet de maintenir la turgescence cellulaire et de limiter la transpiration dans des conditions salines, évitant ainsi les dommages physiologiques d'un épisode de sécheresse (*Jacobsen et al, 2001*).

Les principaux traits relatifs à la tolérance au sel sont les suivants (*Adolf et al, 2013*) :

- Un contrôle efficace de l'accumulation de sodium dans le xylème (tissu vasculaire conduisant de l'eau et des nutriments dissous de la racine vers le sommet de la plante, contribuant également à former l'élément ligneux dans la tige) et de la séquestration de sodium dans les vacuoles des feuilles,
- Une plus haute tolérance aux espèces réactives de l'oxygène (molécules de signalisation clés produites en réponse à un stress et déclenchant une variété de réponses de défense des plantes),
- Une meilleure rétention du potassium,
- Et un système de contrôle efficace du développement et de l'ouverture des stomates.



**Figure.2.6.**Culture de quinoa au flanc du volcan Tunupa surplombant le salar d'Uyuni (IRD).

## 2.7. Valeur nutritionnelle des graines

La particularité du quinoa tient au fait qu'il s'agit d'une graine consommée comme une céréale. En général, cet aliment est cuit et ajouté à des soupes ou bien réduit en une farine qui sert à préparer du pain, des boissons et de la bouillie. Du point de vue nutritionnel, il apporte autant d'énergie que les aliments utilisés de façon similaire, comme les haricots, le maïs, le riz ou le blé (**Tableau2.2**). Le quinoa est en outre une source importante de protéines de qualité, de fibres alimentaires, d'acides gras polyinsaturés et de sels minéraux. Toutefois, bien qu'il fournisse de nombreux nutriments en quantité non négligeable, il convient de l'intégrer à un

repas équilibré comportant de nombreux autres types d'aliments afin de se nourrir convenablement.

**Tableau 2.2.** Teneurs en macronutriments du quinoa par rapport d'autres aliments (pour 100 grammes de poids secs) (*Koziol, 1992*).

	Quinoa	Haricot	Maïs	Riz	Blé
<b>Energie (Kcal/100 g)</b>	399	367	408	372	392
<b>Protéines (g/100 g)</b>	16,5	28,0	10,2	7,6	14,3
<b>Lipides (g/100 g)</b>	6,3	1,1	4,7	2,2	2,3
<b>Glucides totaux (g/100 g)</b>	69,0	61,2	81,1	80,4	78,4

## 2.8. Variétés du quinoa

Les quinoas peuvent être divisés en cinq groupes de variétés répartis par zones d'adaptation écologique :

Le quinoa des zones situées au niveau de la mer : provient du sud du Chili. Les plantes poussent dans les régions situées entre le niveau de la mer et 500 mètres d'altitude et sont les mieux adaptées aux conditions humides. Elles produisent de petites graines plates, jaunes, et riches en saponines.

Le quinoa des vallées arides (Junín) et des vallées humides (Cajamarca) : Il provient des vallées andines situées entre 2000 et 3500 mètres d'altitudes (*Herbillon, 2015*).

Le quinoa de l'Altiplano : Ces variétés sont cultivées dans des conditions climatiques se caractérisant par de faibles précipitations et des températures favorables (cas du lac Titicaca).

Le quinoa des déserts de sel (sud de la Bolivie) : Ce groupe des quinoas résistent à des conditions xérophytiques extrêmes (*Anonyme, 2014*).

# **Partie Expérimental**

# **Chapitre 3 Matériel et méthodes**

### 3.1. Objectif de travail

L'objectif de cette étude est d'étudier l'effet de la salinité sur la germination du quinoa.

### 3.2. Préparation des solutions salines

Différentes concentrations salines (C0 : 0mM, C1 :50mM, C2 :100mM, C3 :150mM, C4 : 200mM, C5 :250mM, C6 :300mM) ont été utilisées dans cette étude, elles sont préparées à base de chlorure de sodium NaCl (**tableau 3.1**).

La préparation des solutions salines a été calculée par la méthode suivante :

La masse molaire de NaCl = (23+35,5) = 58,5g /ml

(1M) de solution = 58,5 dans 1l.

(1mM) de solution = 58,5 /1000= 0,0585 g /l.

Alors (1mM) = 0,0585g /l

Chaque concentration saline a été préparée par la dissolution de NaCl dans l'eau distillée (**Figure 3.1**).

**Tableau 3.1.** Les concentrations de solutions salines

<b>La concentration en mM</b>	<b>C0 : 0Mm</b>	<b>C1 : 50mM</b>	<b>C2 : 100mM</b>	<b>C3 : 150mM</b>	<b>C4 : 200mM</b>	<b>C5 : 250mM</b>	<b>C6 : 300Mm</b>
<b>NaCl en (g /l)</b>	<b>0</b>	<b>2,925</b>	<b>4,38</b>	<b>8.755</b>	<b>11.7</b>	<b>14.625</b>	<b>17.55</b>
<b>CE mS</b>	<b>0</b>	<b>6.1</b>	<b>9.9</b>	<b>14.1</b>	<b>19.2</b>	<b>23.5</b>	<b>30.2</b>



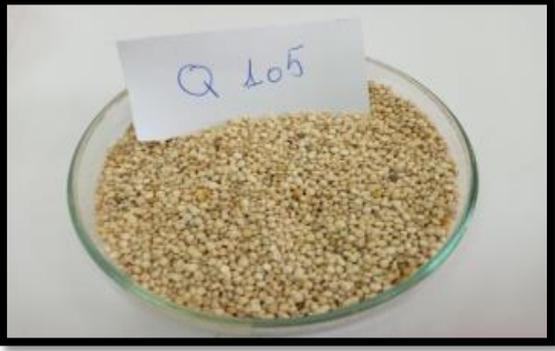
**Figure 3.1.** préparation des solutions salines NaCl (des photos originales)

### 3.3. Matériel végétale

Cette étude porte sur 5 variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa willd*), fournies par l'Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne (ITDAS) Ain Ben Naoui Biskra, ces variétés sont : Q101, Q102, Q105, Quinoa noir et Giza02 (tableau 3.2).

Tableau 3.2. Illustration, nom et caractéristiques des variétés de quinoa étudiant

Illustration avec les noms des variétés	Caractéristique		
 <p data-bbox="406 907 598 940">Photo originale</p>	Couleur :		La charte
en anglais : Light grayish broun		en français : Brun grisâtre clair	10YR 6/3.5
Poids d1000 graines : 3.37g.			
 <p data-bbox="406 1456 598 1489">Photo originale</p>	Couleur :		La charte
en anglais : Dark grayish broun		en français : Brun grisâtre foncé	10R 3/3
Poids d1000 graines : 4.97 g.			
 <p data-bbox="406 1960 598 1993">Photo originale</p>	Couleur :		La charte
en anglais : Dull yellowish orange		en français : Orange terne jaunâtre	7.5YR 7/8
Poids d1000 graines : 3.50g.			

 <p><b>Photo originale</b></p>	<b>Couleur :</b>		<b>La charte</b>
	<b>en anglais :</b> <b>Pale beige</b>	<b>en français :</b> <b>Beige pâle</b>	<b>10YR 8.5/2</b>
	<b>Poids d1000 graines : 3g</b>		
 <p><b>Photo originale</b></p>	<b>Couleur :</b>		<b>La charte</b>
	<b>en anglais :</b> <b>Beige</b>	<b>en français :</b> <b>Beige</b>	<b>10YR 8/3</b>
	<b>Poids d1000 graines : 4.26g.</b>		

### 3.4. Protocole expérimental

Cette étude a été réalisée dans le laboratoire (labo 08) du département des sciences agronomiques de l'université Mohamed Khider Biskra, pour étudier l'effet de la salinité sur la germination du quinoa.

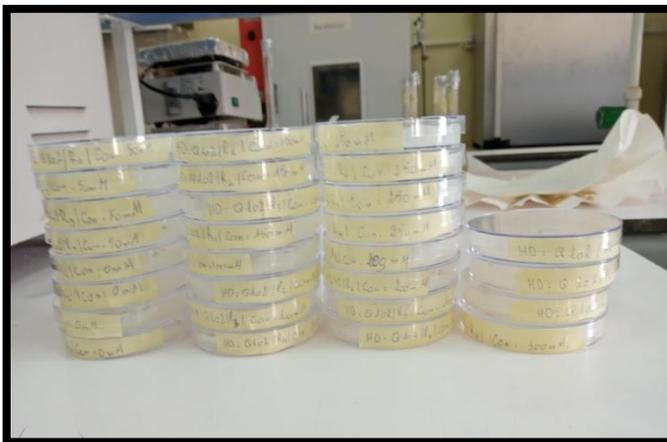
Les graines de quinoa ont été désinfectées par l'eau javel 20% (20 ml eau de javel dans une fiole de 100 ml et complétée à 100ml avec l'eau distillée) immersion pendant 5min, puis ont été rincées et trempées dans l'eau distillée pendant 10min.

Des graines au nombre de 30 (pour chaque boîte) sont mises à germer dans des boîtes de pétri (9cm) tapissées avec papier filtre. Les boîtes sont mises à l'obscurité dans un incubateur réglé à une température de 25°C et une humidité de 70%. Les grains ont été traités par 3ml de solution saline (NaCl)(quatre répétitions de chaque traitement). La période d'essai est de 8

jours pour chaque variétés, 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(**Figure3.2**).



Désinfection par l'eau d'javel (5min) et imbibition dans leu distillée (10min)



Placement les grains dans une boites petries Et arrose-les avec les solution salins .



Placement les boites dans une etuve .

**Figure3.2.**des photos montre les etapes de protocole exprementale (les photos originale).

### 3.5. Les paramètres étudiés

#### 3.5.1. Taux de germination final (TGF)

Il présente la limite physiologique de germination des graines (Côme, 1970). Il est exprimé par le rapport du nombre de graines germées sur le nombre total de graines (Benidire et al., 2015).

#### 3.5.2. Cinétique de germination

Il représente le nombre de graines germées quotidiennement jusqu'au 8<sup>ème</sup> jour de l'expérience (Hajlaoui et al., 2007).

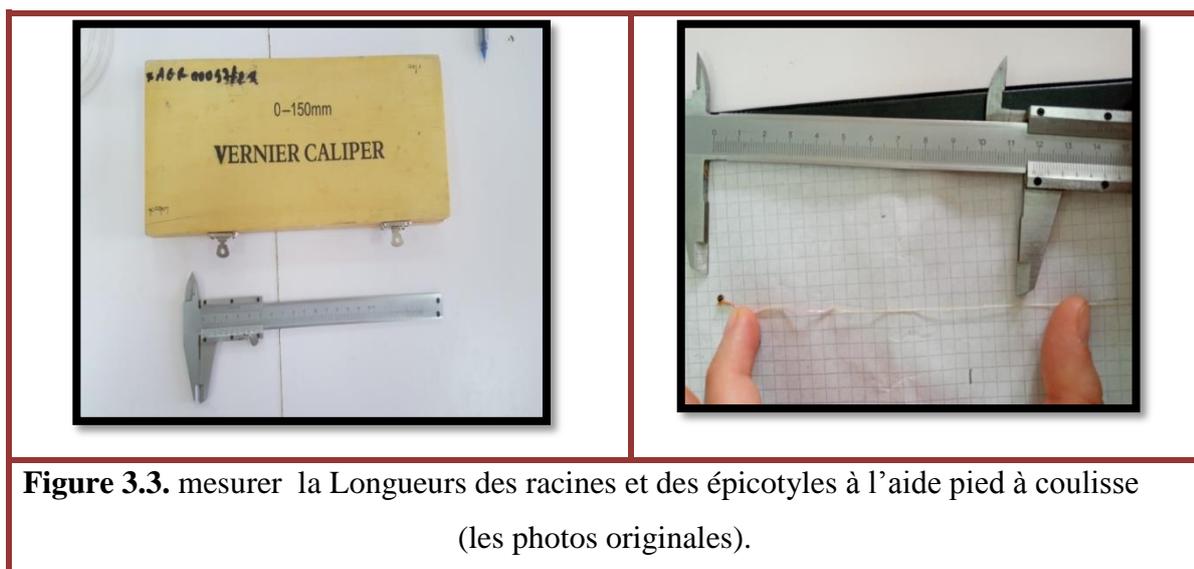
#### 3.5.3. Moyenne journalière de germination ou MDG

La moyenne journalière de germination est calculée par la formule suivante (Osborne et Mercer, 1993).

$$MDG = \frac{\text{pourcentage de germination finale}}{\text{nombre de jours à la germination finale}}$$

#### 3.5.4. Longueurs des racines et des épicotyles

La longueur de la racine primaire et celle de l'épicotyle ont été mesurées à l'aide d'une règle graduée (pied à coulisse) (Figure 3.3), et ce pour évaluer la croissance de la plante vis-à-vis du stress (Alaoui et al., 2013).



# **Chapitre 4**

## **Résultats et discussion**

#### 4.1. Présentation des résultats

##### 4.1.1. Taux de germination

Le taux de germination, en conditions de stress salin, donne toujours une idée plus ou moins précise du comportement des variétés étudiées.

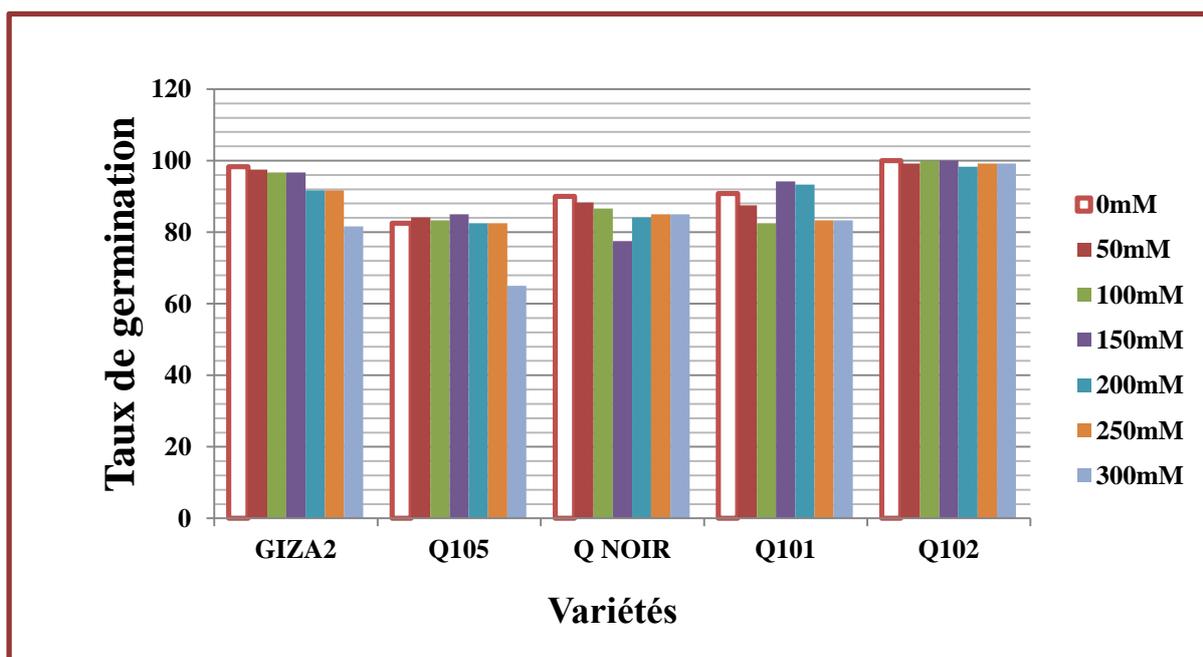
La figure (4.1) présente les variations du taux de germination%, des différentes variétés du quinoa étudiées (Q101, Q102, Q105, Quinoa noir et GIZA 2) en fonction de la concentration de NaCl.

- On remarque que les valeurs des trois espèces (Giza02, Q101 et Quinoa noir) varient entre 98% et 80% pour toutes les concentrations (de 0 mM à 300 mM).

-Alors que les valeurs de germination enregistrée pour Q102 sont identiques au témoin, elles varient entre 99% et 100% dans tous les traitements.

- Pour Q105, elles sont très proches des valeurs du témoin, et elles varient entre 82% et 84%. Cependant, nous avons enregistré une diminution significative avec la concentration 300mM, estimée à 65%.

Il faut signaler que les cinq types sont résistants au stress salin et surtout Q102 c'est la plus résistante.



**Figure 4.1.** Variation du taux de germination, des différentes variétés du quinoa, en fonction de la concentration de NaCl.

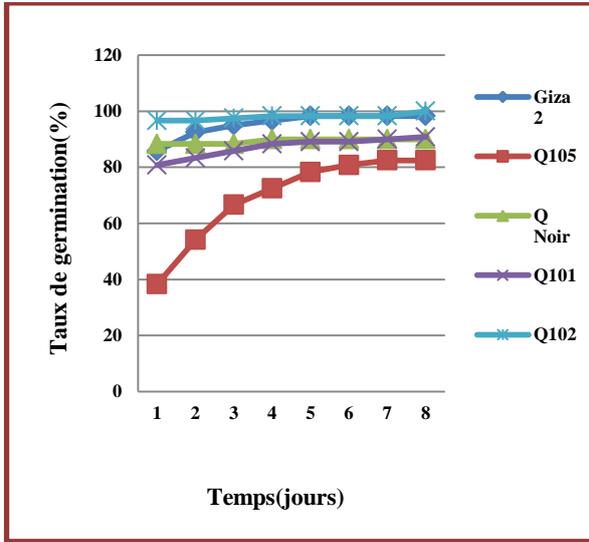
#### **4.1.2. Cinétique de germination**

La figure (4.2) exprime la cinétique de germination des graines de quinoa étudiée sous l'influence du stress salin en fonction du temps. Où nous remarquons que la germination pour toutes les variétés et les niveaux de salinité commence le premier jour.

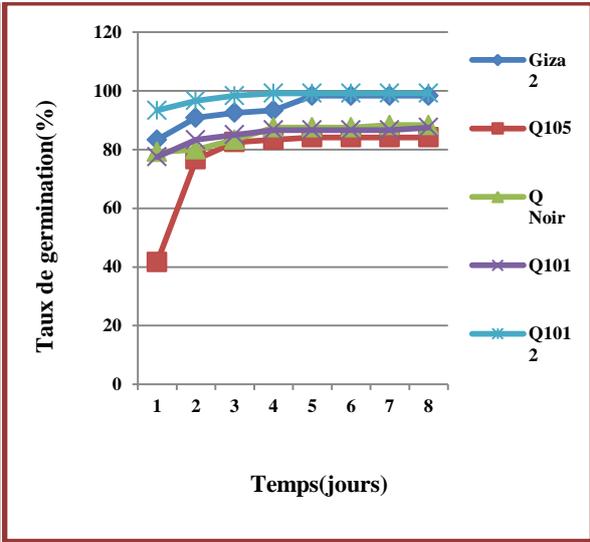
- Nous avons noté également que la plupart des variétés ont enregistré des pourcentages élevés depuis le premier jour de germination, elle varient entre 63% et 83% du taux de germination à des concentrations salines entre 0mM et 200mM, tandis que de faibles pourcentages ont été enregistrés à des concentrations de 250 et 300 mM. Ensuite, les pourcentages continuent d'augmenter avec la succession des jours jusqu'à ce qu'ils soient fixés a la fin de l'expérience.

-Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées depuis le premier jour pour le type Q102 avec 96,67%.

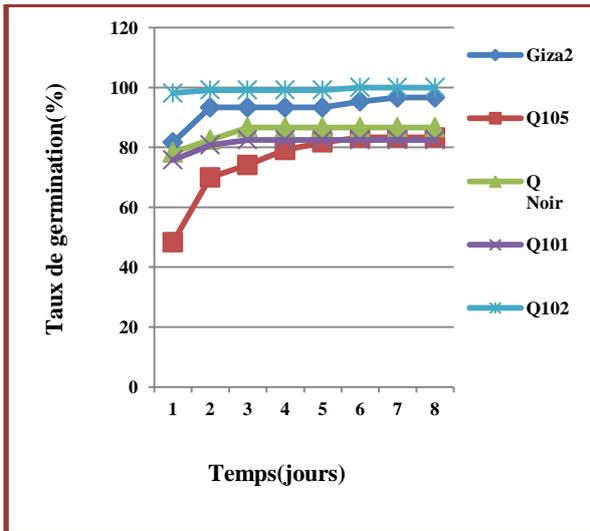
-Quant à Q105, de faibles valeurs ont été enregistrées dans toutes les concentrations de sel depuis le premier jour, avec l'augmentation continue jusqu'à ce que les valeurs soient fixées entre 60% et 82%.



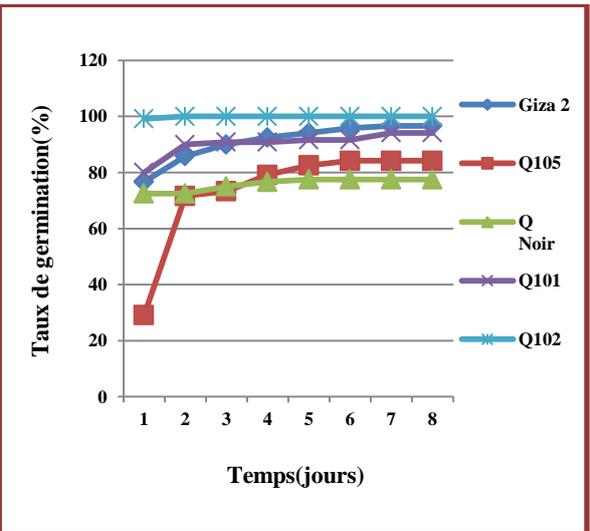
0mM



50 mM



100mM



150mM

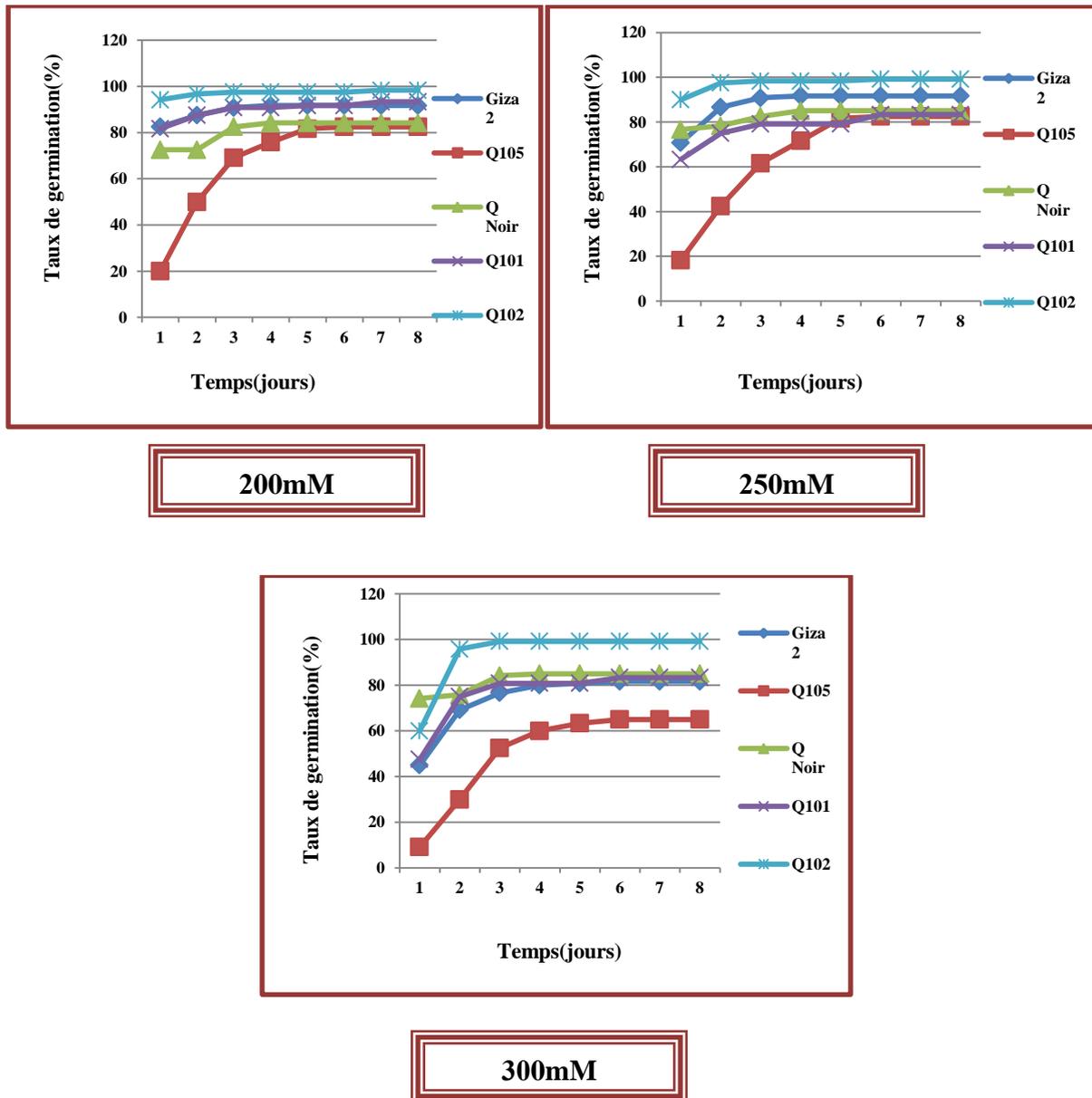


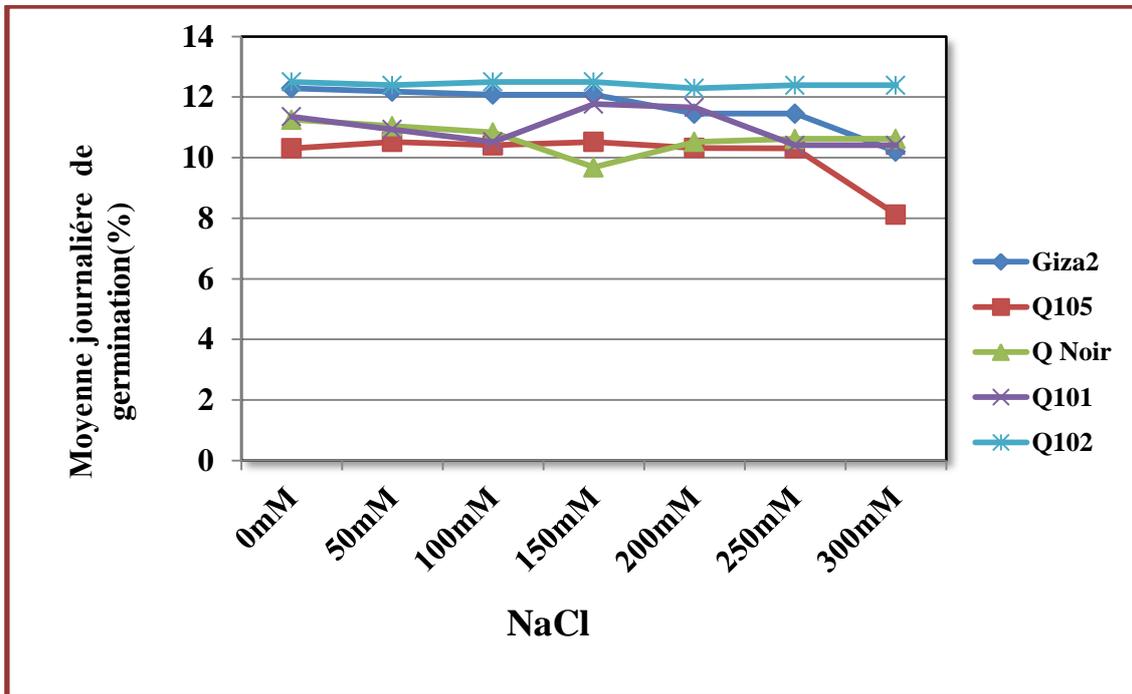
Figure 4.2. Cinétique de germination pour les (05) variétés étudiées à des concentrations.

#### 4.1.3. Moyenne journalière de germination ou MDG

La figure (4.4) présente l'effet des différentes concentrations de NaCl sur le moyen journalier de germination des variétés de quinoa étudiées. Les courbes montrent que les valeurs de MDG sont très similaires pour toutes les variétés qui varient entre 8.12 % et 12.39% tandis que :

- Q102 a enregistré les valeurs les plus élevées et cela pour toutes les concentrations salines étudiées. Les valeurs étaient très proches, et entre 12.29% et 12,5%.

- les autres variétés ont enregistré des valeurs moyennes journalières de germination semblable avec toutes les concentrations salines étudiées.



**Figure 4.3.** Effets des différentes concentrations de NaCl sur le moyen journalier de germination des variétés de quinoa étudiées.

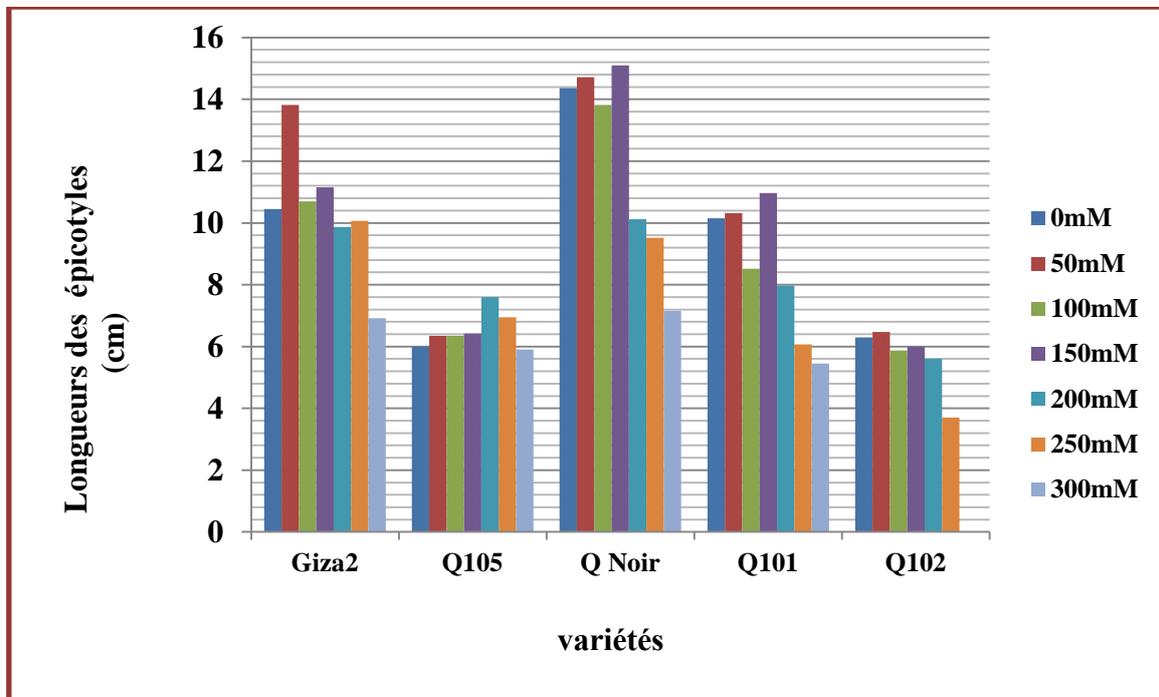
#### 4.1.4. Longueurs des racines et des épicotyles

Les figures (4.5) et (4.6) présentent les résultats de l'étude de l'effet de la salinité sur le développement de la longueur des racines et des épicotyles de cinq variétés de quinoa après 08 jours d'exposition des graines à différentes concentrations en NaCl.

- L'historgramme (4.5) montre que les longueurs des épicotyles sont faibles et proches dans les deux types Q105 et Q102, qui varie entre 3.7cm et 7.6cm dans toutes les concentrations de sel.

-Pour les variétés Q101 et GIZA 2, les longueurs étaient également proches, mais plus élevées que les deux types précédents. Alors que ces longueurs variaient entre 5.45cm et 10.97cm dans toutes les concentrations saline, sauf pour la concentration 50mM, la longueur est plus élevée (13.82 cm) pour la variété GIZA 2.

- Alors que la variété quinoa noir a enregistré les valeurs les plus élevées de la longueur des épicotyles dans la totalité des concentrations étudiées (0, 50, 100, 150, 200, 250 et 300 mM). Elle varie entre 7.15cm et 15.1cm.

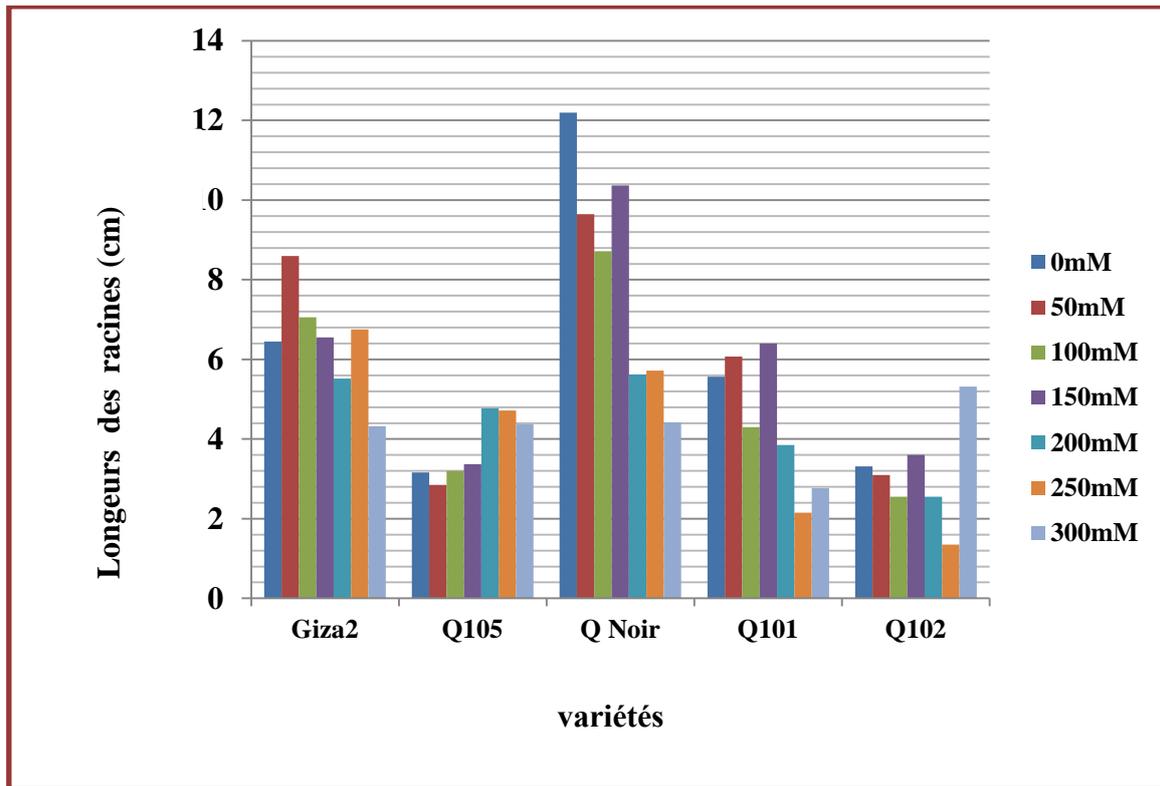


**Figure 4.5.** Variation de la longueur des épicotyles du (05) variétés de quinoa en fonction de la concentration en NaCl.

- En outre pour les longueurs des racines (figure 4.6), les variétés Q102 et Q105 on enregistré des faibles longueurs par rapport aux autres variétés, pour la majorité des concentrations étudiées.

- Quant aux Q101 et GIZA 2 les longueurs sont les plus élevées que les deux variétés précédentes, varient entre 2.15cm et 8.6cm.

- Alors que les racines les plus longues ont été enregistrées pour le Quinoa noir, pour la majorité de concentrations étudiées.



**Figure 4.6.** Variation de la longueur des racines du (05) variétés de quinoa en fonction de la concentration en NaCl.

## 4.2. Discussion

Bien qu'il ne reflète pas intégralement le comportement des plantes dans leurs conditions naturelles, le taux de germination, en conditions de stress salin, donne toujours une idée plus ou moins précise du comportement étudié (Ben Naceur et *al.*, 2001).

L'effet de NaCl sur le comportement germinatif des graines se traduit par une augmentation du temps de latence et une diminution de la vitesse et du taux de germination (Camara et *al.*, 2018).

Pendant la germination, l'émergence de la radicule serait contrôlée par l'osmolarité du milieu, alors que la croissance ultérieure de la plantule serait limitée par la mobilisation et le transport des réserves vers l'axe embryonnaire (Gomes .F et *al.* , 1983).

la bonne croissance de la partie arienne des plantes, suggère l'existence d'un système très efficace pour assurer leurs ajustement osmotique en présence de sel (Haridia et *al.*, 2011).

La germination des graines de quinoa exposées à des concentrations salines engendre souvent quelques anomalies au cours du processus d'imbibition et de germination et principalement un retard dans la germination (Jacobsen et *al.*, 1998 in Mujica, Izquierdo et *al.*, 2001).

Grâce aux résultats que nous avons obtenus au cours de cette étude, nous avons remarqué que des concentrations élevées de NaCl n'affectaient pas le taux de germination des variétés de quinoa étudiées. Ce qui explique que le quinoa noir, Giza 2, Q101, Q102 et Q105 ont la capacité de s'adapter à la salinité.

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.

Selon Daroui et *al.* (2012), L'étude effectuée montre aussi que le NaCl ralentit la vitesse de germination des graines du W. filifera étudiées et diminue leur capacité germinative.

La plupart des études précédentes menées par certains chercheurs ont montré que le chlorure de sodium affecte négativement sur le taux et la cinétique de germination et aussi sur les longueurs des racines et des épicotyles. Alors que les résultats obtenus dans ce travail ont

montré le contraire, pour que les résultats soient très positifs et satisfaisants pour tous les variétés ainsi que pour des concentrations élevées de NaCl.

Pour les paramètres de germination, les résultats obtenus montrent que les graines de quinoa sont capables de germer dans un milieu enrichi en sel jusqu'à 300 mM.

Les résultats obtenus sont en accord avec *Brakez, El Brik et al. (2013)* qui cite que le quinoa peut germer dans des conditions de stress élevé. Cette capacité de germer en présence de sel a été expliquée par (Koyro ,2008) par le faite que la présence de péricarpe qui recouvre la graine joue le rôle d'une barrière pour éviter le passage des ions toxiques à l'intérieur de la graine.

# Conclusion

### Conclusion générale

Cette étude a été menée pour étudier l'effet du stress salin sur cinq variétés de quinoa (Giza 2, Q101, Q102, Q105 et Quinoa noir).

Nous avons étudiés les paramètres suivants : taux de germination, cinétique de germination, Moyenne journalière de germination, et longueurs des racines et des épicotyles

Les résultats obtenus ont montré que la salinité n'affectait pas la germination des graines des variétés étudiés (Giza 2, Q101, Q102, Q105 et Quinoa noir), et nous avons enregistré une légère variation entre les variétés étudiées.

Les deux variétés Giza 2 et Q102, sont les plus tolérantes, suivies du quinoa noir, et au dernier le Q101 et Q105.

En outre pour la cinétique de germination les résultats obtenus montrent que les valeurs les plus élevées ont été enregistrées depuis le premier jour pour le type Q102 avec 96,67% par contre les valeurs les plus faibles sont enregistrées avec la variété Q105

Pour l'effet des différentes concentrations de NaCl sur le moyen journalier de germination des variétés de quinoa étudiées, les résultats obtenus montrent que les valeurs moyennes journalières de germination sont semblables pour toutes les concentrations salines étudiées et avec la majorité des variétés étudiées.

Concernant l'effet de la salinité sur le développement de la longueur des racines et des épicotyles, les résultats obtenus montrent que, la variété quinoa noir a enregistré les valeurs les plus élevées de la longueur des racines et des épicotyles dans la totalité des concentrations étudiées.

Généralement, les variétés de quinoa étudiées ont montré une tolérance remarquable au stress salin au stade de la germination, et il est donc recommandé de surveiller l'effet de la salinité sur les autres stades végétatifs du développement du quinoa, nous recommandons également de les adopter et cultiver dans les zones touchées par la salinité.

# **Référence Bibliographique**

### Référence bibliographiques

- Aabha D., 2015-Adaptation au changement climatique : produire plus de quinoa grâce aux techniques nucléaires. IAEA Bulletin, Pérou, p : 11.
- Adolf V.I, Jacobsen S.E ,Shabala S.,2013-Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*), Environmental and Experimental Botany 92 ,43–54.
- Alaoui M.M., El Jourmi L., Ouarzane A., Lazar S., El Antri S., Zahouily M., Hmyene 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 growth of six Moroccan wheat varieties). J. Mater. Environ. Sci, 4(6) , 997- 1004.
- Anonyme., 2014- L'introduction du quinoa en Algérie ouvre de grandes perspectives de développement. Algérie presse service.
- Avila Ruiz G., 2016- Exploring novel food proteins and processing technologies A case study on quinoa protein and high pressure high temperature processing. Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of doctor. Wageningen University. Wageningen, 09p.
- Belfakih M., Ibriz M.,Zouahri A.,2013- Effet de la salinité sur les paramètres morphophysologiques de deux variétés de bananier (*Musa acuminata L*). Journal of Applied Biosciences, 70,5652– 5662.
- Benidire L., Daoui K., Fatemi Z.A., Achouak W., Bouarab L., Oufdou K., 2015 -Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba (L)*. Journal of Materials and Environmental Science, vol 6 (3), 840-851.
- 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.
- Bliss R D., Patt-Alliola KA., Thomsin W., 1986- The inhibitory effect of NaCl on barley germination. Plant cell Environ , 9,727-733.
- Bosque Sanchez H., Lemeur R., Van Damme P., Jacobsen S.E., 2003- Ecophysiological analysis of drought and salinity stress in quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*), Food Reviews International 19, 111–119.

- Brakez M., El Brik K., Daoud S., Harrouni M.C., 2013- Performance of *Chenopodium quinoa* under salt stress. *Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation*, 463- 478.
- Camara B., Sanogo S., Cherif M., Kone D., 2018- Effet du stress salin sur la germination des graines de trois légumineuses (*Phaseolus vulgaris*, *Glycine max* et *Vigna unguiculata*). *Journal of Applied Biosciences*, 124, 12424-12432.
- Cherbuy B., 1991- Les sols salés et leur réhabilitation. Ecole Nationale Supérieure D'Agronomie Rennes. 124p.
- Chérifi Kh., Anagri A., Boufous E., El Mousadik A.,2017- Effet du chlorure sodium (NaCl) sur la croissance de six espèces d'Acacia, *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*. ISSN 2429-5396,105-113.
- Côme D., 1970- Les obstacles à la germination. Masson et Cie.162 p.
- Daoud, V., Halitim, A. ,1994 - Irrigation and Salinization in the Algerian Sahara . *Sécheresse*, 5, 151-160.
- Daroui E.,Boukroute A., Kouddane N., Berrichi A.,2012- Effet de la salinité sur la germination et la croissance *in vitro* du *Washingtonia filifera* L. *Nature & Technologie . B- Sciences Agronomiques et Biologiques*, n° 08/Janvier 2013, 32 -38.
- Del Castillo G., Gregory M., Winkel T., 2008- Le Quinoa en Bolivie : une culture ancestrale devenue culture de rente « bio-équitable ». *Biotechnol. Agron. Soc.Envion.*, 12(4) , 421-435.
- FAO(Food and Agriculture Organisation), 2016-Quinoa en Algérie. P16.
- FAO, 2013-. *FAO Statistical Yearbook: World Food and Agriculture: FAO*.
- Gandarillas H., 1968- Caracteres botánicos más importantes para la clasificación de la quinua. In *Anales de la Primera Convención de Quenopodiáceas quinua-cañahua*. Universidad NacionalTécnica del Altiplano (Ed), Puno, Perú, pp 41-49.
- Gandarillas H., 1979- La Quinoa (*Chenopodium quinoa*Willd.): Botánica. In: *La Quinoa y la Kañiwa, cultivos andinos*. Tapia M. E., Gandarillas H., Alandia S., Cardozo A. ,Mujica A., (eds). CIID-IICA. Bogota, Colombia. p. 20-44.

- Gandarillas H., 1982- El cultivo de la quinua. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios, Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo La Paz, Bolivia, 22p.
- GAO S., Ouyang C., Wang S., Xu Y., Tang L., Chen F., 2008- Effects of salt stress on growth, antioxidant enzyme and phenylalanine ammonia-lyase activities in *Jatropha curcas* L. Seedlings, *PLANT SOIL ENVIRON.*, 54, (9), 374–381.
- Gomes F. E., Prisco J.T., Campos F. A. P., Filho E. J., 1983- Effects of NaCl salinity in vivo and in vitro ribonuclease activity of *Vigna unguiculata* cotyledons during germination. *Plant Physiol.*, 59, 183-188.
- Hajlaoui H., Denden M., Bouzlama M., 2007- Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) au stade germination. *Tropicultura*, Vol 25 (3), 168-173.
- Hanana M., Hamrouni L., Cagnac O., Blumwald E., 2011- Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. *Les Presses scientifiques du CNRC*, 19, 121–141.
- Hariadi ., Marandon K., Tian Y., Jacobsen S.E., Shabala S., 2011,- Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plant grown at various salinity levels, *Journal of Experimental Botany* 62 (1), 185–193.
- Herbillon M., 2015- Le quinoa : intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. Thèse de doctorat d'état, université de Rouen U.F.R de médecine et de pharmacie, 127p.
- IRD., 2008. Les dossiers thématiques de l'Institut de recherche pour le développement. Les sols sont fragiles : 1<sup>ère</sup> partie Salinisation et sodisation des sols. 2<sup>ème</sup> partie La dégradation des sols par salinisation ou alcalisation.
- Ismail A.M.A., 1990- Germination ecophysiology in population of *Zygophyllum qatarense* Hadidi from contrasting habitats. *J. Arid. Environ.*, 18, 185-194
- Jacobsen S.E., Mujica A., Jensen C.R., 2003- The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Rev. Int.* 19, 99-109.

- Koyro H.W., Eisa S., 2008- Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa Willd.* Plant and Soil 302(1),79-90.
- Koziol M., 1992- Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). Journal of Food Composition and Analysis. 5, 35-68.
- Lebn vallet, 2008-Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'Altipano bolivien . Thèse de doctorat , Agro Paris Tech , France.
- Lescano J.L., 1994- Genética y mejoramiento de cultivos andinos: quinoa, kañihua, tarwi, kiwicha, papa amarga, olluco, mashua y oca Programa Interinstitucional de Waru Waru, convenio INADE/PELT – COTESU,459 p.
- Marcelo A., Veloso C.,2016- Impacts de l'essor international du quinoa.Travail de Bachelor , Haute École de Gestion de Genève (HEG-GE),Filière Economie d'Entreprise , Genève,58p.
- Martínez E.A., Veas E., Jorquera C., San Martín R., Jara P., 2009- Reintroduction of *Chenopodium quinoa Willd.* into arid Chile : cultivation of two lowland races under extremely low irrigation. J. Agron. Crop Sci., 195(1), 1-10.
- Mujica A., Canahua Y., 1989- Fases Fenológicas del Cultivo de la Quinoa. (*Chenopodium quinoa Willd.*). Curso Taller. Fenología de Cultivos Andinos y Uso de la Información Agrometeorológica. Salcedo, 7-10 Agosto, Puno-Perú. INIAA.
- Mujica A., Jacobsen S.E., 1999- Resistencia de la quinua a la sequia y otros factores abióticos adversos y su mejoramiento. In: I Curso Internacional sobre Fisiología de la Resistencia a Sequia en Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) CIP-DANIDA Lima, Perú, pp 25-38.
- Mujica A., Izquierdo J., Marathe J. P., Capítulo I., (2001). Origen y descripción de la quinua. Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Editores. Mujica, A., Jacobsen, SE, Izquierdo, J., Marathe, JP). FAO, UNA, Puno, CIP. Santiago de Chile,pp 9-29.

- Munns R., Tester M., 2008-Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol*, 59(1), 651–681.
- Nacer M., Tiar KH., 2012-Impact de la salinité due au traitement de sel sur l'environnement. Cas d'ENASEL EL-Outaya wilaya de biskra. Ingénieur d'état en écologie et environnement, université Mohamed Khider Biskra-Algérie, 75 p.
- Noomene H., 2011, Géographie Etude de la salinité des sols par la méthode de détection électromagnétique dans le périmètre irrigué de Kalacat Landelous er Tunisie: cas d'une parcelle de courge. These Master, Faculté des lettres des arts et des humanités Manouba- Tunisie, 103 p.
- Oelke E.A., Putnam D.H., Teynor T.M., Oplinger E.S., 1992- Quinoa. *Alternative field crops manual*. University of Wisconsin-Extension .
- Osborne J.M., Mercer S., 1993- Germination response under elevated salinities of six semi-arid blue bush species (Western Australia). In *Towards the rational use of high salinity tolerant plants*, Springer Netherlands ,pp 323-338.
- Pacheco A., Morlon P., 1978. Los sistemas radicluras de las plantas de interés económico en el Altiplano de Puno : un estudio preliminar. Proyecto de Investigación y Mejoramiento de las condiciones de desarrollo de la Agricultura del Altiplano de Puno, Perú.
- 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, pp 27-34.
- Prego I., Maldonado S., Otegui M., 1998- Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*, *Ann. Bot.*, 82(4), 481-488
- Rea, 1969- Morfologia de la quinua in *Observaciones sobre la biología floral y estudios desaponinas en Chenopodium quinoa Willd* Ministerio de Agricultura Departamento de Experimentación Sene Tecnica N' 3 ,La Paz Bolivia, pp 15 17.
- Rush, Dale W., Epstiene E., 1976-Genotypic Responses to Salinity differences between salt-sensitive and salt-tolerant genotypes of the tomato. *Plant Physiol*,57, 162-166.

- Salam F. ,2004- La salinité et la production végétale.Tunisie, 163p.
- Servant J., 1975 - Contribution à l'étude de terrains halomorphes. L'exemple de sols salés du sud et du sud-ouest de la France.Thèse Doct. es Sciences naturelles. Univ.Languedoc, 194p.
- Stikić R, Jovanović Z, Marjanović M, Đorđević S., 2015. The Effect of Drought on Water Regime and Growth of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Research Grants: TR-31006 and EU FP7 project AREA. Serbia. 2: 52-8000.
- Tapia M.E., Gandarillas H., Alandia S., Cardozo A., Mujica A., Ortiz, R., Otazu, V., Rea J., Salas B., Zanabria E., 1979- La quinua y la kafiwa: cultivos andinos. ED Tapia M., Bogota, Colombia, 228 p.
- Tapia M.E., Fries A.M., 2007- Guía de campo de los cultivos andinos.FAO y ANPE Lima, Perú.
- Valencia-Chamorro S. A., 2003- Quinoa. In Encyclopedia of food science and nutrition. Vol. 8". (Ed. B Caballero) pp 4895–4902.

## الملخص

بهدف إبراز تأثير الملوحة على إنبات بذور الكينوا (*Chenopodium quinoa willd.*) أجريت دراسة مخبرية على 5 أصناف منها : الكينوا السوداء , Q105, Giza 2, Q102 و Q101 .

حيث تمت معالجة بذور هذه الأصناف بمستويات متزايدة من كلوريد الصوديوم لمدة 8 أيام في درجة حرارة 25°C ورطوبة 70% , وتم اعتماد أربعة تكرارات لكل معالجة.

الضوابط التي تمت متابعتها خلال هذه الدراسة هي : معدل الإنبات ، حركية الإنبات ، متوسط الإنبات اليومي ، أطوال الجذور والبادرات.

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن أصناف الكينوا المدروسة لم تتأثر كثيرا بالملوحة, حيث كانت Giza 02 و Q102 هي الأكثر تحملا وتتبعهما الكينوا السوداء و تليهما Q105 و Q101 .

الكلمات المفتاحية : الكينوا, الملوحة , الإنبات , كلوريد الصوديوم .

## Résumé

Afin de mettre en évidence l'effet de la salinité sur la germination des graines de quinoa quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*), une étude au laboratoire a été menée sur 5 variétés de quinoa : (Giza 2, Quinoa noir, Q101, Q102 et Q105).

Les graines de ces variétés ont été traitées avec des niveaux croissants de NaCl (0mM, 50mM, 100mM, 200mM, 250mM, 300mM) pendant 8 jours à une température 25°C et une humidité de 70%, avec quatre répétitions pour chaque traitement.

Les paramètres étudiés au cours de cette étude sont: taux de germination, cinétique de germination, Moyenne journalière de germination et les longueurs des racines et des épicotyles.

Les résultats obtenus ont montré que les variétés de quinoa étudiées n'ont pas été beaucoup affectées par la salinité. Giza 02 et Q102 sont le plus toléré, suivi du quinoa noir et ensuite le Q101 et Q105.

**Mots clé** : Quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*), Salinité, Germination, NaCl.

## **Abstract**

In order to demonstrate the effect of salinity on the germination of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa willd.*), a laboratory study was conducted on 5 quinoa varieties: (Giza 2, Quinoa black, Q101, Q102 and Q105).

The seeds of these varieties were treated with increasing levels of NaCl (0mM, 50mM, 100mM, 200mM, 250mM, 300mM) for 8 days at a temperature 25°C and moisture 70%, four iterations were approved for each treatment.

The parameters that were followed during this study are: germination rate, germination kinetics, daily germination average and lengths of roots and epicotyls.

The obtained results showed that the studied quinoa varieties were not significantly affected by salinity. Giza 02 and Q102 was the most tolerated, followed by black quinoa, and next Q101 and Q105.

**Key words:** Quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*), salinity, Germination, NaCl.