



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie  
Département des sciences de la nature et de la vie

## MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Biochimie appliquée

Réf. : .....

---

Présenté et soutenu par :

**Dalila ATIET-ALLAH et Nour-Elhouda SAIDANI**

Le : mardi 9 juillet 2019

### **Effets du stress salin sur la germination de quelques variétés introduites du quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*) et évaluation de certains indicateurs biochimiques de stress**

---

#### **Jury :**

Mme. <b>Hadjra HAMMIA</b>	<b>M.A.A</b>	Université de Biskra	Président
Mme. <b>Hafida BELKHARCHOUCHE</b>	<b>M.C.B</b>	Université de Biskra	Rapporteur
M. <b>Ahmed SIMOZRAG</b>	<b>M.C.B</b>	Université de Biskra	Examineur
M. <b>Abdelmoneim Tarek OUAMANE</b>	<b>A.R.</b>	C.R.S.T.R.A.	Co-Rapporteur

Année universitaire : 2018 - 2019



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie  
Département des sciences de la nature et de la vie

## MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Biochimie appliquée

Réf. : .....

---

Présenté et soutenu par :

**Dalila ATIET-ALLAH et Nour-Elhouda SAIDANI**

Le : mardi 9 juillet 2019

### **Effets du stress salin sur la germination de quelques variétés introduites du quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*) et évaluation de certains indicateurs biochimiques de stress**

---

#### **Jury :**

Mme. Hadjra HAMMIA	M.A.A	Université de Biskra	Président
Mme. Hafida BELKHARCHOUCHE	M.C.B	Université de Biskra	Rapporteur
M. Ahmed SIMOZRAG	M.C.B	Université de Biskra	Examineur
M. Abdelmoneim Tarek OUAMANE	A.R.	C.R.S.T.R.A.	Co-Rapporteur

Année universitaire : 2018 - 2019

## *Remerciements*

*Merci à Allah de m'avoir donné le courage, la volonté ainsi que la conscience pour que je puisse terminer mes études et réaliser cette travail.*

*Au terme de cette étude, mes reconnaissances respectueuses vont d'abord à madame Belkharchouche Hafida, pour avoir accepté de m'encadrer ainsi que pour ses précieux conseils et orientations, sa disponibilité, sa gentillesse, sa modestie et pour l'intérêt bienveillant manifesté pour mon travail.*

*J'adresse mes plus vifs remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier le Directeur et tout le personnel de l'ITDA (Institut technique du développement de l'agronomie saharienne) Ain ben Naoui de Biskra.*

*Je remercie tout le personnel du laboratoire de Département de science de la nature et de la vie de l'université de Biskra.*

*Je remercie également Monsieur OUMANE Tarek pour son aide précieuse au travail sur l'analyse des données*

*A tous ceux qui m'ont aide de près ou de loin à réaliser ce travail, je dis merci.*

*Dédicace*

# Table des matières

## Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
Table des matières .....	3
Liste des Tableaux .....	I
Liste des Figures .....	II
Liste des abréviations .....	III
Introduction générale .....	1

## Synthèse bibliographique

### Chapitre 1 : Généralités sur le quinoa

1.1 Origine du quinoa .....	4
1.2 Classification du quinoa .....	4
1.2.1 Classification scientifique .....	4
1.2.2 Classification morphologique .....	15
1.3 Description morphologique de la plante .....	5
1.3.1 Caractères végétatifs .....	5
1.3.2 Caractères floraux .....	6
1.4 Variétés du quinoa .....	6
1.5 Phénologie du quinoa .....	6
1.6 Composition nutritionnelle .....	8

**Chapitre 2 : Généralités sur la salinité**

2.1 Définitions du stress.....	9
2.2 Définition de la salinité.....	9
2.3 Types de salinité.....	9
2.4 Effets de la salinité sur les plantes.....	10
2.5 Effet de la salinité sur la germination.....	10
2.6 Stratégies d'adaptation à la salinité chez les plantes.....	11
2.6.1 La compartimentation vacuolaire.....	11
2.6.2 Exclusion des ions toxiques.....	11
2.6.3 Ajustement osmotique.....	12

**Partie Expérimental****Chapitre 3 : Matériel et méthodes**

3.1. Matériel expérimental.....	13
3.2. Matériel végétal.....	13
3.3 Mise en place de l'expérimentation et dispositif expérimental.....	15
3.4 Les paramètres étudiés.....	15
3.4.1 Taux de germination final.....	15
3.4.2 Cinétique de la germination.....	16
3.4.3 Vitesse de germination.....	16
3.4.4 Moyenne journalière de germination (MDG= Mean Daily Germination).....	16
3.4.5 Réversibilité de l'action du sel.....	17
3.4.6 Mobilisation des réserves.....	17
3.5 Dosage des sucres solubles.....	17

---

3.5.1 Principe de dosage des sucres solubles ( $\mu\text{g} / 100\text{mg MF}$ ).....	17
3.5.2 Méthodologie de travail.....	18
3.6 Analyse statistique.....	18
<b>Chapitre 4: Résultats et discussion</b>	
4.1 Présentation des résultats .....	19
4.1.1 Taux de germination.....	19
4.1.2 Cinétique de germination.....	23
4.1.3 Moyenne journaliere de germination .....	25
4.1.4 Temps moyen de germination (t50).....	27
4.1.5 Réversibilité de l'action du sel.....	30
4.1.6 Effet de la salinité sur la mobilisation des réserves.....	31
4.1.7. Quantification de dosage de sucres solubles .....	32
4.2 Discussion.....	35
Conclusion.....	39
Bibliographie.....	41
Annexes	
Annexe N°1 : Courbe de gamme d'étalonnage	
Annexe N°2 : Tableau variation de la moyenne journalière de germination des variétés de quinoa étudiées pour les différentes concentrations de NaCl (g/l).	
Annexe N°3 : Tableau de variation de teneurs des sucres solubles de différentes variété de quinoa sous l'effet des concertations 0, 10,20 g/l.	
Résumé	

## Liste des Tableaux

<b>Tableau 1.1.</b> Classification scientifique du quinoa.....	4
<b>Tableau 1.2.</b> Les stades phréologiques de quinoa.....	7
<b>Tableau 1.3.</b> Teneurs en macronutriments du quinoa et d'autres aliments (g/100g de poids sec).....	8
<b>Tableau 3.1.</b> Le matériel utilisé dans la présente expérimentation.....	13
<b>Tableau 4.1.</b> Analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs du taux de germination.....	20
<b>Tableau 4.2.</b> Classification des concentrations de NaCl appliquée sur les différentes variétés du quinoa étudiées en groupes homogènes, selon le test de SNK, pour le paramètre «Taux de germination».....	21
<b>Tableau 4.3.</b> Classification des variétés du quinoa étudiées en groupes homogènes, selon le test SNK, pour le paramètre « Taux de germination ».....	21
<b>Tableau 4.4.</b> Variation de la capacité germinative des variétés de quinoa étudiées pour les différentes concentrations de NaCl (g/l).....	22
<b>Tableau 4.5.</b> Analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs contrôlés pour la moyenne journalière de germination.....	25
<b>Tableau 4.6.</b> Classification des variétés de quinoa en groupes homogènes selon le test de SNK pour le paramètre « MDG ».....	26
<b>Tableau 4.7.</b> Classification des doses de NaCl appliquées sur les variétés de quinoa en groupes homogènes selon test de SNK pour le paramètre « MDG ».....	27
<b>Tableau 4.8.</b> L'analyse de variance de deux facteurs contrôlés pour le temps moyen de germination.....	28
<b>Tableau 4.9.</b> Classification des variétés en des groupes homogènes selon les moyennes estimées.....	29
<b>Tableau 4.10.</b> Classification des doses appliquées en des groupes homogènes selon les moyennes estimées.....	29
<b>Tableau 4.11.</b> Variation du temps moyen de germination (T50) des variétés de quinoa étudiées pour les différentes concentrations de NaCl (g/l).....	30
<b>Tableau 4.12.</b> Analyse de la variance à deux facteurs contrôlés pour les teneurs de sucres solubles chez les jeunes plantules des six variétés de quinoa.....	33
<b>Tableau 4.13.</b> Classement des variétés en groupes homogènes par le test S-N-K.....	34
<b>Tableau 4.14.</b> Classement des doses salines en groupes homogènes par le test S-N-K.....	34



## Liste des Figures

<b>Figure 3.1.</b> Les graines des différentes variétés étudiées.....	14
<b>Figure 4.1.</b> Variation du taux de germination, des différentes variétés du quinoa, en fonction de la concentration de NaCl.....	19
<b>Figure 4.2.</b> Effets de différentes concentrations de NaCl sur la cinétique de germination des six variétés de Quinoa étudiées.....	24
<b>Figure 4.3.</b> Effets de différentes concentrations de NaCl sur la moyenne journalière de germination des variétés de quinoa étudiées.....	25
<b>Figure 4.4.</b> Effets des différentes concentrations de NaCl (g/L) sur le temps moyen de germination (T50) des six variétés de quinoa étudiées.....	27
<b>Figure 4.5.</b> Taux de germination des graines des six variétés de quinoa mises à germer directement au milieu témoin non salé, en comparaison avec la germination des graines mises à germer dans l'eau distillée, après un prétraitement avec une solution de NaCl de 40 g/L...31	31
<b>Figure 4.6.</b> Effet des différentes concentrations en NaCl sur la mobilisation des réserves après 11 jours de germination des graines de quinoa.....	32
<b>Figure 4.7.</b> Teneurs en sucres solubles des parties aériennes des six variétés de quinoa sous conditions de stress salin.....	33

## Liste des abréviations

**ATPase** : Adénosine triphosphatase.

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

**g** : gramme

**HKT1** : high affinity k<sup>+</sup> transporteur.

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

**J.-C** : Jésus-Christ.

**MDG** : Mean Daily Germination.

**mL** : Millilitre.

**NaCl** : chlorure de sodium.

**PPase** :Pyrophosphatase.

**SOS** : Salt Overly Sensitive.

## Introduction générale

Le stress biologique est une force adverse qui empêche le fonctionnement normal et le bien-être du système biologique. La productivité agricole mondiale est soumise à des contraintes environnementales croissantes sous la forme de stress abiotiques et biotiques qui influent négativement sur les plantes. En fait, les stress abiotiques sont la principale cause des mauvaises récoltes. La sécheresse et la salinité sont deux facteurs abiotiques majeurs (Wu et al., 2011).

En effet, la salinité est un problème en expansion. Le sel touche plus de 6% de la superficie terrestre mondiale. Le coût annuel global des terres touchées par le sel devrait dépasser largement les 12 Milliards de Dollars Américains (Flowers et al., 2010).

L'Algérie fait partie du groupe des pays méditerranéens où la sécheresse, observée depuis longtemps, a conduit manifestement au processus de salinisation des sols, 3.2 Millions d'Hectares affectés.

Il convient de réfléchir aux stratégies possibles pour mettre ces sols en valeur et aux différentes investigations nécessaires pour comprendre les mécanismes mis en jeu par les plantes pour s'adapter à ces nouvelles conditions environnementales. Pour contribuer à la réhabilitation des régions touchées par l'aridité (Belkhodja et Bidai, 2004).

Des recherches physiologiques et biochimiques ont montré que le quinoa est un halophyte facultatif (Sanchez et al., 2003).

2013 a été déclarée "Année internationale du quinoa" par les Nations unies, dont l'objectif principal était d'appeler l'attention du monde sur la contribution potentielle de ce grain d'or à la sécurité alimentaire (FAO, 2015).

En Algérie, les essais d'introduction du quinoa sont effectués au niveau des stations expérimentales des institutions de recherche et développement relevant du secteur de l'agriculture.

Il s'agit notamment d'étudier son comportement et ses potentiels de production dans différentes zones agro-écologiques tout en veillant à ce que l'introduction de cette nouvelle plante ne nuise pas aux autres cultures (Jacobsen et al., 1994).

Le quinoa est un pseudo-céréale (Bhargava et al., 2006) qui a été cultivé dans six pays d'Amérique du Sud avant même la culture Inca. Des recherches archéologiques indiquent que

la culture a déjà commencé 5000 ans avant la naissance du Christ (Friis Pedersen et Norway, 2015). Est un aliment de base des populations andines depuis des siècles, reconnue par ses qualités nutritionnelles. Elle est considérée comme une alternative aux céréales traditionnelles pour des populations en situation d'insécurité alimentaire.

Le quinoa est une culture qui répond à de nombreuses exigences en matière d'humidité et de température, avec différents écotypes adaptés à différentes conditions (Jacobsen et al., 1994).

La croissance et la production de quinoa ne se limitent pas nécessairement aux montagnes andines. Le quinoa peut avoir un potentiel dans d'autres régions (Galway, 2003).

Selon des scientifiques, l'intérêt de cette plante réside dans sa capacité de résistance face à des conditions climatiques extrêmes (sécheresse, pauvreté des sols, salinité) soulignant son efficacité dans la lutte contre la désertification. D'autant plus que le quinoa se développe dans un milieu aride où il pourrait même donner des rendements acceptables.

Le quinoa devient de plus en plus populaire, et sa culture est parmi les plus rapides dans le monde, ce qui lui permet de contribuer significativement à la sécurité alimentaire et à la nutrition (Algérie presse service, 2014). C'est dans ce contexte que la présente contribution s'inscrit en effet cette étude a pour objectifs:

D'une part la connaissance de la plante et de ses exigences en termes de germination afin de repeupler les zones dégradées et touchées par la salinité et la désertification.

D'autre part, la détermination du seuil de tolérance de l'espèce au stress salin au stade germinatif.

L'évaluation de l'effet de stress salin à différentes doses sur la germination de six variétés de quinoa : Q101, Q102, Q103, Q104, SAJAMA et GIZA1.

Dosage de l'un des marqueurs biochimiques les plus importants qui contribuent au mécanisme de la tolérance.

Ainsi, le présent mémoire tente de répondre aux questions suivantes : Quel est l'effet de la salinité sur les différentes variétés étudiées de *Chenopodium quinoa willd*? Sont-elles tolérantes à la salinité ? À quel seuil ?

Ce mémoire est structuré en deux parties distinctes:

La 1ère Partie, est consacrée à une synthèse bibliographique concernant le thème de travail, elle est formée par deux chapitres :

Chapitre I : Généralités sur le quinoa.

Chapitre II : Généralités sur la salinité.

La 2ème partie est la partie expérimentale, elle est formée de deux chapitres aussi :

Chapitre I : Matériel et méthodes.

Chapitre II : Résultats et discussion.

# Chapitre 1 : Généralités sur le quinoa

## 1.1 Origine du quinoa

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) a été décrit botaniquement pour la première fois en 1778 par Willdenow (botaniste et pharmacien allemand) comme une espèce originaire d'Amérique du Sud, dont le centre d'origine est situé dans les Andes (Dharm, 2019). Plus particulièrement des hauts plateaux (Altiplano) bolivien et péruvien (Wilson, 1990 ; Mujica et al., 2001). À des altitudes de 3000 à 4000 mètres (Benlhabib, 2005).

Le quinoa cultivé le plus ancien a été trouvé sur les bords du lac Titicaca depuis plus de 5000 ans avant J.-C, constituait une source d'alimentation importante pour les populations précolombiennes, et parfois surnommé « graine des Incas » (Galwey et al, 1990).

Conscients de ses qualités nutritives et agricoles exceptionnelles, les Incas l'appelaient «chisiya mama » dans leur langue maternelle, le Quechua, qui signifie « mère de toutes les graines » (Risi et Galwey, 1984 in Herbillon, 2015).

## 1.2 Classification du quinoa

### 1.2.1 Classification scientifique

Le quinoa est une pseudo-céréale, de la famille des Chenopodiaceae (Jyoti et Chanu, 2018). Depuis 2009, une nouvelle classification dite phylogénétique (APG III) range le quinoa dans la famille des Amaranthaceae (Giusti, 1970 in Herbillon, 2015) (Tableau 1).

**Tableau 1.1. Classification scientifique du quinoa**

<b>Classification de Cronquist (1981)</b>	
Régne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnomiopsidae
Sous-classe	Caryophyllidae
Ordre	Caryophyllales
Famille	Chenopodiaceae
Genre	Chenopodium
<b>Classification APG III (2009)</b>	

Ordre	Caryophyllales
Famille	amaranthaceae
<b>Nom binomial</b>	
<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.	

### 1.2.2 Classification morphologique

Les premières classifications du quinoa prenaient en compte la couleur de la plante et des fruits, parfois même la forme du fruit ou le goût des grains. L'une des premières classifications était décrit quatre espèces de quinoa : *Chenopodium album*, caractérisé par des grains doux ; *Chenopodium pallidus* aux grains amers ; *Chenopodium ruber* aux grains rouges et *Chenopodium niger* aux grains noirs (Tapia et al., 1979).

### 1.3 Description morphologique de la plante

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) est une dicotylédone angiosperme halophyte ; c'est-à dire qu'ils ont la particularité de s'adapter aux milieux salés par divers mécanismes (Herbillon, 2015 in Giusti, 1970). Herbacée, autogame, annuelle. Dans des conditions optimales de température et d'humidité, les grains germent en une dizaine d'heures environ, et les cotylédons apparaissent généralement vers le 7<sup>e</sup> jour après l'émergence (Del Castillo et al., 2008).

#### 1.3.1 Caractères végétatifs

Les racines : Le quinoa a un système racinaire pivotant, vigoureux, profond, bien ramifié et fibreux qui assure sa résistance à la sécheresse et sa bonne stabilité. (Herbillon, 2015).

La tige : Cylindrique au niveau du collet et puis anguleuse à partir des ramifications (Gandarillas, 1979). A une taille comprise entre 0,5 et 1,5 m selon la variété et les conditions de croissance (Didier Perrouin)

Les feuilles : Les feuilles d'une même plante sont nettement polymorphes, celles de la tige principale étant plus longues que celles des ramifications (Del Castillo et al., 2008).

### **1.3.2 Caractères floraux**

Les fruits : Le fruit est un akène comprenant plusieurs couches, (Risi et Galwey, 1984 in Herbillon, 2015). À savoir de l'extérieur vers l'intérieur : périgone, péricarpe et épisperme. Chaque fruit contient une seule graine dont la couleur, la forme et la taille sont variables (Gandarillas, 1979).

Les fleurs : Le quinoa présente des fleurs hermaphrodites disposées en inflorescences en grappes, considérées comme de faux épis (panicules) (Del Castillo et *al.*, 2008).

Les graines : Principales parties comestibles de la plante, peuvent être de trois formes différentes : conique, cylindrique ou ellipsoïde (Quispe et *al.*, 1976 in Herbillon, 2015). Recouvertes de saponine (Une substance anti-nutritive amère qui éloigne naturellement les oiseaux, éliminée par lavage) (Del Castillo et *al.*, 2008).

### **1.4 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).



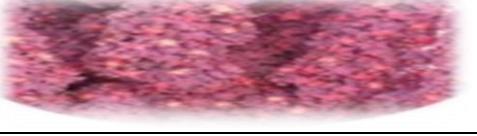

### **1.5 Phénologie du quinoa**

Selon échelle de développement de Mujica et Canahua (1989) il y a 12 phases (Lebonvallet. 2008).



**Tableau 1.2.** Les stades phénologiques de quinoa (Mujica et Canahua, 1989).

Les stades	Les jours après le semis	Description	Photos
Levée	7 et 10	Sortie de la plantule et au déploiement des feuilles cotylédonaires (germination épigée).	
Deux feuilles vraies	15 à 20	Conjointement à une croissance rapide des racines.	
Quatre feuilles vraies	25 à 30	Les feuilles cotylédonaires sont toujours vertes. La plantule montre une bonne résistance au froid et à la sécheresse	
Six feuilles vraies	35 à 45	L'apparition de la troisième paire de feuilles vraies. les feuilles cotylédonaires commencent à se flétrir	
Ramification	45 à 50	la présence de bourgeons axillaires. Les feuilles cotylédonaires, jaunies, tombent et laissent une cicatrice sur la tige.	
Début de formation de la panicule	55 à 60	L'inflorescence commence à apparaître à l'apex de la plante. La tige s'allonge et son diamètre augmente	
Panicule	65 à 70	L'inflorescence est désormais clairement visible au-dessus des feuilles	
Début de floraison	75 à 80	Les premières fleurs s'ouvrent. La plante commence à être plus sensible au froid et à la sécheresse.	

Floraison	90 ou 100	L'ouverture de 50% des fleurs de l'inflorescence. Les feuilles inférieures, flétries, tombent.	
Grain laiteux	100 à 130	Le grain est qualifié de laiteux. Un déficit hydrique entraîner une forte diminution du rendement	
Grain pâteux	130 à 160	L'intérieur des fruits devient d'une consistance pâteuse	
Maturité physiologique	160 à 180	Le grain, plus résistant à la pression la plupart des feuilles ont jauni et sont tombées	

### 1.6. Composition nutritionnelle

Les quinoas sont riches en protéines, en acides aminés essentiels, en fibres alimentaires, en graisses, en minéraux, en vitamines et en antioxydants naturels (Jyoti et Chanu, 2018). Etant une excellente source de fer. Le quinoa représente donc un aliment intéressant particulièrement pour les personnes végétariennes. Un très grand avantage, pour les personnes atteintes du syndrome du côlon irritable ou de la maladie coeliaque, est que le quinoa ne contient pas du gluten.

**Tableau 1.3.** Teneurs en macronutriments du quinoa et d'autres aliments (g/100g de poids sec) (Koziol M. 1992).

	Quinoa	Blé	Riz	Mais	Haricot
Energie (Kcal/100g)	399	392	372	408	367
Protéines	16.5	14.3	7.6	10.2	28
Lipides	6.3	2.3	2.2	4.7	1.1
glucides	69	78.4	80.4	81.1	61.2
fibres	3.8	2.8	6.4	2.3	5

## Chapitre 2 : Généralités sur la salinité

### 2.1 Définitions du stress

Le terme stress désigne un facteur de l'environnement induisant une contrainte potentiellement néfaste sur un organisme vivant (Levitt, 1980 in Ben Kaddour, 2014).

Le stress est le dysfonctionnement (rupture d'un équilibre fonctionnel) produit dans un organisme ou dans un système vivant, par exemple par une carence. Le stress est donc, un ensemble de conditions qui provoquent des changements des processus physiologiques résultant éventuellement des dégâts, dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement (Dutuit et *al.*, 1994 in Ben Kaddour, 2014).

Il ya deux types de stress :

-biotique : imposé par d'autre organismes (insectes, herbivores...).

-abiotique : provoqué par un défaut ou excès de l'environnement physico-chimique comme la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité... (Vincent, 2006).

### 2.2 Définition de la salinité

La salinité du sol et de l'eau constitue le problème majeur dans beaucoup des pays du monde. Elle est considérée comme le principal facteur abiotique qui limite la productivité végétale et le rendement agricole (Bouassaba et Chougui, 2018).

Les données actuelles se résument dans le bassin méditerranéen à 16 millions d'hectares de sols salés. L'Algérie se situe parmi les pays touchés, dont presque 3,2 millions d'hectares de la surface sont salins et dans les régions arides et semi arides, la salinité constitue une contrainte majeure à la productivité et au développement agricole (Benzahra et Snoussi, 2018).

### 2.3 Types de salinité

En général on distingue deux formes de salinité: Primaire et secondaire.

La salinité primaire résulte de l'accumulation des sels dans le sol à travers un long processus naturel de dégradation des roches salines et des apports éoliens des sels des mers et océans.

La salinité secondaire est d'origine anthropique, résultant des activités humaines, notamment l'irrigation avec des eaux chargées de sels (Munns et *al.*, 2006).

### **2.4 Effets de la salinité sur les plantes**

La salinité du sol ou de l'eau est causée par la présence d'une quantité excessive de sels. Généralement un taux élevé de Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> cause le stress salin.

Le stress salin a un triple effet: il réduit le potentiel hydrique, cause un déséquilibre ionique ou des perturbations en homéostasie ionique et provoque une toxicité ionique. Cet état hydrique altéré conduit à une croissance réduite et limitation de la productivité végétale. Depuis que le stress salin implique aussi bien le stress osmotique qu'ionique, l'arrêt de la croissance est directement relié à la concentration des sels solubles ou au potentiel osmotique de l'eau du sol.

Durant le début et le développement du stress salin à l'intérieur de la plante, tous les processus majeurs tels que : la photosynthèse, la synthèse des protéines, le métabolisme énergétique sont affectés. La première réponse est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, suivi par l'arrêt de l'extension avec l'intensification du stress (Parida et Das, 2005).

### **2.5 Effet de la salinité sur la germination**

La germination est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et en particulier par la disponibilité de l'eau dans le sol et la présence de sels (Gutterman, 1993 in Karoune, 2016). On peut considérer que la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée (Maillard, 2001 in Karoune, 2016)

Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence du sel, la variation de l'équilibre hormonal (Debez et *al*, 2001).

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

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

- Les effets toxiques : sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination,

empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination (Rejili et *al.*, 2006 in Karoune, 2016).

## **2.6 Stratégies d'adaptation à la salinité chez les plantes**

La réponse au sel des espèces végétales dépend de plusieurs variables, commençant par l'espèce même, de sa variété, aussi de la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement de la plante (Benidire et *al.*, 2015).

La plante exposée à la contrainte salin, déclenche des mécanismes de tolérance ou une réaction d'adaptation lui permettant de faire face à cette nouvelle situation et poursuivre sa croissance (Folwers, 2003). Parmi ces mécanismes :

### **2.6.1 La compartimentation vacuolaire**

Celle-ci consiste à évacuer du cytoplasme les ions  $\text{Na}^+$  en excès vers la vacuole afin d'éviter leur effet toxique et inhibiteur à l'encontre des processus enzymatiques. Ce mécanisme de compartimentation vacuolaire est assuré par l'action d'un antiport vacuolaire sodium/proton ( $\text{Na}^+/\text{H}^+$ ) dont l'énergie est fournie par les pompes à protons ATPases ( $\text{H}^+$  - adénosine triphosphatases) et PPases ( $\text{H}^+$  -pyrophosphatases) vacuolaires.

Grâce à ce processus de compartimentation de sodium au sein de la vacuole, la cellule parvient à maintenir une faible concentration de sodium dans le cytoplasme, minimisant ainsi son effet toxique; et d'autre part, l'augmentation concomitante de la concentration de sodium dans la vacuole va engendrer une forte pression osmotique qui va favoriser l'absorption d'eau et donc améliorer la turgescence des cellules.

Chez les plantes de type « incluser », les flux de sodium sont essentiellement ascendants, et le sel est accumulé dans les parties aériennes au niveau des vacuoles. Par contre, chez celles de type « excluser », la plus grande partie du sodium absorbé et véhiculé vers les feuilles est réexportée vers les racines via le phloème ou initialement stockée dans les racines (Hanana et *al.*, 2011).

### **2.6.2 Exclusion des ions toxiques**

L'autre stratégie permettant aux plantes de survivre en condition de stress salin consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. Dans ce cas, les plantes limitent l'entrée des éléments salins et les rejettent dans le compartiment apoplasmique.

L'exclusion commence avec la sélectivité de la membrane racinaire, ce qui peut résulter d'une réduction de la perméabilité passive, de la présence de transporteurs sélectifs et d'un transport vers le milieu extérieur des ions déjà absorbés.

L'exclusion du sodium est réalisée par l'action combinée d'une série de protéines de type SOS « salt overly sensitive », SOS1 qui est également un antiport  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  mais localisé au niveau de la membrane plasmique, joue un rôle primordial dans ce mécanisme d'exclusion de sodium vers le milieu extérieur.

D'autre part et afin de réduire l'accumulation de sodium au niveau de la partie aérienne de la plante, ce complexe protéique SOS interagit avec le transporteur HKT1 lui aussi situé sur la membrane plasmique et qui est responsable de la recirculation du sodium des feuilles vers les racines via le phloème (Hanana et *al.*, 2011).

### **2.6.3 Ajustement osmotique**

L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence.

L'accumulation de ces composés a été mise en évidence chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline. Cette accumulation varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés (acides aminés libres, proline et sucres solubles totaux) entre les plantes témoins et les plantes soumises au stress salin sont très importantes (El Midaoui et *al.*, 2007 in Dadach, 2016).

## Chapitre 3 : Matériel et méthodes

### 3.1. Matériel expérimental

**Tableau 3.1.** Le matériel utilisé dans la présente expérimentation.

Matériel de laboratoire	Matériel végétale	Verreries	Réactifs
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bain marié - Etuve</li> <li>- Hôte biochimique</li> <li>- Micropipette (1000 <math>\mu</math>l, 200 <math>\mu</math>l et 250<math>\mu</math>l)</li> <li>- Boîtes de pétri - Vortex</li> <li>- Spatules - Pincés</li> <li>- Papier filtre - Papier aluminium</li> <li>- Agitateur - Barreau magnétique</li> <li>- Balance analytique</li> <li>- Spectrophotomètre</li> <li>- Incubateur pour culture végétale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Six variétés de quinoa :</li> <li>Q101</li> <li>Q102</li> <li>Q103</li> <li>Q104</li> <li>SAJAMA</li> <li>GIZA1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bécher (250 ml)</li> <li>- Tubes à essai</li> <li>- Eprouvette graduée (200 ml)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acide sulfurique (96%)</li> <li>- Ethanol à (80%)</li> <li>- Glucose</li> <li>- Phénol (5%)</li> <li>- Eau distillée.</li> <li>- NaCl</li> </ul>

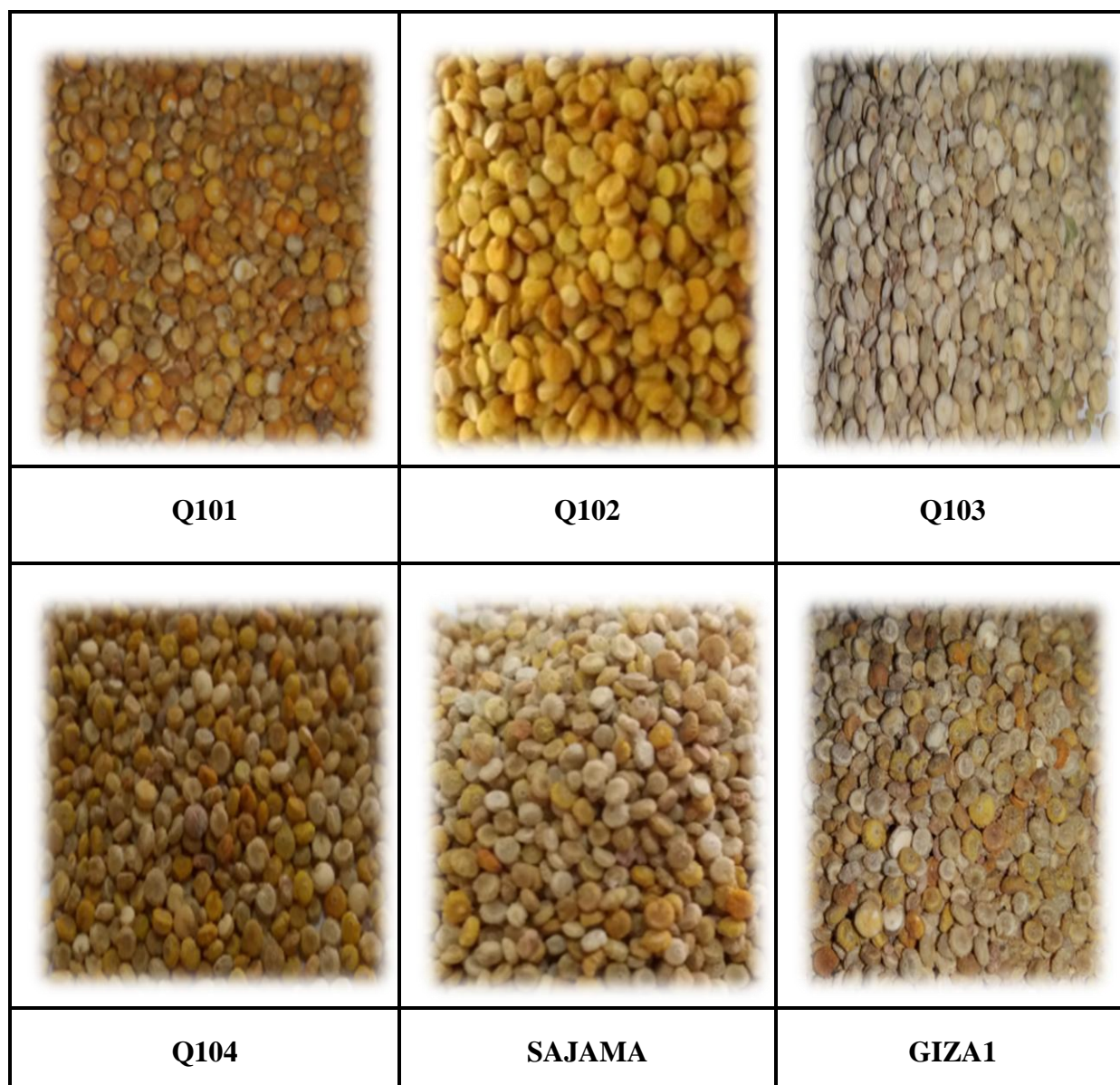


### 3.2 Matériel végétal

L'expérimentation est menée sur six 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, Q103, Q104, SAJAMA et GIZA1 (Figure3.1).

D'origine : Département de l'Agriculture des Etats-Unis (USDA)



**Figure 3.1.** Les graines des différentes variétés étudiées.



Les essais ont été conduits au laboratoire de biologie de l'université Mohamed Kheider de Biskra El-Hadjeb.

### **3.3 Mise en place de l'expérimentation et dispositif expérimental**

Le présent travail vise à déterminer les effets néfastes du NaCl sur la germination des graines de quinoa de six variétés introduites.

Les tests de germination ont été effectués sous différentes concentrations de chlorures de sodium (NaCl).

#### **Test de germination**

-Pour chaque variété, les graines au nombre de 25 ont été stérilisées par immersion dans de l'hypochlorite de sodium à 2% pendant 7 min puis rincées à l'eau distillée répétitivement.

-Elles ont ensuite étaient mise à germer dans des boîtes de Pétri (5cm) de diamètre contenant deux feuilles de papier filtre humidifiées avec 10 ml d'eau distillée (témoin), dans les autres cas, nous avons ajouté 10 ml de solution saline (10 g/L, 20 g/L, 30 g/L et 40 g/L de NaCl).

-Chaque traitement est effectué cinq fois.

-Les tests de germination ont été menés à l'obscurité dans un incubateur pour les cultures végétales réglé à 25°C pour une période de 8 jours.

-Les graines germées ont quotidiennement été comptées, enregistrées, en utilisant comme critère la saillie de radicule de 2 mm (Prado et *al.* 2000).

### **3.4 Les paramètres étudiés**

#### **3.4.1 Taux de germination final**

Ce paramètre constitue le meilleur moyen d'identification de la concentration saline qui présente la limite physiologique de germination des graines. Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur nombre total de graines mises à germer (Mrani Alaoui et *al.*, 2013).

### 3.4.2 Cinétique de la germination

Il s'agit de calculer chaque jour la vitesse de germination sous les différentes concentrations de salinité. Elle est exprimée par le nombre de graines germées à 7 jours après le début de l'expérience. C'est un paramètre qui permet de mieux appréhender la signification écologique du comportement germinatif des variétés étudiées. Ainsi que l'ensemble des événements qui commencent par l'étape d'absorption de l'eau par la graine et se terminent par l'élongation de l'axe embryonnaire et l'émergence de la radicule (Benidire et al., 2015).

### 3.4.3 Vitesse de germination

C'est le temps moyen nécessaire à la germination de 50 % des graines. Elle permet d'exprimer l'énergie de germination responsable de l'épuisement des réserves de la graine (Benidire et al., 2015).

La vitesse de germination peut s'exprimer par la durée médiane de germination ou par le temps moyen de germination (T50) (le temps au bout duquel on atteint 50% des graines germées).

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

T1 = le temps des graines germées dont la valeur est la plus proche de 50% par valeur inférieure.

T2 = le temps des graines germées dont la valeur est la plus proche de 50% par valeur supérieure.

G1 = pourcentage cumulé des graines germées dont la valeur est la plus proche de 50% par valeur inférieure.

G2 = pourcentage cumulé des graines germées dont la valeur est la plus proche de 50% par valeur supérieure (Mrani Alaoui et al., 2013).

### 3.4.4 Moyenne journalière de germination (MDG= Mean Daily Germination)

La MDG est le pourcentage de germination final sur le nombre de jours à la germination finale (Camara et al., 2018).

### **3.4.5 Réversibilité de l'action du sel**

Ce paramètre a l'avantage de déterminer l'origine de l'effet dépressif du sel, s'il est de nature osmotique et/ou toxique (Mrani Alaoui et *al.*, 2013).

Le test n'a concerné que les graines n'ayant pas germées dans les fortes concentrations salines (40g/l) après 8 jours d'incubation. Celles-ci, après rinçage répétitif à l'eau distillée, ont été retenues en germination dans d'autres boîtes de pétri contenant de l'eau distillée pendant deux jours supplémentaires. Ce genre de test a déjà été expérimenté par Hajlaoui et *al.*(2007).

### **3.4.6 Mobilisation des réserves**

C'est un phénomène qui est lié à la réhumidification des graines (disponibilité de l'eau pour la graine). Avec l'imbibition de celles-ci s'instaure un métabolisme actif qui est révélé par une respiration intense et une synthèse de nouvelles protéines servant à la croissance de la jeune plantule tout en utilisant les réserves de la graine.

Ce phénomène débute avec l'intervention d'enzymes dont l'action est déclenchée par des commandes hormonales venant en général de l'embryon.

La mobilisation des réserves est estimée indirectement par la mesure de la quantité de matière sèche résiduelle de la graine après 11 jours de germination (Benidire et *al.*, 2015)

## **3.5 Dosage des sucres solubles**

### **3.5.1 Principe de dosage des sucres solubles (mg /100mg MF)**

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode au phénol selon Dubois et *al.* 1956.

Le principe repose sur la réaction suivante : l'acide sulfurique concentré provoque, à chaud, le départ de plusieurs molécules d'eau à partir des oses.

Cette déshydratation s'accompagne par la formation d'un hydroxy-méthylfurfural (HMF) dans le cas d'hexose, et d'un furfural dans le cas d'un pentose.

Ces composés se condensent avec le phénol pour donner des complexes colorés (jaune-orangé).

L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration des oses (Benaouida. 2008).

### 3.5.2 Méthodologie de travail

- Elle consiste à prendre 100mg de matière fraîche, placées dans des tubes à essais.
- On ajoute 3 ml d'éthanol à 80% pour procéder à l'extraction des sucres.
- On laisse à température ambiante pendant 48h à l'obscurité.
- Au moment du dosage les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool.
- Dans chaque tube on ajoute 20 ml d'eau distillée à l'extrait, c'est la solution à analyser.
- Dans des tubes à essais propres, on met 2 ml de la solution à analyser.
- On ajoute 1 ml de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée).
- On ajoute rapidement 5 ml d'acide sulfurique concentré 96% tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube.
- On obtient, une solution jaune orange à la surface.
- On passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution.
- On laisse les tubes pendant 10 mn.
- On les place au bain-marie 10 à 20 mn à une température de 30°C (La couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures).

Les mesures d'absorbance sont effectuées à une longueur d'onde de 485 nm.

Des résultats des densités optiques sont rapportés sur un courbe étalon des sucres solubles (exprimés en glucose) voir l'annexe N°1.

### 3.6 Analyse statistique

Pour toutes les concentrations utilisées, chaque résultat correspond à la moyenne de cinq répétitions.

L'analyse de variance (ANOVA) est effectuée par la comparaison des moyennes est faite par le test (S-N-K) Student-Newman-Keuls basée sur la plus petite différence significative au seuil 5 % de probabilité d'erreur à l'aide de XLSTAT-Excel 2010.

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

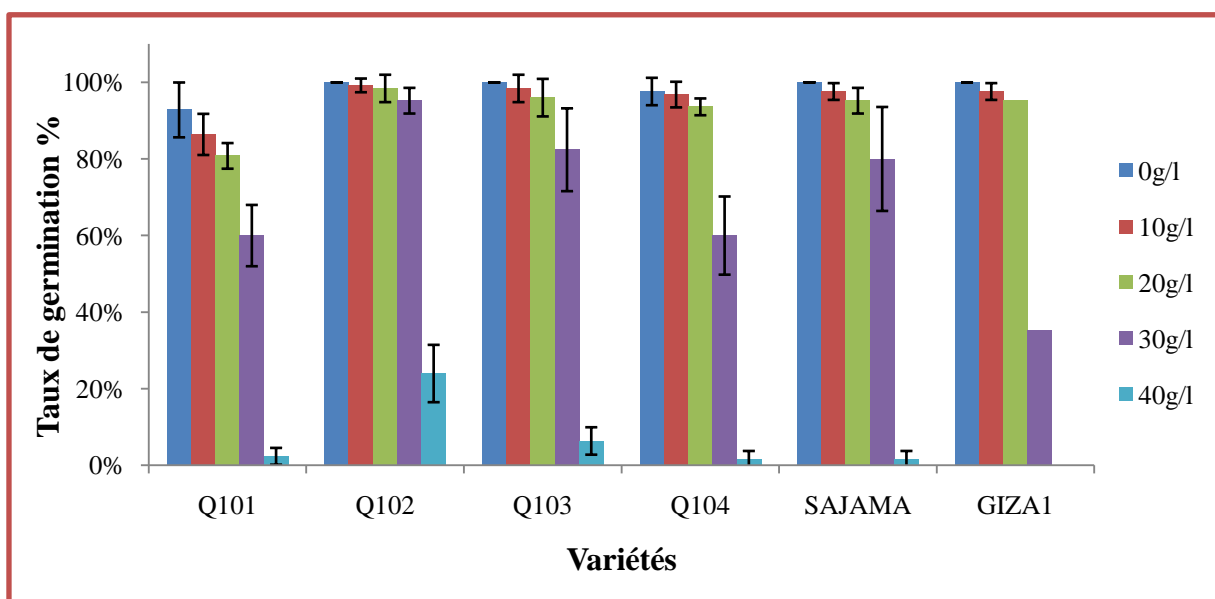
## Chapitre 4: Résultats et discussion

### 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, Q103, Q104, SAJAMA et GIZA1) en fonction de la concentration de NaCl.



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

En effet, elle montre que, quelle que soit la variété, la capacité germinative des graines stressées est réduite comparativement au témoin et ceci pour les quatre concentrations appliquées.

Dont :

Concernant les concentrations salin 10g/l et 20g/l, la variété Q101 montre des taux de germination 86.40% et 80.80% respectivement qui sont significativement différents du témoin (92.80%).

Alors que, les variétés Q102, Q103, Q104, SAJAMA et GIZA1 traitées par les concentrations 10g/l et 20g/l de NaCl, montrent des taux de germination qui ne sont plus ou moins proches du témoin.

Lorsque l'intensité du stress est élevée à 30g/l, toutes les variétés, montrent des réponses de capacité germinative qui oscille entre 35.20% et 82%. Ces dernières sont clairement au-dessous de témoin, à l'exception du génotype Q102 qui révèle un écartype interférant avec le groupe du témoin.

Lorsque la concentration atteint 40g/l toutes les variétés montrent des taux de germination (2.40%, 24%, 6.40%, 1.60%, 1.60%, 0%) très faibles par rapport aux témoins. Ce qui reflète une diminution très nette de la capacité germinative de tous les génotypes étudiés en condition de stress le plus sévère.

Il faut signaler que la variété Q102 est la plus résistante au stress salin, elle montre un taux de germination de 24% qui dépasse de loin le reste de l'ensemble des variétés étudiés dans ces conditions de stress (40g/l).

A fin de ressortir les différences significatives de l'effet des différents niveaux du stress salin appliqués sur l'ensemble des variétés de quinoa choisies, on a adopté un dispositif expérimental factoriel à randomisation total à deux facteurs dont :

Facteur 1 : l'effet variétal avec 6 modalités à savoir : Q101, Q102, Q103, Q104, SAJAMA et GIZA1.

Facteur 2 : l'effet de stress salin avec 5 niveaux à savoir : 0g/l, 10 g/l, 20 g/l, 30 g/l et 40 g/l de NaCl.

L'analyse ANOVA des résultats appliqué avec un seuil de probabilité d'erreur  $\alpha=0.05$ .

Cette analyse montre qu'il y a un effet hautement significatif des deux facteurs sur le taux de germination. Comme il est illustré sur le tableau 4.1.

**Tableau 4.1.** Analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs contrôlés du taux de germination.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	29	197904,640	6824,298	265,468	< 0,0001
Erreur	120	3084,800	25,707		
Total corrigé	149	200989,440			

La classification SNK des variantes du facteur effet de concentration (tableau 4.2.), a fait ressortir quatre groupes homogènes, dont le groupe (A) a compris les taux de germination estimés pour les doses 0 et 10 g/l. ce qui montre qu'il semble que le seuil de 10g/l est tolérable par l'ensemble des variétés.

Comparativement au témoin, vient ensuite les concentrations 20g/l, 30g/l et 40g/l qui sont ordonnées dans les groupes B, C et D respectivement. Ce qui reflète un effet inversement proportionnel des concentrations de NaCl sur les moyennes des taux de germination.

**Tableau 4. 2.** Classification des concentrations de NaCl appliquée sur les différentes variétés du quinoa étudiées en groupes homogènes, selon le test de SNK, pour le paramètre « Taux de germination ».

Doses	Moyennes estimées (taux de germination %)	Groupes homogènes
0 g/l	98,400	A
10 g/l	96,000	A
20 g/l	93,200	B
30 g/l	68,800	C
40 g/l	6,000	D

Le tableau 4.3, classe les variétés du quinoa étudiés en groupes homogènes selon les moyennes estimées, il montre que la variété Q102 est significativement la meilleure (groupe A). Comparativement aux cinq autres variétés, viennent ensuite les variétés Q103 et SAJAMA classées en (B). Puis la variété Q104 classé en (C). Par contre les variétés GIZA1et Q101 se classent dans le dernier groupe (D), comme les plus sensibles au stress salin.

**Tableau 4.3.** Classification des variétés du quinoa étudiées en groupes homogènes, selon le test SNK, pour le paramètre « Taux de germination ».

Variétés	Moyennes estimées (taux de germination %)	Groupes homogènes
----------	----------------------------------------------	-------------------

Q102	83,360	A
Q103	76,640	B
SAJAMA	74,880	B
Q104	69,920	C
GIZA1	65,600	D
Q101	64,480	D

A fin de comparer les capacités germinatives des différentes combines entre les variétés de quinoa étudiées et les différentes concentrations de NaCl (g/l) appliquées. Nous avons analysé la variance de l'interaction reportée dans le tableau 4.4.

On remarque que, le potentiel germinatif extra ordinaire de la variété Q102 a permis de classé même son taux de germination enregistré sous 30g/l au premier groupe A. Ce qui montre la haute tolérance de cette variété au stress salin. La distinction de cette variété par rapport aux autres, se continue même au traitement 40g/l avec son classement exclusif au groupe homogène avant dernier (E).

Donc, quel que soit la variété la germination est bien meilleure en l'absence de sel, et elle diminue à mesure que la concentration de sel augmente.

**Tableau 4.4.** Variation de la capacité germinative des variétés de quinoa étudiées pour les différentes concentrations de NaCl (g/l).

V NACL	Q101	Q102	Q103	Q104	SAJAMA	GIZA1
<b>0G/L</b>	92,8 <b>A</b>	100 <b>A</b>	100 <b>A</b>	97,6 <b>A</b>	100 <b>A</b>	100 <b>A</b>
<b>10G/L</b>	86,4 <b>B</b>	99,2 <b>A</b>	98,4 <b>A</b>	96,8 <b>A</b>	97,6 <b>A</b>	97,6 <b>A</b>
<b>20G/L</b>	80,8 <b>B</b>	98,4 <b>A</b>	96 <b>A</b>	93,6 <b>A</b>	95,2 <b>A</b>	95,2 <b>A</b>
<b>30G/L</b>	60 <b>C</b>	95,2 <b>A</b>	82,4 <b>B</b>	60 <b>C</b>	80 <b>B</b>	35,2 <b>D</b>
<b>40G/L</b>	2,4 <b>F</b>	24 <b>E</b>	6,4 <b>F</b>	1,6 <b>F</b>	1,6 <b>F</b>	0 <b>F</b>

Les moyennes affectées de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de probabilité de 0,05 (Test de Student Newman Keuls).



#### 4.1.2 Cinétique de germination

Pour les différents niveaux de salinité ont été tracées en fonction du temps les courbes de l'évolution de germination des six variétés étudiées du quinoa, illustrant dans la figure 4.2.

Les résultats montrent que les courbes relatives aux taux de germination des graines traitées (stressées) sont situées au-dessous de celles des courbes témoins et se diminuent jusqu'à se rapprocher du zéro au fur et à mesure que la dose de NaCl augmente.

Les courbes de germination permettent de distinguer 3 phases :

- Une phase de latence, au cours de laquelle le taux de germination reste faible. La durée de cette phase est variable selon la concentration de NaCl. Elle est courte (1 jour) chez les témoins et les traitements 10 et 20 g/L de NaCl pour les six variétés. Pour le traitement 30 g/L, cette phase devient plus au moins longue et peut atteindre 2 jours chez la variété GIZA 1. Au traitement 40g/l de NaCl la phase de latence s'étend et peut aller jusqu'à 4 jours pour Q104.

-Une phase sensiblement linéaire : correspondant à une augmentation rapide du taux de germination qui évolue proportionnellement au temps, pour les graines témoins et les graines soumises aux concentrations de 10 g/L, 20g/L et 30 g/L.

Pour la concentration 40 g/L, cette phase est nulle pour GIZA1, et très courte pour les autres variétés, ce qui explique le taux de germination réduit dû à l'effet inhibiteur du sel.

-Une troisième phase correspondant à un palier représentant le pourcentage final de germination et traduisant la capacité germinative de chaque variété pour chaque concentration.

Il paraît que cette capacité germinative diminue pour toutes les variétés étudiées mais avec des degrés différents, selon l'espèce et le stress appliqué.

Enfin, on remarque que la variété Q102 évolue plus rapidement que les autres variétés, et s'enregistre comme étant la plus tolérante au sel, alors que la variété la plus sensible est GIZA1. Les autres variétés ont un comportement intermédiaire.

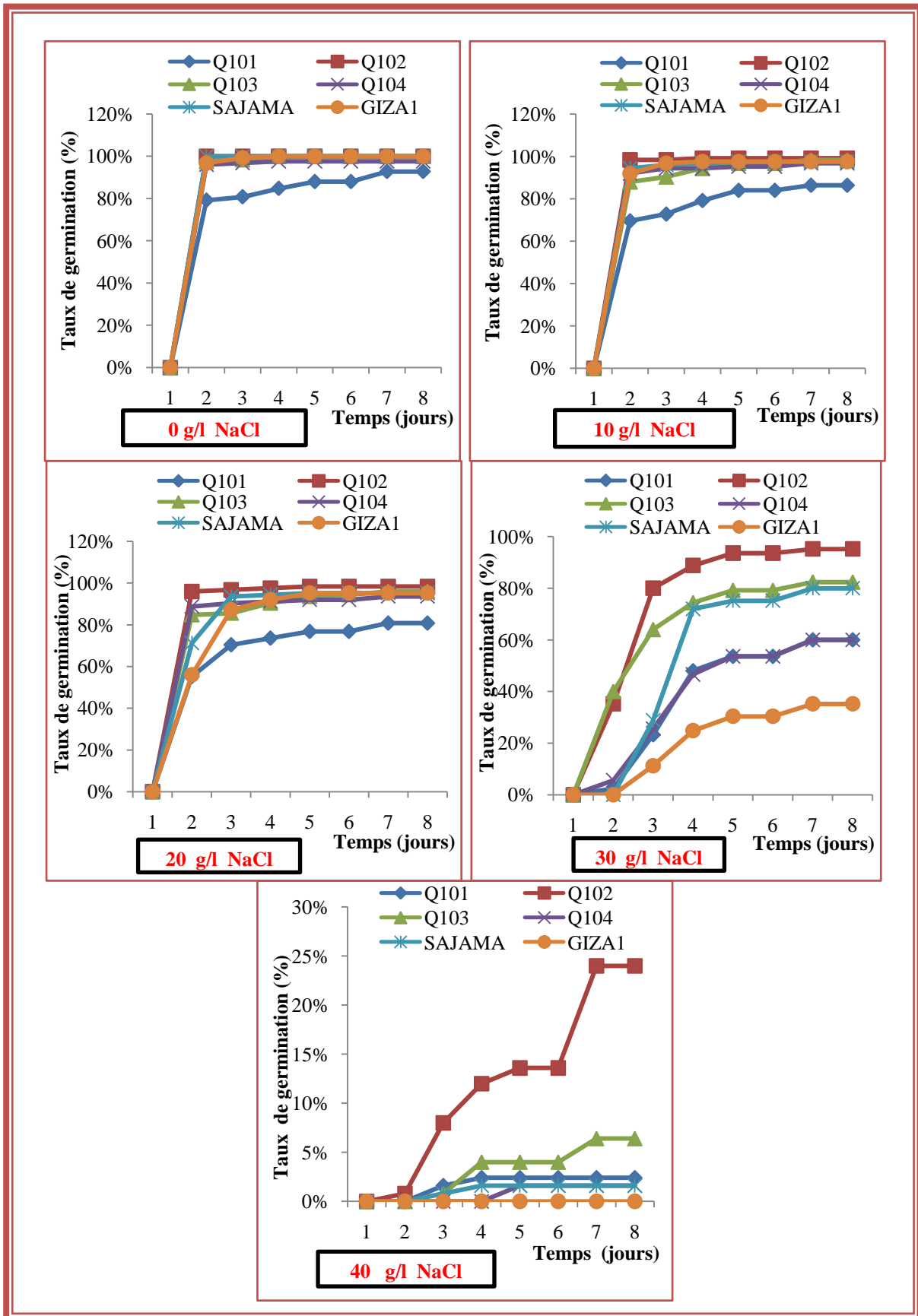
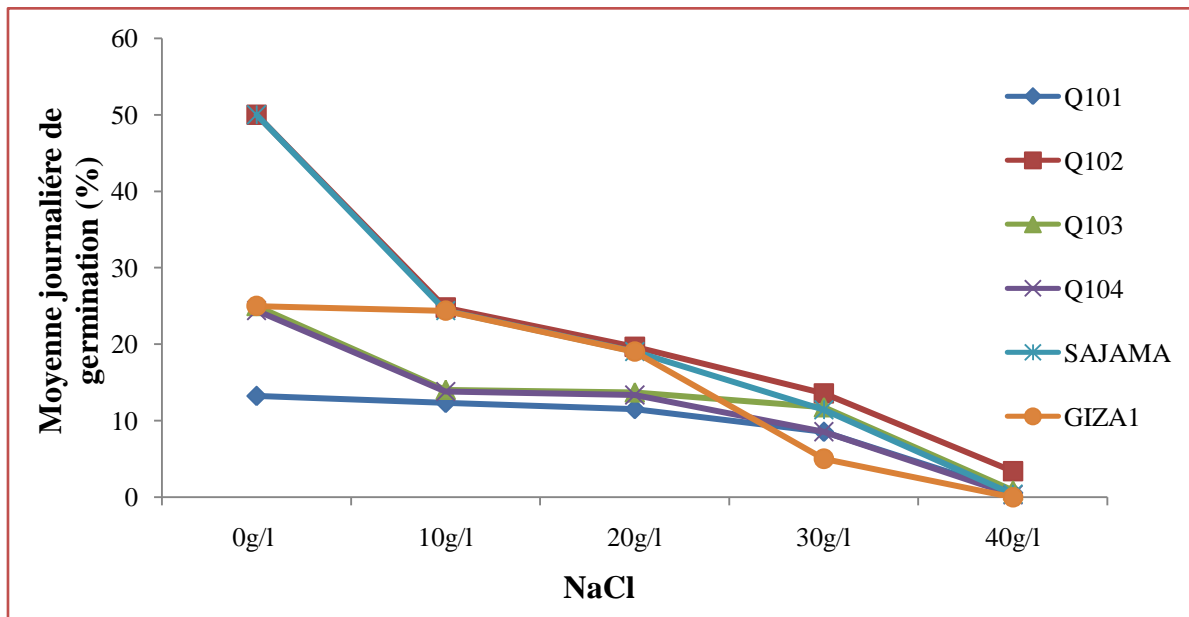


Figure 4.2. Effets de différentes concentrations de NaCl sur la cinétique de germination des six variétés de Quinoa étudiée.

### 4.1.3 Moyenne journalière de germination

L'examen des courbes de la figure 4.3 montre que la moyenne journalière de germination varie distinctement avec les niveaux de salinité. Il est important de noter que pour toutes les variétés étudiées, l'augmentation de la concentration en NaCl provoque une diminution de la MDG. Car la MDG commence maximale en l'absence de sel et diminue en fonction des doses croissantes de sel.



**Figure 4.3.** Effets de différentes concentrations de NaCl sur la moyenne journalière de germination des variétés de quinoa étudiées.

En effet, les résultats de notre travail qui sont illustrés dans le tableau 4.5 montrent l'existence d'un effet hautement significatif de la salinité sur le taux de germination journalière quel que soit le génotype étudié salinité dépend le génotype étudié.

**Tableau 4.5.** Analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs contrôlés pour la moyenne journalière de germination.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	29	23856,334	822,632	18,500	< 0,0001
Erreur	60	2668,037	44,467		
Total corrigé	89	26524,371			

Le tableau 4.6, Classe les variétés étudiées du quinoa par l'homogénéité selon les moyennes estimées, il montre que la variété Q102 est significativement le meilleur groupe (A). Comparativement aux 5 autres variétés, vient ensuite les variétés SAJAMA et Q104 en (B et BC respectivement). Puis les variétés Q103 et GIZA1 se classent en (C). Par contre la variété Q101 constitue le dernier groupe (D), comme étant la plus sensible au stress salin.

**Tableau 4.6.** Classification des variétés de quinoa en groupes homogènes selon le test de SNK pour le paramètre « MDG »

<b>Modalités</b>	<b>Moyennes estimées (MDG)</b>	<b>Groupes</b>
<b>Q102</b>	31,317	A
<b>SAJAMA</b>	26,394	B
<b>Q104</b>	23,562	BC
<b>Q103</b>	19,101	C
<b>GIZA1</b>	17,873	C
<b>Q101</b>	9,322	D

Il apparait de la lecture de tableau 4.7 que la MDG du témoin est significativement la meilleure et la plus élevée, comparativement aux concentrations vient ensuite la concentration 10g/l qui constitue une classe homogène différente et moins élevée par rapport au témoin, puis la concentration 20g/l représentée par une moyenne faible par rapport aux concentrations précédentes. Puis La moyenne du MDG de la concentration 30 en groupe (D). Enfin la moyenne du MDG de concentration 40g/l est la plus faible et forme un groupe à part.

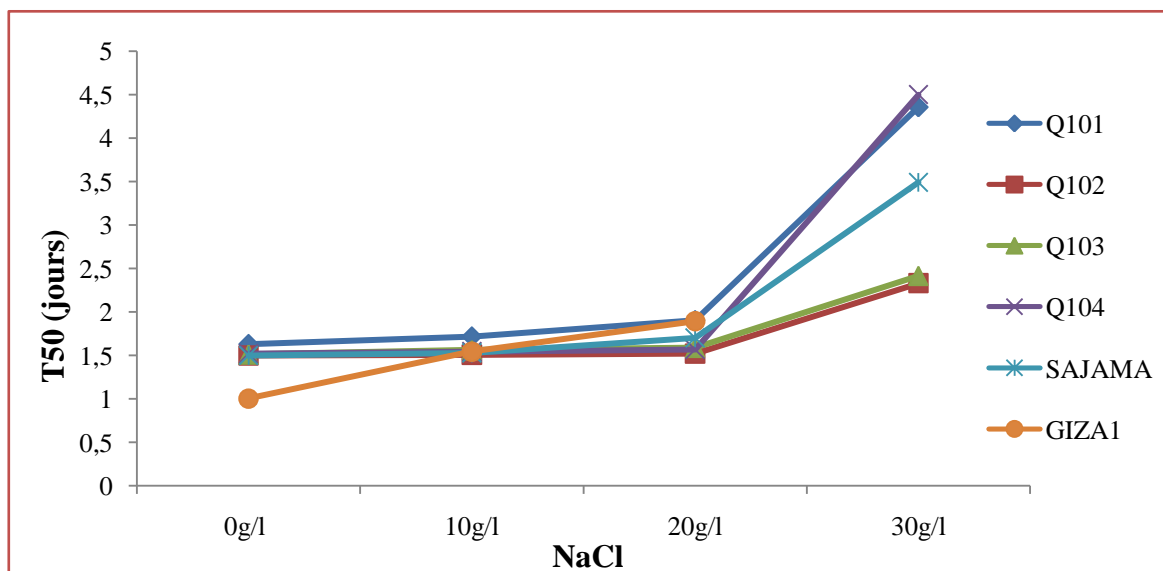
**Tableau 4.7.** Classification des doses de NaCl appliquées sur les variétés de quinoa en groupes homogènes selon test de SNK pour le paramètre « MDG »

Doses	Moyennes estimées MDG	Groupes
0	39,178	A
10	29,849	B
20	24,808	C
30	11,614	D
40	0,857	E

Les résultats d'effet d'interaction des deux facteurs (la dose et la variété) sur la moyenne journalière de germination MDG : voire l'annexe 02.

#### 4.1.4 Temps moyen de germination (t50)

La figure 4.4. Présente la vitesse de la germination des six variétés de quinoa exprimée par le temps moyen de germination (TMG) correspond à la germination de 50% du lot de graines en présence des différentes concentrations de NaCl.



**Figure 4.4.** Effets des différentes concentrations de NaCl (g/L) sur le temps moyen de germination (T50) des six variétés de quinoa étudiées.

Il apparait de la lecture de cette figure, que le TMG quel que soit la variété étudiée augmente et se traduit par une diminution de la vitesse de germination proportionnelle à l'augmentation de la concentration de NaCl.

Des différences de réponses légères entre les variétés en fonction des différentes concentrations (10g/l et 20g/l) par rapport aux témoins sont observées. Dont le T50 est peu modifié, mais ne dépasse pas 2 jours. Cependant, pour la concentration plus élevée de 30g/l, une augmentation remarquable peut atteindre jusqu'à 4 jours et 12 heures.

Ainsi, l'augmentation de la concentration de NaCl ralentit la vitesse de germination des graines des différentes variétés étudiées. Cependant, ce ralentissement varie d'une variété à une autre. La variété Q102 ressort comme ayant les premières germinations en présence de sel. En revanche GIZA1 est la plus précoce en absence de sel.

L'analyse de la variance a mis en évidence d'effet très hautement significatif de la variation des variétés et des doses de sel sur le T50 de quinoa (tableau 4.8).

**Tableau 4.8.** L'analyse de variance de deux facteurs contrôlés pour le temps moyen de germination.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
<b>Modèle</b>	29	8758,548	302,019	2038,786	<b>&lt; 0,0001</b>
<b>Erreur</b>	119	17,628	0,148		
<b>Total corrigé</b>	148	8776,176			

Les résultats de classement des différentes variétés en des groupes homogènes, sous la différence des moyennes estimées, présentés dans le tableau 4.9 montrent que les meilleures variétés sont le Q102 et le Q103 avec les plus faibles moyennes. Cela signifie qu'elles germent rapidement comparativement aux autres variétés du deuxième groupe (B) et du troisième groupe (C).

**Tableau 4.9.** Classification des variétés en des groupes homogènes selon les moyennes estimées.

Modalité	Moyennes estimées (T50)	Groupes
<b>Q102</b>	5,372	<b>A</b>
<b>Q103</b>	5,462	<b>A</b>
<b>SAJAMA</b>	5,735	<b>B</b>
<b>Q104</b>	5,907	<b>B</b>
<b>Q101</b>	5,984	<b>B</b>
<b>GIZA1</b>	9,018	<b>C</b>

A partir le résultat de tableau 4.10 qui présente les classes des doses, Il apparaît que les doses 10g/l et 20g/l se classent au groupe A, et sont pas significativement différentes du témoin. Suivie par la dose 30g/l au groupe B et en fin la dose 40 g/l classé au dernier groupe C.

**Tableau 4.10.** Classification des doses appliquées en des groupes homogènes selon les moyennes estimées.

Modalités	Moyennes estimées (TMG)	Groupes
<b>0</b>	1,513	<b>A</b>
<b>10</b>	1,551	<b>A</b>
<b>20</b>	1,699	<b>A</b>
<b>30</b>	6,414	<b>B</b>
<b>40</b>	20,055	<b>C</b>

Il apparait de la lecture de la figure 4.11 que le TMG quel que soit la variété étudié augmente significativement avec l'augmentation de la concentration de NaCl, d'une façon différente entre les variétés par rapport aux témoins et conduit à une diminution de la vitesse de germination.

Dans les basses concentrations (10 g/l et 20 g/l) toutes les variétés se rejoignent aux témoins le meilleur groupe (A). Des différences remarquables dans le classement des six

variétés à la concentration 30g/l sont enregistrées. Cependant aucune différence significative entre les variétés à la concentration 40g/l, n'est à signaler.

En effet, les résultats de notre travail qui sont illustrés dans la figure 4.5 et le tableau correspondant ci-dessous montre l'existence d'un effet très hautement significatif de salinité sur le TMG, quel que soit le génotype étudié.

**Tableau 4.11.** Variation du temps moyen de germination (T50) des variétés de quinoa étudiées pour les différentes concentrations de NaCl (g/l).

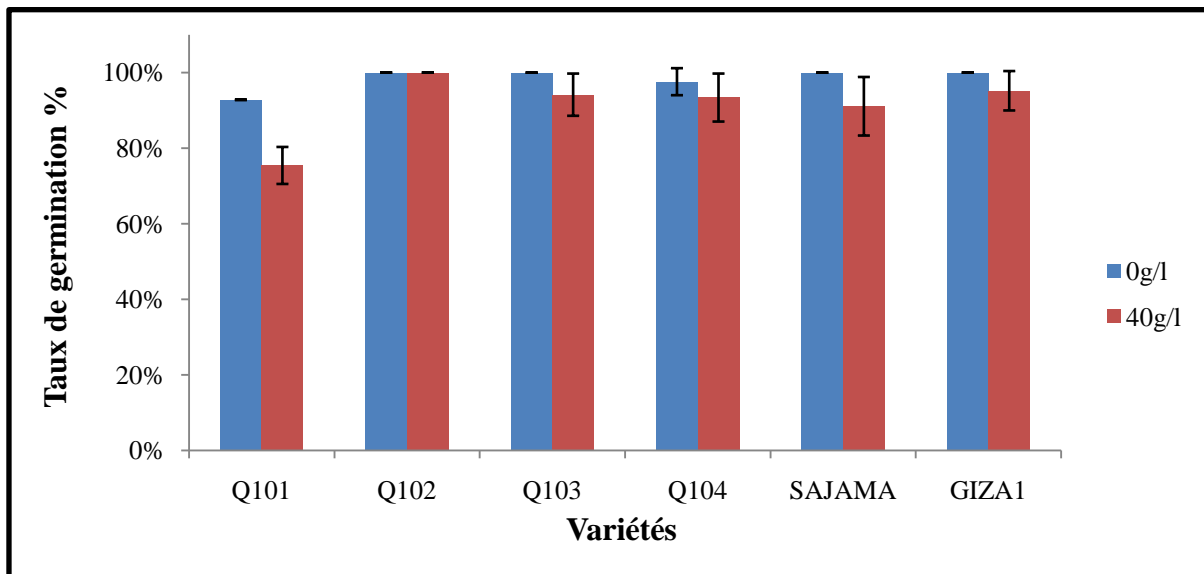
Variétés	Concentration (g/l)				
	0g/l	10g/l	20g/l	30g/l	40g/l
<b>Q 101</b>	1,620 ± 0,173 <b>A</b>	1,706 ± 0,173 <b>A</b>	1,929 ± 0,173 <b>A</b>	4,620 ± 0,173 <b>D</b>	20,048 ± 0,173 <b>E</b>
<b>Q102</b>	1,483 ± 0,173 <b>A</b>	1,492 ± 0,173 <b>A</b>	1,505 ± 0,173 <b>A</b>	2,336 ± 0,173 <b>AB</b>	20,046 ± 0,173 <b>E</b>
<b>Q103</b>	1,496 ± 0,173 <b>A</b>	1,548 ± 0,173 <b>A</b>	1,575 ± 0,173 <b>A</b>	2,645 ± 0,173 <b>B</b>	20,047 ± 0,173 <b>E</b>
<b>Q104</b>	1,510 ± 0,173 <b>A</b>	1,532 ± 0,173 <b>A</b>	1,552 ± 0,173 <b>A</b>	4,806 ± 0,173 <b>D</b>	20,133 ± 0,173 <b>E</b>
<b>SAJAMA</b>	1,469 ± 0,173 <b>A</b>	1,499 ± 0,173 <b>A</b>	1,677 ± 0,173 <b>A</b>	4,030 ± 0,173 <b>C</b>	20,003 ± 0,173 <b>E</b>
<b>GIZA1</b>	1,501 ± 0,173 <b>A</b>	1,528 ± 0,173 <b>A</b>	1,955 ± 0,173 <b>A</b>	20,049 ± 0,173 <b>E</b>	20,054 ± 0,173 <b>E</b>

Les valeurs dans la même colonne avec des lettres différents sont significativement différentes ( $p \leq 0.05$ ).

#### 4.1.5 Réversibilité de l'action du sel

Les paramètres étudiés précédemment montrent que le sel exerce, à forte dose (40 g/l), un effet dépressif sur la germination des graines des six génotypes du quinoa étudiés. Cette inhibition peut être osmotique et/ou toxique. Dans la mesure où elle est d'origine osmotique, on devrait s'attendre à une reprise de la germination après levée de cette contrainte. Par contre, si des phénomènes de toxicité ionique interviennent, on peut prévoir l'absence de cette reprise de germination. On peut confirmer ça avec le test de réversibilité.





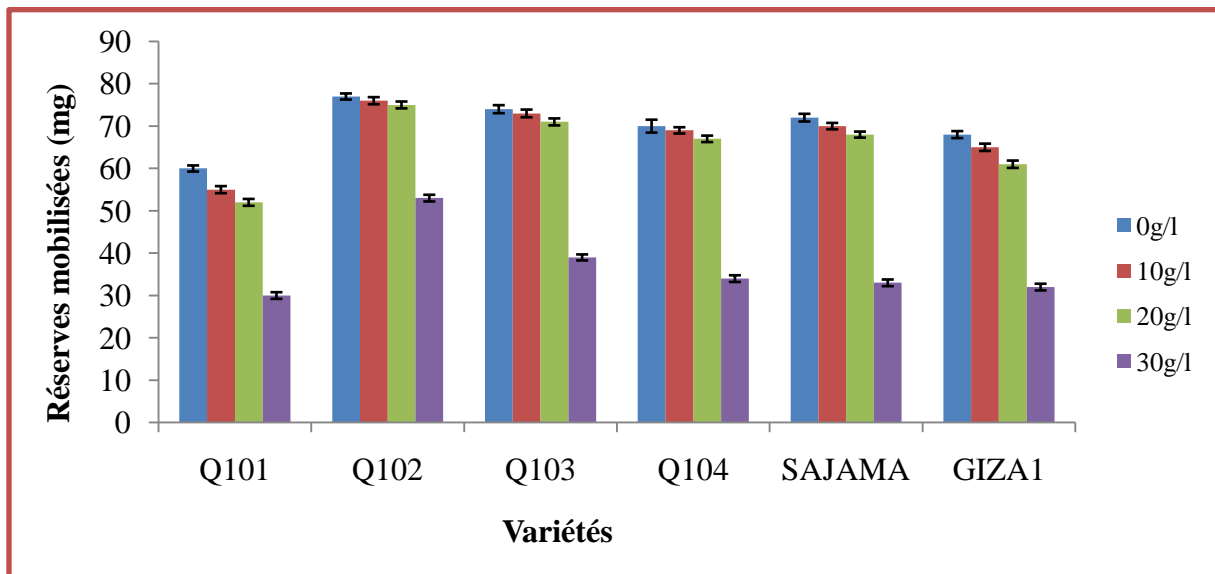
**Figure 4.5.** Taux de germination des graines des six variétés de quinoa mises à germer directement au milieu témoin non salé, en comparaison avec la germination des graines mises à germer dans l'eau distillée, après un prétraitement avec une solution de NaCl de 40 g/L.

La figure 4.5. Présente les résultats de test de réversibilité de l'effet du NaCl à la concentration 40 g/L durant une période de 3 jours. Ces résultats montrent que le transfert des graines non germées de la concentration 40g/L à l'eau distillée est suivi d'une reprise de la germination par rapport aux témoins. Avec des capacités germinatives moindres par rapport à celles obtenues chez les graines témoins. Exception fait pour le Q102 qui atteint un pourcentage élève égale à 100%. La capacité germinative reste faible que celle obtenue chez les graines témoins (75.43%, 94.16%, 93.40%, 91.10% 95.20% respectivement).

Ceci indique que toutes les variétés ont montré une certaine réversibilité de l'effet dépressif de NaCl, ce qui révèle probablement des effets d'ordre osmotique pour toutes les variétés étudiée.

#### 4.1.6 Effet de la salinité sur la mobilisation des réserves

La mobilisation des réserves des graines est une étape essentielle dans la germination dans la mesure où elle permet de soutenir la croissance de la plantule pendant les premiers stades de son développement. La sensibilité de cette phase au stress salin peut être appréciée par la vitesse d'épuisement des réserves des graines. La figure 4.6 représente l'effet de la salinité sur la mobilisation de ces réserves estimée par la quantité de réserves mobilisées de la graine après 11 jours de germination.



**Figure 4.6.** Effet des différentes concentrations en NaCl sur la mobilisation des réserves après 11 jours de germination des graines de quinoa.

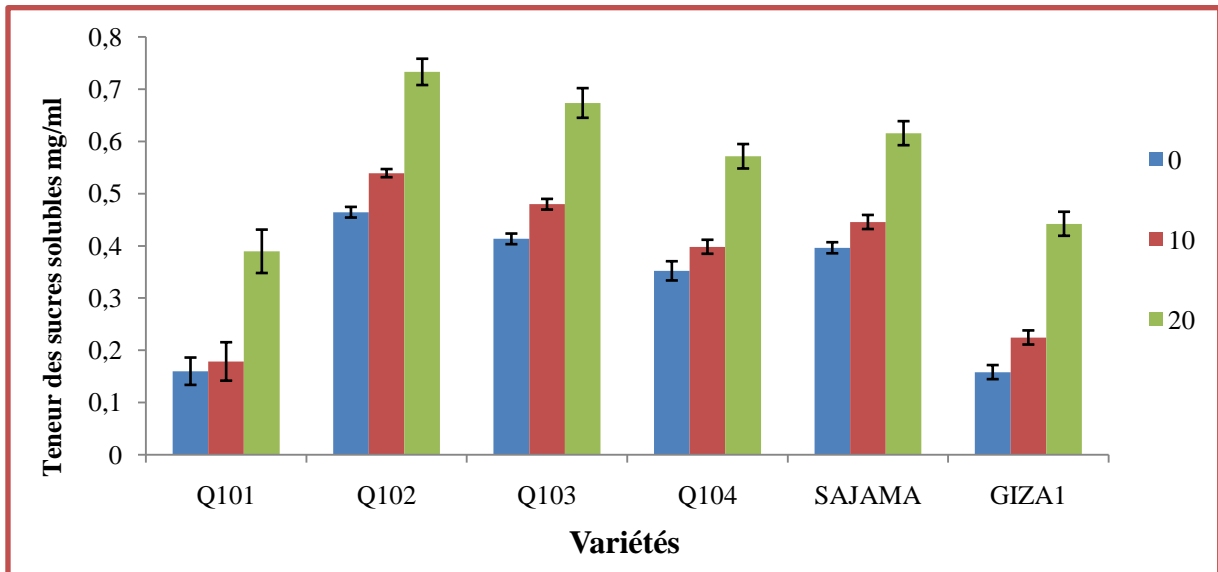
Pour le témoin, la masse des réserves mobilisées des graines est grande et différente entre les génotypes. Elle varie entre 60 mg et 77 mg. Chez tous les génotypes, la masse de réserves mobilisées des graines en germination est décroissante en présence de chlorure de sodium que sur les milieux témoins, ce qui suggère que le sel exerce un effet dépressif sur la mobilisation des réserves. C'est ainsi qu'aux concentrations 10 et 20g/l de NaCl, la masse de réserves mobilisées des graines reste, presque voisine de la valeur de son témoin. On remarque qu'au niveau de traitement (40 g/l), la masse des réserves mobilisées devient basse et différente entre les génotypes. Elle varie entre 30 mg et 53 mg.

Il faut signaler que le Q102 présente la plus grande valeur de réserves mobilisées

#### 4.1.7. Quantification de dosage de sucres solubles

Les résultats de la figure 4.7 montrent des variations de pourcentages des teneurs en sucres solubles analysées dans les parties aériennes des jeunes plantules des six variétés de quinoa, en fonction des différentes concentrations NaCl. Il est à noter que les sucres solubles s'accumulent beaucoup plus chez les plantules ayant reçu la solution saline, dont les teneurs varient selon la concentration en NaCl.

L'accumulation des sucres est très remarquable pour les fortes doses 20g/l, où est enregistrée la valeur la plus élevée (3.66 mg/l/20mg MF), chez le Q102. Par contre la variété stressée Q101 a marqué une valeur minimale de (1.94 mg/l/20mgMF) par rapport aux autres concentrations.



**Figure 4.7.** Teneurs en sucres solubles des parties aériennes des six variétés de quinoa sous conditions de stress salin

Les résultats des marqueurs biochimiques obtenus ont fait l'objet d'une analyse ANOVA à deux facteurs dont :

Facteur 1 : la variété avec 6 modalités à savoir (Q101, Q102, Q103, Q104, SAJAMA et GIZA1).

Facteur 2 : la dose avec 3 niveaux à savoir (0g/l, 10 g/l et 20 g/l de NaCl). Pour comparer le comportement de chaque variété selon les traitements salin appliqué (Tableau.4.12).

Ces résultats indiquent que les deux facteurs contrôlés ont un effet très hautement significatif sur évolution de sucres solubles.

**Tableau 4.12.** Analyse de la variance à deux facteurs contrôlés pour les teneurs de sucres solubles chez les jeunes plantules des six variétés de quinoa.

source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	17	1,450	0,085	193,018	< 0,0001
Erreur	36	0,016	0,000		
Total corrigé	53	1,466			

L'analyse des résultats de tableau 4.13, représentant le classement des variétés en groupes homogènes selon les moyennes estimées des sucres solubles, montre que la variété Q102 est significativement le meilleur groupe (A).

**Tableau 4.13.** Classement des variétés en groupes homogènes par le test S-N-K pour les teneurs des sucres solubles

<b>Modalité</b>	<b>Moyennes estimées (Teneurs des sucres solubles)</b>	<b>Groupes</b>
<b>Q102</b>	0,579	A
<b>Q103</b>	0,522	B
<b>SAJAMA</b>	0,486	C
<b>Q104</b>	0,441	D
<b>GIZA 1</b>	0,275	E
<b>Q101</b>	0,243	F

L'analyse des résultats illustrés dans le tableau 4.14, montre qu'il y a des différences significatives entre les doses appliquées. Dont la concentration 20 g/l signifié la meilleure groupe (A)

**Tableau 4.14.** Classement des doses salines en groupes homogènes par le test S-N-K.

<b>Modalité</b>	<b>Moyennes estimées (Teneurs des sucres solubles)</b>	<b>Groupe</b>
<b>20</b>	0,571	A
<b>10</b>	0,378	B
<b>0</b>	0,324	C

Les résultats d'effet d'interaction des deux facteurs (la dose et la variété) sur la teneur des sucres solubles (voire l'annexe 03).

## 4.2 Discussion

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

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 (Hajlaoui et *al.*, 2007).

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 des variétés étudiées (camara et *al.*, 2018 in Ben Naceur, 2001).

Suite aux résultats obtenus, nous avons montré que la concentration de NaCl dans les milieux influe sur le comportement germinatif qui se traduit par une diminution du taux de germination final.

Des résultats similaires comparables ont été abordés aussi chez différents auteurs sur le quinoa (Prado et *al.*, 2000) sur l'orge (kadri et *al.*, 2009 ; Adjel et *al.*, 2013 ;Djerah et Oudjehih, 2015 ) sur différentes variétés d'haricot (Cokkizgin, 2012) sur le pois chiche (Hajlaoui et *al.*, 2007) la fève (Benidire et *al.*, 2015) et les graines de Ricinus communis L. (Diallo et *al.*, 2013).

La diminution du taux de germination final correspond soit à une augmentation de la pression osmotique externe, ce qui affecte l'absorption de l'eau par les graines et/ou bien à une accumulation des ions Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> dans l'embryon (Groome et *al.*, 1991). Cet effet toxique peut conduire à l'altération des processus métaboliques de la germination et dans le cas extrême à la mort de l'embryon par excès d'ions (Hajlaoui et *al.*, 2007).

Toutefois le quinoa reste plus résistant au stress salin, en fonction des concentrations étudiées.

En effet, l'étude de Rjeibi et *al.* (2015) sur l'effet de l'irrigation des eaux salées sur une culture de quinoa montre que les graines de quinoa sont capables de germer dans un milieu enrichi en sel. Ces résultats sur le quinoa sont en accord avec Brakez et *al.* (2013) dans le sens

où le quinoa peut germer dans cette condition de stress élevé. Cette capacité de germination en présence de sel a été expliquée par Koyro et Eisa (2008) par le fait 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.

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).

D'après Ben-Miled *et al.* (1986) cité par (Camara *et al.*, 2018) ce retard peut être expliqué par le temps nécessaire à la graine pour mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne. Alors que Ghrib *et al.* (2011) toujours in (Camara, 2018) ont expliqué que ce retard pourrait être dû à l'altération des enzymes et des hormones qui se trouvent dans la graine.

D'autres études ont montré également que l'augmentation de la concentration du sel retarde la germination (Askri *et al.*, 2007), et réduit le pourcentage final de germination (Othman *et al.*, 2006 ; Askri *et al.*, 2007 ; Bouda et Haddioui, 2011; Mrani Alaoui *et al.*, 2013 ; El Goumi, 2014). Cette diminution est due selon Othman *et al.* (2006), à la réduction de l'utilisation des réserves des grains. Par ailleurs, 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.

La variation des capacités germinatives associée au temps moyen et au taux moyen de germination des graines permettent de bien discriminer les espèces quant à leur tolérance et (ou) sensibilité au sel au cours de la germination (Camara *et al.*, 2018 in Ghrib *et al.*, 2011).

Les résultats de l'étude de Mrani Alaoui *et al.* (2013) et Les travaux de Bayuelo-Jiménez *et al.* (2002) sur *Phaseolus* et ceux d'Okçu *et al.* (2005) sur des cultivars de petits pois, ont démontré que le temps moyen de germination des graines a augmenté avec l'ajout de NaCl et cette augmentation a été d'autant plus importante que la concentration en sel est élevée. Ceci corrobore encore une fois avec nos résultats.

Cependant, Cokkizgin (2012) a trouvé que, tous les paramètres de germination examinés chez le haricot diminuent significativement avec l'augmentation de la concentration en NaCl sauf le temps moyen de germination qui reste comparable à celui du témoin.

Selon Mrani Alaoui et al. (2013), la vitesse de germination des variétés de blé étudiées est en effet, fortement touchée et elle diminue avec l'augmentation de la concentration du NaCl. Ceci corrobore encore une fois avec nos résultats.

Le retard de la germination des graines ainsi que la diminution de la moyenne de germination journalière de l'ensemble des génotypes avec l'augmentation de la concentration saline est expliqué par le temps nécessaire à la graine de mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne (Bliss et *al.*, 1986 in Hajlaoui et *al.*, 2007).

La salinité peut se manifester par deux effets : osmotique qui est réversible et/ou toxique qui est irréversible. La présence de doses élevées en NaCl entraîne la diminution du potentiel osmotique du milieu, cela peut retarder ou empêcher l'absorption de l'eau nécessaire pour la germination (Mirmazloum et *al.*, 2010 in Benidire et *al.*, 2015 ).

Les expériences de transfert sur milieu témoin des graines après prétraitement avec du NaCl sont conduites pour déterminer l'origine de l'effet dépressif de la salinité sur la germination. Dans la présente étude, les graines de la variété Q102 ont toutes germées contrairement aux autres qui cependant ont affiché un pouvoir germinatif moindre mais se rapprochant des témoins. Ceci nous amène à conclure, que le sel a un effet osmotique sur la germination des graines de quinoa.

Aussi une forte concentration en chlorure de sodium peut entraîner l'accumulation des ions de Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> dans l'embryon, et contribue ainsi à l'altération des processus métaboliques de la germination voir même à la mort de l'embryon par excès d'ions (Hajlaoui et *al.*, 2007).

La réversibilité de la réponse au sel a été démontrée dans plusieurs travaux et chez plusieurs espèces. Elle s'observe aussi chez le blé (dure et tendre) (Mrani Alaoui et *al.*, 2013) pois chiche (Hajlaoui et *al.*, 2007).

La mobilisation des réserves dépend de l'activation des enzymes hydrolytiques. Ces réserves, chez le pois chiche, sont majoritairement de nature glucidique (Khemiri, 2004) sont hydrolysées par l' $\alpha$ -amylase en sucres solubles et sont soumises à la plantule pour les besoins de sa croissance (Groome, 1991). L'effet de NaCl peut s'exercer sur l'activité enzymatique elle-même (Gomes, 1983) comme sur le transport des produits de l'hydrolyse des réserves vers l'embryon. Cet effet dépressif du sel sur la mobilisation des réserves a déjà été signalé

chez le quinoa (Brakez et *al.*, 2014), petit pois (Okçu et *al.*, 2005) et la fève (Benidire et *al.*, 2015).

D'après Iyengar et Reddy (1993) cités par (Brakez et *al.*, 2014) a noté la réduction de la mobilisation des réserves de semences à la suite de effet négatif de la salinité sur les enzymes responsables de l'hydrolyse de réserve et / ou de la translocation de les produits, issus de la réserve d'hydrolyse, dans l'axe embryonnaire.

L'ajustement osmotique correspond à la diminution du potentiel osmotique en raison de l'accumulation nette de solutés en réponse aux conditions de déficit en eau. Sous l'effet d'un stress osmotique, les plantes maintiennent les relations hydriques en accumulant divers ions et/ou molécules à activité osmotique tels que les sucres solubles, les acides organiques, la proline, la glycinebétaine, les ions potassium, calcium et chlorure. L'ajustement osmotique est directement lié à l'accumulation d'osmolytes à différentes concentrations, qui dépend en grande partie de la gravité du stress, du type de plante et du stade de croissance auquel le stress est imposé (Hussin, 2018).

Les sucres sont considérés par plusieurs auteurs comme de bons osmorégulateurs (Manzanares et *al.*, 1998 in Bouatrous, 2013) qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes au stress osmotique (Gamal M et *al.*, 2012 cité par Bouatrous, 2013).

Non résultats sont en accord avec de nombreux travaux rapportant une augmentation de la teneur en sucres solubles sous l'effet du stress salin. Ces résultats sont signalés chez le Piment (*Capsicum Annuum* L.) ( Bouassaba et Chougui, 2018), chez *phaseolus vulgaris* L.(Bennabi, 2017), chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) (Bouatrous, 2013).



---

## Conclusion

La salinité des sols pose de graves problèmes à l'agriculture dans le monde entier, la salinité affecte la germination, la croissance et le développement des plantes surtout dans les régions arides et semi-arides. Le dosage des marqueurs biochimiques est un indice de résistance des plantes stressées.

L'étude effectuée au laboratoire nous a permis l'évaluation de l'effet du stress salin sur la germination de six variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) : Q101, Q102, Q103, Q104, SAJAMA et GIZA1.

Ainsi le présent travail montre que la salinité affecte la totalité des paramètres de germination examinés chez les différentes variétés étudiées.

A la lumière des résultats obtenus au cours de ce travail, il nous a été crucial de tirer les points suivants :

L'aptitude à la germination de l'ensemble des écotypes est élevée dans le milieu qui ne contient pas du sel.

La réponse au stress salin chez les six variétés étudiées de quinoa révèle l'existence d'une grande variabilité pour tous les paramètres mesurés.

La capacité germinative et la vitesse de germination des variétés étudiées sont touchées et elles diminuent avec l'augmentation de la concentration en NaCl ajouté.

Les effets dépressifs de sel sont essentiellement de nature osmotique.

Ainsi, la présente étude nous a permis de classer les variétés étudiées en trois groupes significativement différents, en comparant plusieurs paramètres de germination.

Le premier groupe est formé de Q102 qui est la variété la plus tolérante au sel.

Le deuxième groupe renferme les variétés moyennement tolérantes à savoir Q104, Q103 et SAJAMA.

Le troisième groupe contient les variétés Q101 et GIZA1 qui sont les plus sensibles au stress salin.

Enfin, la tolérance au sel dans les cultures est un trait extrêmement important et un axe de recherche majeur, cette étude devrait être complétée par des expérimentations sur le champ afin de confirmer la tolérance de ces variétés qui représentent une source de résistance aux

conditions arides extrêmes : températures élevées, sécheresses et salinité des sols, les écotypes du quinoa ayant une meilleure tolérance au sel est une solution proposée à ce problème, donc il faut améliorer un travail dans cette perspective c'est-à-dire étudier l'effet de la salinité sur la croissance et le rendement de quinoa, ainsi que les cultivars de quinoa qui doivent être exploités dans des programmes de mise en valeur des zones arides et semi arides.

**Bibliographie**

- 10 septembre 2014. Fiche de synthèse (QUINOA Une culture à fort potentiel d'adaptation et de production pour le Maroc)
- Adjel F., Bouzerzour H., Benmahammed A. 2013. Salt Stress Effects on Seed Germination and Seedling Growth of Barley (*Hordeum Vulgare* L.) Genotypes. *Journal of Agriculture and Sustainability*, 3(2) :223-237.
- Anonyme, 2014. L'introduction du quinoa en Algérie ouvre de grandes perspectives de développement. Algérie presse service
- Askri H., Rejeb S., Jebari H., Nahdi H. et Rejeb M. H. 2007. Effet du chlorure de sodium sur la germination des graines de trois variétés de pastèque (*Citrullus lanatus* L.). *Sécheresse* 18 (1) : 51-55.
- Bayuelo-Jimenez J. S., Craig, R., Lynch J. P. 2002. Salinity tolerance of species during germination and early seedling growth. *Crop Science* 42(5) :1584-1594.
- Belkhodja M. and Bidai Y. 2004. Réponse des graines d'*Altiplex halimus* L à la salinité au stade de la germination. *Sécheresse* 15(4) : 331-335.
- Ben Kaddour M. 2014. Modifications physiologiques chez des plantes de blé (*Triticum durum* Desf) exposées à un stress salin. Thèse de doctorat 3ème cycle, université badji mokhtar – Annaba, 74 p.
- Benderradji L. 2013. Sélection in vitro pour la tolérance aux stress salin et thermique chez le blé tendre (*triticum aestivum* L.). Thèse de doctorat, Université Constantine -1- , 139 p.
- Benidire L., Daoui Z., Fatemi Z., Achouak W., Bouarab L., Oufdou K. 2015. Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba* L. (Effect of salt stress on germination and seedling of *Vicia faba* L.). *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (3) :840-851.
- Benlhabib.O. 2005. Les cultures alternatives Quinoa, amarante et épeautre. n° 133. Transfert de technologie en agriculture. Royaume du MAROC. Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes. P. 4.
- Benzahra S., Snoussi S. A. 2018. Impact du potentiel hydrogène d'une eau saline non conventionnelle sur la nutrition minérale du haricot *phaseolus vulgaris* l. cultivé en hors-sol. *Revue Agrobiologia* 8(1): 786-791.

- Bhargava A., SHUKALA S., Ohri D. 2006. *Chenopodium quinoa* – An Indian perspective. *Industrial crops and products* 73-87.
- Bouassaba K., Chougui S. 2018. Effet du stress salin sur le comportement biochimique et anatomique chez deux variétés de piment (*Capsicum Annuum* L.) à Mila /Algérie. *European Scientific Journal*. 14: 159-174.
- Bouatrous Y. 2013. Effet du stress salin et l'haplodiploidisation chez le blé dur (*triticum durum* Desf.). Thèse de doctorat, université Mentouri de Contantine, Algérie, 151p.
- Bouda S., Haddioui A. 2011. Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. *Nature & Technologie*. 05 : 72-79.
- Brakez M., Harrouni M. C, Tachbib N, Daoud S. 2014. Comparative effect of NaCl and seawater on germination of quinoa seed (*Chenopodium quinoa* willd). *Emir. J. Food Agric*. 26 (12): 1091-1096.
- 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.
- Cokkizgin A. 2012. Salinity stress in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed germination. *Not Bot Horti Agrobo*, 40 (1): 177-182.
- Dadach M. 2016. Recherche des conditions optimales de la germination des graines de quelques labiées du mont de Tessala (Ouest Algérien) et perspectives de conservation. Thèse de doctorat, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes, 169p.
- Del Castillo C., Gregory M., Winkel T., 2008. Le Quinoa en Bolivie : une culture ancestrale devenue culture de rente « bio-équitable ». *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 12(4) : 421-435
- Dharm S. 2019. *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): potential crop for future food, health security, livelihood generation and poverty eradication, India*. p. 285.
- Diallo B., Samba S. A. N., Sane D., Diop T. 2013. Effet du chlorure de sodium sur la germination de graines de (*Ricinus communis* L.). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7(4): 1534-1544.
- Djerah A., Oudjehih B. 2015. Effet du stress salin sur la germination de seize variétés d'orge (*hordeum vulgare* l.). Université Mohamed Khider – Biskra, Algérie, N°20 47-56.

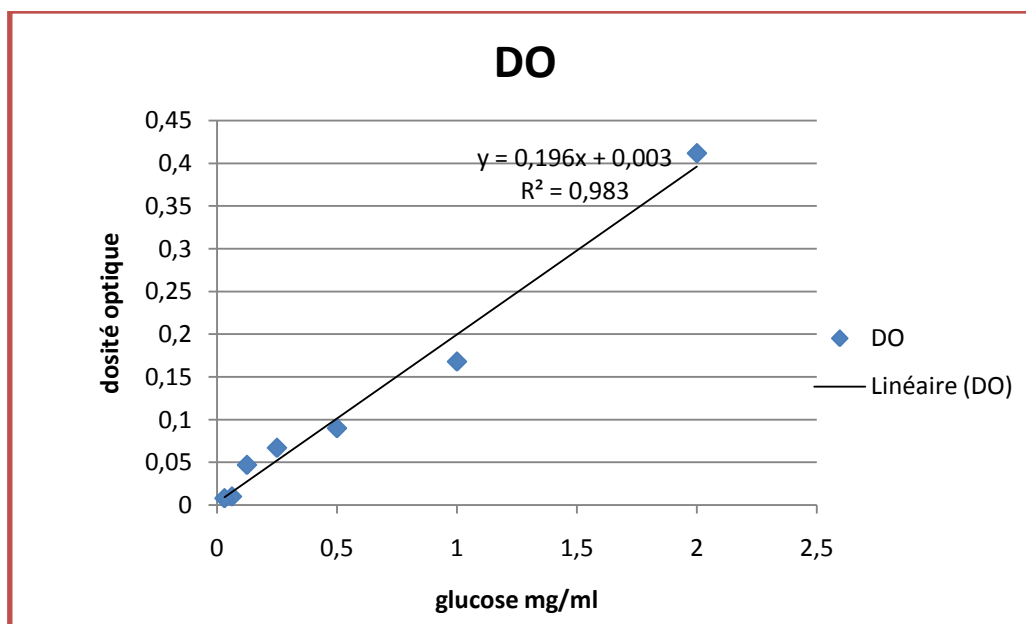
- 
- El Goumi Y., Fakiri M., Lamsaouri O. et Benchekroun M. 2014. Salt stress effect on seed germination and some physiological traits in three Moroccan barleys (*Hordeum vulgare* L.) cultivars J. Mater. Environ. Sci. 5 (2): 625-632.
  - Flowers T. J. 2003. Improving crop salt tolerance. Journal of Experimental Botany 55 : 307-319.
  - Flowers TJ, Galal HK, Bromham L., 2010. Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. Funct Plant Biol 37:604–612.
  - Galwey, N. W., Leakey, C. L. A., Price, K. R., & Fenwick, G. R. 1989. Chemical Composition and Nutritional Characteristics of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Food Sciences and Nutrition, 42(4) : 245–261.
  - 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.
  - Groome M. C., Axler S., Gfford D. J. 1991. Hydrolysis of lipid and protein reserves in lobolly pine seeds in relation to protein electrophoretic patterns following imbibition. Physiol. Plant 83, 99-106.
  - Hajlaoui H., Denden M. et Bouslama 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.
  - Hussin H., Hassain S., Khliq A., Ashraf U., Anjum S. A., Men S., Wang L. 2018. Chilling and drought stresses in crop plants: Implications, cross talk, and potential management opportunities. Frontiers in plant science 9, doi : 10.3389/fpls.2018.00393.
  - Hanana M., Hamrouni L., Cagnac O., Blumwald E. 2011. Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. NRC Research Press, Dossiers environ. Vol. 19, 121-140 pp.
  - 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.
  - Jacobsen S.E., Jørgensen I., Stølen, O. 1994. Cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under temperate climatic conditions in Denmark. The Journal of Agricultural Science 122(01), 47.

- Jyoti G., Chanu H. 2018. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) – The forgotten golden grain. International journal of food and nutritional sciences. Vol. 7 N°1, <http://www.ijfans.com/currentissue.php>
- Kadri K., Maalam S., Cheikh M.H., Benabdallah A., Rahmoune C., Ben Naceur M. 2009. Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques accessions Tunisiennes d'orge (*hordeum vulgare* L.). Science and technologie 29 :72-79.
- Karoune S. 2016. Etude Ecophysiological et Phytochimique de deux espèces d'Acacia : *Acacia albida* et *Acacia raddiana*. Thèse de doctorat, Université Des Frères Mentouri Constantine, 187 p.
- Khemiri H., Belguith H., Jridi T., Ben El Arbi M., Ben Hamida J. 2004. Caractérisation biochimique d'une amylase active au cours du processus germinatif des graines de colza (*Brassicinapus* L.). Enzymologie et métabolisme 146-149 pp.
- Koziol M. 1992 Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal of Food Composition and Analysis. 5, 35-68.
- Lebonvallet S. 2008. Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'altiplano bolivien. Thèse de doctorat d'état, L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech), Paris 247p.
- Mrani Alaoui M., El Jourmi L., Ouarzane A., Lazar S., El Antri S., Zahouily M., et Hmyene A. 2013. Effet du stress salin sur la germination et la croissance de six variétés marocaines de blé. J. Mater. Environ. Sci. 4 (6) : 997-1004.
- Mujica A., Izquierdo J., Marathe J.P., Jacobsen, S. E. 2001. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Cultivos Andinos, version 1.0. Santiago, Chile.
- Munns R., James R. A., Lauchli A. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. J. Exp. Bot, 27: 1025-1043.
- Okçu G., Kaya M.D. et Atak M. 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). Turk J. Agric For. 29: 237-242.
- Othman Y., Al-Karaki G., Al-Tawaha A.R. et AlHorani A. 2006. Variation in germination and ion uptake in barley genotypes under salinity conditions. World J. Agric. Sci. 2: 11-15.

- 
- Parida A. K., Das A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60, 324–349.
  - Prado F. E., Boero C., Gallardo M., Gonzalez J. A. 2000. Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 41: 27-34.
  - Rjeibi W., Kahlaoui B., Hachicha M. 2015. Effet de l'irrigation des eaux salées sur une culture de quinoa réponses du quinoa aux contraintes hydriques. Editions universitaires européennes, 138p
  - Sanchez H. B., Lemeur, R., Damme, P. V., Jacobsen S.E. 2003. Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.). *Food Reviews International* 19(1-2) :111–119.
  - Tapia M., Gandarillas H., Alandia S., Cardozo A., Mujica A., Ortiz R., Otazu V., Rea J., Salas B., Zanabria E.1979. La Quinoa y la Kañiwa : cultivos andinos. Colombia, Bogota. 228p.
  - Vincent R., 2006. Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune *laminaria digitata*. Thèse de doctorat, Université de Rennes1, 237p.
  - Wilson H. D., 1990. Quinoa and Relatives (*Chenopodium* sect.*Chenopodium* subsect.*Celluloid*). *Economic Botany*, 44(3) :92–110.
  - Wu C., Wang Q., Xie B., Wang Z., Cui J., Hu T. 2011. Effects of drought and salt stress on seed germination of three leguminous species. *African Journal of Biotechnology* 10(78) : 17954-17961.

## Annexes

### Annexe N°1 : courbe de gamme d'étalonnage



**Annexe N°2 :** tableau. Variation de la moyenne journalière de germination des variétés de quinoa étudiées pour les différentes concentrations de NaCl (g/l).

Variétés	Concentrations (g/l)				
	0g/l (n=3)	10g/l (n=3)	20g/l (n=3)	30g/l (n=3)	40g/l (n=3)
<b>Q 101</b>	13,513 ±3,85 <b>EFGHI</b>	12,517 ±3,85 <b>FJHI</b>	11,81 ±3,85 <b>FGHI</b>	8,381 ±3,85 <b>GHI</b>	0,333 ±3,85 <b>I</b>
<b>Q102</b>	50 ±3,85 <b>A</b>	50 ±3,85 <b>A</b>	34,44 ±3,85 <b>ABC</b>	18,905 ±3,85 <b>CDEFGHI</b>	3,238 ±3,85 <b>HI</b>
<b>Q103</b>	41,66 ±3,85 <b>AB</b>	19,762 ±3,85 <b>CDEFGH</b>	17,638 ±3,85 <b>CDEFGHI</b>	15,2 ±3,85 <b>DEFGHI</b>	1,238 ±3,85 <b>HI</b>
<b>Q104</b>	49,33 ±3,85 <b>A</b>	32,095 ±3,85 <b>BCD</b>	26,514 ±3,85 <b>BCDEFG</b>	9,867 ±3,85 <b>FGHI</b>	0 ±3,85 <b>I</b>



<b>SAJAMA</b>	50 ±3,85 <b>A</b>	37,33 ±3,85 <b>3,85 AB</b>	32,11 ±3,85 <b>BCD</b>	12,19 ±3,85 <b>FGHI</b>	0,333 ±3,85 <b>I</b>
<b>GIZA1</b>	30,556 ±3,85 <b>BCDE</b>	27,333 ±3,85 <b>BCDEF</b>	26,333 ±3,85 <b>BCDEFG</b>	5,143 ±3,85 <b>HI</b>	0 ±3,85 <b>I</b>

Les moyennes affectées de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de probabilité de 0,05 (Test de Student Newman Keuls).

**Annexe N°3** : tableau de variation de teneurs des sucres solubles de différentes variétés de quinoa sous l'effet des concertations 0, 10,20 g/l.

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	GROUPES
Variété-Q102*dose NACL-20	0,733	0,012	0,708	0,758	A
Variété-Q103*dose NACL-20	0,673	0,012	0,649	0,698	B
Variété-SAJAMA *dose NACL-20	0,616	0,012	0,591	0,640	C
Variété-Q104*dose NACL-20	0,571	0,012	0,547	0,596	D
Variété-Q102*dose NACL-10	0,539	0,012	0,515	0,564	D
Variété-Q103*dose NACL-10	0,480	0,012	0,455	0,504	E
Variété-Q102*dose NACL-0	0,464	0,012	0,440	0,489	E
Variété-SAJAMA *dose NACL-10	0,446	0,012	0,421	0,470	EF

Variété-GIZA 1*dose NACL-20	0,442	0,012	0,418	0,467	EFG
Variété-Q103*dose NACL-0	0,413	0,012	0,389	0,438	FGH
Variété-Q104*dose NACL-10	0,398	0,012	0,374	0,423	GH
Variété-SAJAMA *dose NACL-0	0,396	0,012	0,372	0,421	GH
Variété-Q101*dose NACL-20	0,389	0,012	0,365	0,414	H
Variété-Q104*dose NACL-0	0,352	0,012	0,327	0,377	I
Variété-GIZA 1*dose NACL-10	0,224	0,012	0,200	0,249	J
Variété-Q101*dose NACL-10	0,179	0,012	0,154	0,203	K
Variété-Q101*dose NACL-0	0,160	0,012	0,135	0,184	K
Variété-GIZA 1*dose NACL-0	0,158	0,012	0,134	0,183	K

## الملخص

الغاية من إدخال الكينوا الى الجزائر هو تكييف نبات الكينوا مع إمكانية استخدامه كمحصول جديد يساهم في تنوع الأغذية وتعميم المحاصيل على الأرض المتأثر بالملوحة وندرة الموارد المائية.

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير الملوحة على إنبات ستة انواع من الكينوا وهي :

Q101, Q102, Q103, Q104, SAJAMA GIZA1 الخاضعة لتراكيز متزايدة من الملح (0,10,20,30,40 غ/ل) .

وقياس نسبة السكريات المنحلة تحت تأثير هذه التراكيز.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن مقاومة الملوحة للأصناف الستة لوحظت بطريقة متغيرة من نمط وراثي إلى آخر. و تتميز بأنها Q102 الأفضل لمعظم العوامل التي تمت دراستها تقريبا.

الكلمات المفتاحية: الكينوا، الاجهاد الملحي، الانبات، كلورير الصوديوم، السكريات المنحلة.

## Résumé

L'intérêt de l'introduction du quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) en Algérie est d'adapter la plante de quinoa à la possibilité d'être utilisée comme nouvelle culture contribuant à la diversité de la nourriture et à la généralisation des cultures sur les terres affectées par la salinité et la rareté des ressources en eau. L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de la salinité sur la germination de six variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) qui sont : Q101, Q102, Q103, Q104, SAJAMA et GIZA1 soumises à des concentrations croissantes en NaCl (0, 10, 20, 30, 40 g/l). Et quantification des sucres solubles en cas de stress.

Les résultats obtenus ont montré que la résistance à la salinité des six variétés a été observée d'une manière variable d'un génotype à l'autre. La variété Q102 ressort comme la meilleure pour la quasi-totalité des paramètres étudiés.

Mots clé : Quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), Stress salin, Germination, NaCl, Sucres solubles.

## Abstract

The aim of the introduction of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) In Algeria is to adapt the quinoa plant to the possibility of being used as a new crop contributing to the diversity of food and the generalization of crops on land affected by salinity and scarcity of water resources.

The objective of this work is to study the effect of salinity on the germination of three quinoa varieties (*Chenopodium quinoa* willd.) Which are: Q102, Q102.Q103, Q104, SAJAMA and GIZA1 subjected to increasing concentrations of NaCl (0, 10, 20, 30 and 40 g / L). And measure of pourcentage of solubles sugars.

The results obtained showed that the salinity resistance of the three varieties was observed in a variable manner from one genotype to another. The Q102 variety stands out as the best for almost all the parameters studied.

Key words: Quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), Salt stress, Germination, NaCl, Solubles sugars.