



MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Biotechnologie végétale

Présenté et soutenu par :

LATRECHE Merzaka

Le : Septembre 2020

La quinoa en conditions de stress salin

Jury :

M.	BEN AMOR Bilal	MAA	Université biskra	Président
Mme.	BELKHARCHOUCHE hafida	MCB	Université diskra	Rapporteur
Mme.	BOUDJEDJOU Lamia	MAA	Université biskra	Examineur

Remerciement

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

Au terme de cette étude, mes reconnaissances respectueuses vont d'abord à madame **Khenchour 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.

-Nos remerciements vont également au staff de l'Institut Technique de Développement de l'Agriculture Saharienne (**ITDAS**) de Biskra qui nous ont fourni les semences.

-au directeur Dou Biskra **Larbi Ateitallah** que dieu le protège.

Nos remerciements vont aussi à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DÉDICACES

Louange à Allah tout puissant, de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail et je le dédie à :

À l'âme de

- **ma grand-mère** et de mes deux frères, **Hassan** et **Hussein**.

-**Aux martyrs du cher pays. Aux victimes de la tragédie nationale.**

-Au propriétaire d'une biographie parfumée et d'une pensée éclairée, car il avait le premier crédit en atteignant l'enseignement supérieur (**mon père** bien-aimé), que Dieu prolonge sa vie.

-À qui je le préfère à moi-même et pourquoi pas? Vous vous êtes sacrifié pour moi, et n'avez épargné aucun effort pour toujours me rendre heureuse (**ma mère** bien-aimée).

-Au monsieur estimé qui m'a beaucoup aidé dans mes études. **Larbi Ateitallah** que dieu le protège.

- À mes **frères** et **sœurs**.

-À ma chère amie **Karima bouzian. Nadjet abdelhafidhe**.

-Je suis reconnaissant à tous ceux qui ont eu du mérite dans ma carrière et qui m'ont aidé, même avec un peu.

Latreche merzaka

Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Table des matières	
Liste des tableaux	I
Liste des figures	II
Liste des abréviations	III
Introduction	1
Première partie : partie bibliographique	
Chapitre 1 : Généralité sur le quinoa	
1.1. Origine et historique	3
1.2. Distribution du quinoa dans le monde.....	3
1.2.1. Dans le monde.....	4
1.2.2. En Algérie.....	4
1.3. Classification botanique	5
1.4. Description taxonomique de la plante	5
1.5. Stades phénologiques du quinoa	6
1.6. Valeur nutritive du quinoa	9
Chapitre 2 : Généralités sur la salinité	
2.1. Stress salin	11
2.2. La salinisation des sols	11
2.3. Effet de la salinité et du stress salin sur les plantes	11
2.3.1. Effet de la salinité sur la germination	11
2.3.2. Effet osmotique	11
2.3.3. Effet toxique	12
2.3.4. Effet de la salinité sur la croissance et le développement	12
2.4. Principaux mécanismes de résistance au stress salin chez les plantes	12
2.4.1. L'exclusion.....	13
2.4.2. L'inclusion	13

2.4.3. L'ajustement osmotique	13
-------------------------------------	----

Deuxième partie : Partie expérimentale

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

3.1. Matériel végétal	14
3.2. Objectif de l'essai	14
3.3. Protocole expérimental	15
3.4. Les paramètres à étudier	15
3.4.1. Taux de germination final	15
3.4.2. Cinétique de germination.....	15
3.4.3. Vitesse de germination	16
3.4.4. Moyenne journalière de germination (MDG)	16
3.4.5. Longueur des racines et des épicotyles	16
3.4.6. Réversibilité de l'action du sel	16
3.4.7. Mobilisation des réserves	17
3.5. Analyse statistique	17

Chapitre 4 : Résultats et discussion 18

Conclusion	28
------------------	----

Références	
------------------	--

Résumé

Liste des tableaux

Tableau 1. La classification botanique du quinoa (Rojas et <i>al.</i> , 2010). Source : Cronquist (1981)	5
Tableau 2. Valeur nutritionnelle moyenne de quinoa pour 100 g (Souci, Fachmann et Kraut, 2008)	9
Tableau 3. Composition des graines de quinoa et de blé (g/100g de matière sèche) (Tapia, 2000)	10

Liste des figures

Figure 1. Photo de quinoa (<i>Chenopodium Quinoa</i> Willd.)	3
Figure 2. Répartition mondiale de la production du quinoa (FAO, 2011).....	4
Figure 3. Structure du grain de Quinoa (Beatriz et <i>al.</i> , 2012).....	6
Figure 4. Phases phonologiques du quinoa (FAO, 2001).....	8
Figure 5. Les graines des différentes variétés du quinoa étudiées.....	14

Liste des abréviations

CE : Conductivité électrique

ds/m : Decisiemens par mètre

DW : Poids sec (the dry weight).

FOA : Food and Agriculture Organization.

FW : Poids frais (the fresh weight).

g : Gramme

hi : Enthalpie spécifique

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

MDG : Mean Daily Germination.

M : Mole

mL : Millilitre.

mM : Mili mole.

mm : Millimètre.

NaCl : Chlorure de sodium.

Sw : Eau de mer (sea water)

Ti : Taux d'imbibition

Introduction

Introduction

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).

Les zones arides et semi-arides couvrent une grande partie des pays de la frange méridionale du pourtour méditerranéen. Dans ces régions, la disponibilité des eaux, leur salinité et celle des sols sont parmi les principaux facteurs limitant la productivité. L'introduction des espèces tolérantes au stress salin est l'une des techniques utilisées pour faire face à ce problème (Zid et Grignon, 1991).

En Algérie, les sols agricoles sont dans leurs majorité, affectés par la salinité ou susceptibles de l'être. Les sols salins sont très répandus dans les basses plaines de l'Oranie, dans la vallée de Mina près de Ghilizane, dans le bas Chélif, sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains chotts. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà (Durand, 1958).

Parmi ces espèces, le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), qui est considéré comme un aliment de base des populations entre 3000 et 5000 ans. Le développement technique du quinoa était bien avancé et réparti surtout le territoire des Incas. Avec l'arrivée des Espagnols, cette culture fut remplacée par les céréales (FAO, 2016).

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 nous proposons d'étudier (06) variétés de quinoa de différentes provenances (fournies par ITDAS Biskra), pour étudier leur tolérance à la salinité durant la phase de germination.

Ce mémoire est structuré en deux parties ainsi :

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

- Chapitre I : Généralité sur le quinoa

- Chapitre II : Généralités sur la salinité

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

- Chapitre I- Matériel et méthodes.

- Chapitre II- Résultats et discussion.

Première partie

Partie bibliographique

Chapitre 1

Généralité sur le quinoa

1.1. Origine et historique

Le quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) est une espèce native d'Amérique du Sud, originaire de la région andine et plus particulièrement des hauts plateaux (Altiplano) bolivien et péruvien (Mujica et *al.*, 2001). Les régions où elle est plus cultivée sont à des altitudes de 3000 à 4000 mètres à la Bolivie et au Pérou (Belhabib, 2005). -Cette pseudo-céréale dont la domestication remonte à 7000 ans environ (Mujica et *al.*, 2001) a été cultivée et consommée pendant des siècles par les populations paysannes indigènes de Colombie, Équateur, Pérou, Bolivie et Chili (Gandarillas, 1979). Grâce à ces générations d'agriculteurs le matériel génétique de cette espèce, comme celui d'autres plantes cultivées, a pu -être conservé, avec les caractéristiques propres de ce que l'on pourrait appeler un système de conservation adéquat in situ (Tapia, 2002).



Figure 1. Photo de quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.)

1.2. Distribution du quinoa dans le monde

Le quinoa est réparti naturellement du nord de la Colombie au sud du Chili (Fuentes and Bhargava, 2011) sur une large gamme d'altitudes allant du niveau de la mer jusqu'à 4000 m (González et *al.*, 2011).

1.2.1. Dans le monde

Le quinoa occupe une superficie d'environ 99.313 ha dans le monde, sa production est d'environ 78.025 tonne en 2010. La Bolivie et le Pérou sont ses principaux producteurs. La Bolivie représente en terme de superficie 63.010 ha avec une production d'environ 36.106 tonnes et le Pérou en termes de production 41.000 tonnes (FAO STAT, 2010).

1.2.2. En Algérie

En 2014 la culture du quinoa a été introduite en Algérie Elle est cultivée à titre expérimental dans huit sites appartenant à quatre institutions ayant différentes caractéristiques agro-écologique. ITDAS, (Biskra et El-oued), INRAA, (Adrar et Ghilizane), ITGC, (Sétif, Tiaret et Guelma) et INRF (Alger). Selon le rapport de la (FOA, 2016), cette plante a une grande capacité à résister aux conditions climatiques difficiles (sécheresse, pauvreté des sols et salinité) lui conférant une grande efficacité dans la lutte contre la désertification tout en donnant des rendements acceptables.

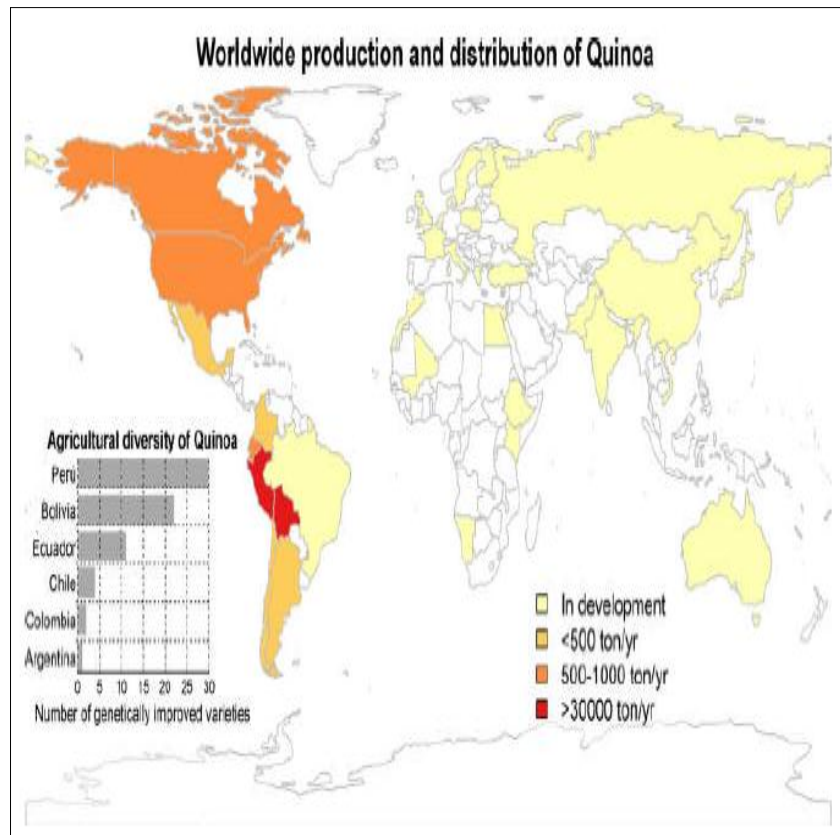


Figure 2. Répartition mondiale de la production du quinoa (FAO, 2011).

1.3. Classification botanique

La classification botanique du quinoa est comme suit :

Tableau 1. La classification botanique du quinoa (Rojas et *al.*, 2010). Source : Cronquist (1981).

Règne	Plantae
Sous-embr	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Caryophyllidae
Ordre	Caryophyllales
Famille	Chenopodiaceae
Genre	<i>Chenopodium</i>
Espèce	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.

Mais la classification phylogénétique APG III (Angiosperms Phylogeny Group) en 2009, a classé cette espèce sous la famille des Amaranthaceae.

1.4. Description taxonomique de la plante

Le quinoa se distingue par une grande diversité génétique et morphologique d'une variété à l'autre, mais aussi à l'intérieur d'une même variété. Verte, orange, rose, rouge ou pourpre, tachetée ou non... les couleurs de la tige, des feuilles, des épis et des graines varient considérablement. Les plants mesurent de 50 cm à 1,50 m de haut en fonction de la variété, mais aussi des conditions de croissance.

Les graines, principale partie comestible de la plante, peuvent être de trois formes différentes : conique, cylindrique ou ellipsoïde (Winkel, 2009).

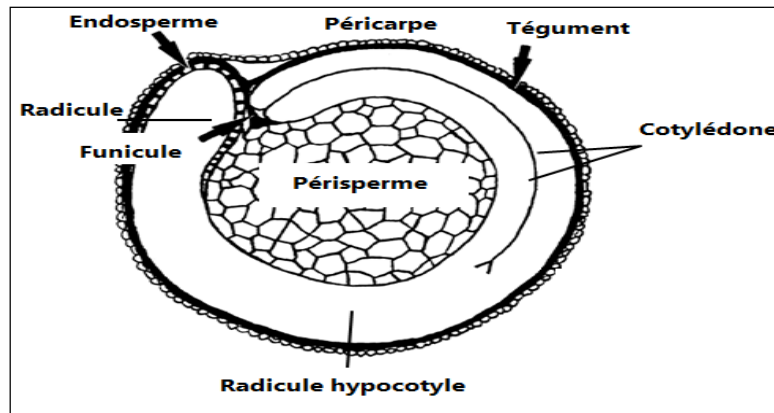


Figure 3. Structure du grain de Quinoa (Beatriz et *al.*, 2012).

La tige, cylindrique au niveau du collet et anguleuse plus haut, contient une moelle de texture tendre chez les jeunes plantes, devenant spongieuse et creuse à maturité, avec une écorce ferme et compacte (Del Castillo et *al.*, 2008).

Les feuilles, sont nettement polymorphes (Bioversity International et FAO, 2013), les feuilles basales sont grandes et peuvent être rhomboïdales ou triangulaires (FAO, 2011). Les feuilles alternes, ont un limbe en forme de losange, de triangle ou lancéolé, plat ou onduleux, charnu et tendre (Del Castillo et *al.*, 2008). Elles sont dentées, avec jusqu'à 43 dents sur leurs bords (Figure 05). La couleur des feuilles varie du vert au rouge, en passant par le jaune et le violet, selon la nature et l'importance des pigments (FAO, 2011).

Les fleurs hermaphrodites disposées en inflorescences en grappes, considérées comme de faux épis (panicules)

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 (Del Castillo et *al.*, 2008).

1.5. Stades phénologiques du quinoa

Selon (Lebon Vallet, 2008), plusieurs échelles de développement ont été décrites pour le quinoa, telles que celle de Espindola (1994) en neuf phases, ou celle de Mujica et Canahua (1989) en 12 phases, C'est cette dernière que nous avons choisi de présenter ici. Les durées indiquées de

chaque phase sont des nombres de jours moyens. Un stade est atteint lorsque 50 % des plantes sont à ce stade. Les différents stades sont illustrés.

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

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 cotylédonaire lancéolées. Elles sont très sensibles aux attaques d'insectes.

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. L'apex végétatif est nettement protégé par les feuilles les plus âgées, en particulier lorsque la plante est soumise à un stress (thermique, hydrique ou salin).

Ramification : A partir du stade huit feuilles, soit 45 à 50 jour 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.

Début de formation de la panicule : L'inflorescence commence à apparaître à l'apex de la plante au bout de 55 à 66 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 photo synthétiquement active. La tige s'allonge et son diamètre augmente.

Panicule : L'inflorescence est désormais clairement visible au – dessus des feuilles, ainsi que les glomérules qui la composent. Des boutons floraux individualisés apparaissent, 65 à 70 jours après le semis.

Début de floraison : Les premières fleurs s'ouvrent 75 à 80 jours après. La plante commence à être plus sensible au froid et à la sécheresse.

Floraison : L'ouverture de 50 % des fleurs de l'inflorescence se produit aux environs du 90^{ème} ou 100^{ème} 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.

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.

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

Maturité physiologique : Le grain, plus résistant à pression, est à maturité au bout de 160 à 180 jours, avec une teneur en eau inférieure à 150. 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

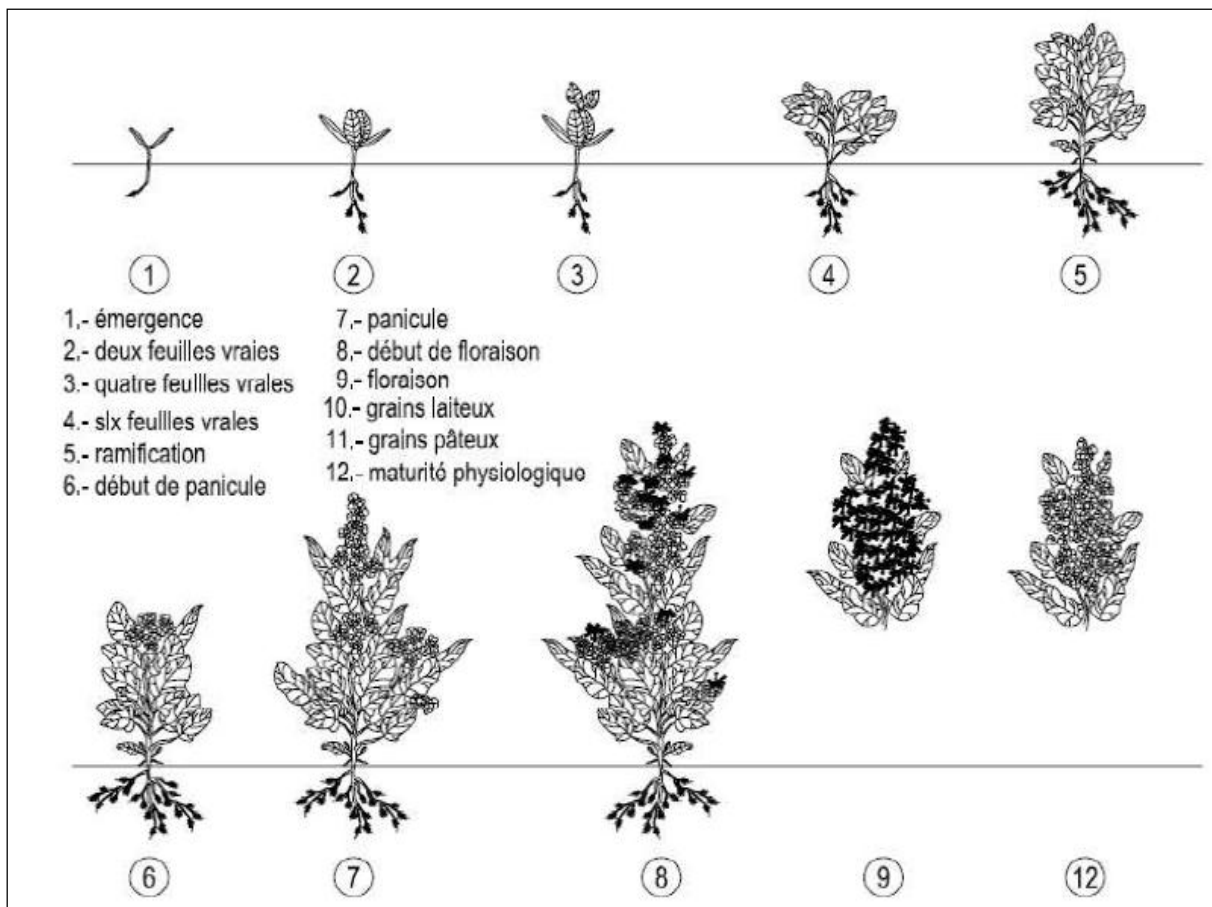


Figure 4. Phases phonologiques du quinoa (FAO, 2001).

1.6. Valeur nutritive du quinoa

Tableau 2. Valeur nutritionnelle moyenne de quinoa pour 100 g (Souci, Fachmann et Kraut, 2008).

Apport énergétique	
Joules	1415 kJ
<i>Calories</i>	<i>334 kcals</i>
Principaux composants	
Protides	14,8 g
Lipides	5,04 g
- Saturés	504,7 mg
- Oméga-3	200 mg
- Oméga-6	2430 mg
- Oméga-9	1300 mg
Eau	12,7 g
Glucides	58,5 g
- Fibres alimentaires	6,64 g
Cendres Totales	3,33 g
Minéraux et Oligo-éléments	
Fer	8,0 mg
Magnésium	275 mg
Manganèse	2,8 mg
Phosphore	328 mg
Potassium	804 mg
Sodium	9,6 mg
Zinc	5,5 mg
Bore	0,800 mg
Calcium	80 mg
Chlore	105 mg
Cobalt	0,0031 mg
Cuivre	0,787 mg
Vitamines	
Vitamine B1	0,170 mg
Vitamine B3 (ou PP)	0,450 mg
Vitamine E	4,0 mg

Tableau 3. Composition des graines de quinoa et de blé (g/100g de matière sèche) (Tapia, 2000).

Composante	Blé	Quinoa
Protéines	12,5	11,0 - 21.3
Lipides	2 – 3	5,3 - 8.4
Glucides	67 – 71	53,5 - 74.3
Fibres	2- 4	2,1 - 4.9
Cendres	1,5 - 2,5	3,0 - 3.6
Humidité	14,5	9,4 - 13.4

Chapitre 2

Généralités sur la salinité

2.1. Stress salin

Le stress salin est un excès d'ions en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- (Hopkins, 2003). Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sels potentiels hydriques. Il réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes, on parle alors de milieu "physiologiquement sec" (Tremblin, 2000).

La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter sans grand dommage pour leur culture, varie avec les familles, les genres et les espèces (Levigneron et *al.*, 1995).

2.2. La salinisation des sols

Les sols salins en une concentration élevée en sels solubles (Lemzeri Houria) (USSSL, 2005 in Diédhiou, 2006).

La salinité des sols constitue l'un des principaux stress abiotiques limitant la croissance des plantes cultivées (Epstien et *al.*, 1980 ; Boyer et *al.*, 1990 ; Tanji et *al.*, 1990 ; Abdelly et *al.*, 2008 ; Munns et Tester, 2008) cette salinité peut être naturelle ou induite par les activités agricoles comme irrigation ou utilisation de certains types d'engrais (Bartels et Nelson, 1994 ; Rubio et *al.*, 1995).

En termes de sécurité alimentaire, la salinité des sols représente un obstacle au développement de l'agriculture car 20% des sols sont irrigués et produisent 1/3 de l'alimentation mondiale (FAO).

2.3. Effet de la salinité et du stress salin sur les plantes

2.3.1. Effet de la salinité sur la germination

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).

2.3.2. Effet osmotique

La salinité inhibe l'absorption de l'eau, la mobilisation des réserves et leur transport vers l'embryon. Cependant il existe un seuil critique d'hydratation que l'embryon doit atteindre avant le démarrage des processus germinatifs.

2.3.3. Effet toxique

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), signalent qu'une bonne germination des graines et une émergence sous le stress salin est un critère valable pour garantir l'établissement adéquate dans les sols affectés par le sel. Cependant, Ben Ahmed (1996) rapporte que la corrélation entre la tolérance au stade de germination des semences et la tolérance des plantes pendant les autres périodes de croissance n'est pas obligatoire (Ben Kaddour, 2014).

2.3.4. Effet de la salinité sur la croissance et le développement

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes (Bouaouina et *al.*, 2000). La salinité affecterait de plusieurs manières la croissance de la plante. La concentration élevée de NaCl diminue également l'absorption de Ca^{2+} qui est relativement tolérante au sel, l'augmentation de la concentration en Na^+ s'accompagne d'une réduction de la concentration en Mg^{2+} , K^+ , N, P et Ca^{2+} dans la plante (Levitt, 1980). Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance en présence de sel lorsque des ions essentiels comme K^+ , Ca^{2+} ou NO_3^- deviennent limitant (Soltani, 1988 in Haouala et *al.*, 2004). Les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol (Jabnour, 2008).

2.4. Principaux mécanismes de résistance au stress salin chez les plantes

La zone majeure de production du quinoa étant située entre les salars boliviens, certains sols ou eaux d'irrigation peuvent avoir des concentrations en sel non négligeables. (Bosque et *al.*, 2001 ; 2003). Dans cette région, et en année climatique favorable, les techniques traditionnelles non intensive permettent d'obtenir en moyenne 1 de quinoa de bonne qualité, ce qui indique que le quinoa tolère la présence de sel dans le sol (Mujica et *al.*, 2001).

Le quinoa est ainsi capable d'accumuler des ions salins dans ses tissus pour ajuster le potentiel hydrique foliaire. Cela lui permet de maintenir la turgescence cellulaire et de limiter sa transpiration, évitant des dommages physiologiques que pourrait causer la sécheresse. En

conditions salines, le quinoa se comporte donc comme un halophyte facultatif et pourrait être utilisé pour nettoyer des sols contaminés par le sel (Le bonvallet, 2008)

2.4.1. L'exclusion

Les plantes exclues sont généralement sensibles à la salinité et sont incapables de contrôler le niveau de Na^+ cytoplasmique. Cet ion est transporté dans le xylème, véhiculé vers les feuilles par le courant de transpiration puis en partie ré-circule par le phloème pour être ramené vers les racines. Ces espèces sensibles contiennent donc Na^+ dans les feuilles et un excès dans les racines (Jabnoute, 2008).

2.4.2. L'inclusion

Les plantes arrivent à résister au NaCl en accumulant le Na^+ dans les feuilles où il est séquestré soit dans la vacuole dans l'épiderme foliaire ou les limbes des feuilles âgées (Jabnoute, 2008).

Le sel est stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de pompes moléculaires. Les vacuoles sont des compartiments fermés au sein de la cellule, le sel est aussi isolé dans des constituants cellulaires vitaux (Berthmieu et *al.*, 2004), ou excrété par des glandes vers l'extérieur (Alem et Amri, 2005).

2.4.3. L'ajustement osmotique

L'ajustement osmotique du cytoplasme, suite à un stress osmotique provoqué par la présence de NaCl dans le milieu extérieur est réalisé par l'accumulation de solutés organiques. Parmi ces composés s'accumulant lors du stress salin, on trouve les acides aminés comme la proline (Hassani et *al.*, 2008) ; des sucres (fructose, saccharose) et leur dérivés alcool (glycérol, mannitol et pinitol) (Keller et Ludlow, 1993) et des méthylamines (Glycine bétaine) (Weretilnyk et *al.*, 1989).

Chapitre 3

Matériel et méthodes

3.1. Matériel végétal

La présente étude devrait être portée sur six variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Les semences ont été fournies par l'Institut Technique de Développement de l'Agriculture Saharienne (ITDAS), sise à Ain Ben Naoui, Biskra (Tab.02). Ces variétés sont : q103, q104, q105, sajama, santa maria et q29.

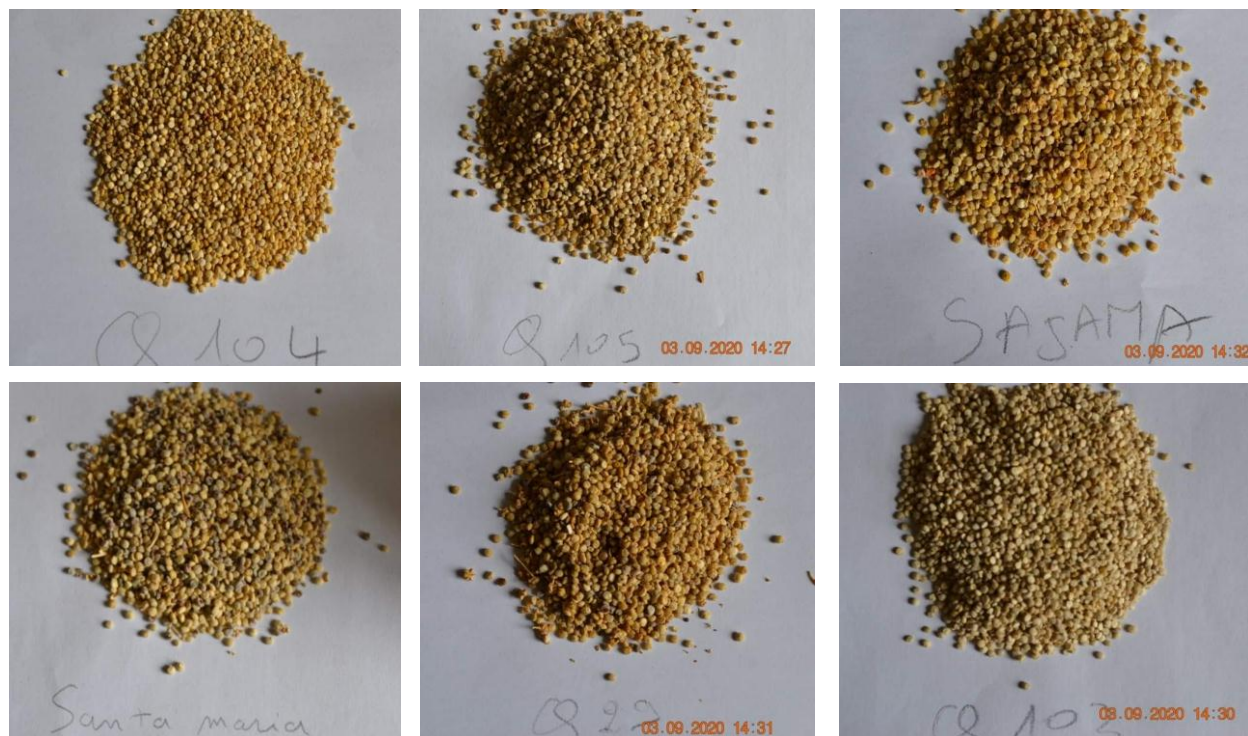


Figure 5. Les graines des différentes variétés du quinoa étudiées.

Les essais devraient être conduits au laboratoire du Département d'Agronomie de l'université Mohamed Boudiaf à M'Sila.

3.2. Objectif de l'essai

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de la salinité sur la germination de six variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), soumises à des concentrations croissantes en NaCl.

3.3. Protocole expérimental

Le présent travail vise à déterminer les effets néfastes du NaCl sur la germination des graines de quinoa de plusieurs variétés (6 variétés).

Les tests de germination devraient être effectués sous différentes concentrations de chlorures de sodium (NaCl).

Pour chaque variété, les graines au nombre de 20, devraient être désinfectées à l'eau de javel, lavées abondamment à l'eau, puis rincées à l'eau distillée. Ensuite mises à germer dans des boîtes de Pétri couvertes de papier filtre.

3.4. Les paramètres à étudier

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 (Côme, 1970).

Le taux de germination (Tg) est calculé selon la relation

$$Tg = Ni \times 100/Nt$$

Ni : nombre des graines germées.

Nt : nombre totale de graines utilisées.

3.4.2. Cinétique de 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 racine (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)

Selon Osborne et Narcer, la MDG est le Pourcentage de germination final/nombre de jours à la germination finale (Hajlaoui et *al.*, 2007).

3.4.5. Longueur 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, et ce pour évaluer la croissance de la plante vis-à-vis du stress (Mrani et *al.*, 2013).

3.4.6. 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. Ainsi, les graines sont mises à germer en présence de différentes concentrations de NaCl pendant 6 jours. Au 6^{ème} jour, les graines non germées sont rincées trois fois pour éliminer le sel non absorbé puis transférées dans d'autres boîtes de pétri contenant de l'eau distillée pendant quatre jours supplémentaires (Hajlaoui et *al.*, 2007).

3.4.7. 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 15 jours de germination (Benidire et *al.*, 2015).

3.5. Analyse statistique

Pour toutes les concentrations utilisées, chaque résultat correspond à la moyenne de 3 répétitions. L'analyse de la variance (ANOVA) devrait être effectuée par la comparaison des moyennes par le test *Student-Newman-Keuls* (SNK) au seuil de probabilité de 5 % à l'aide du logiciel XLSTAT-Excel.

Chapitre 4

Résultats et discussion

Selon Meryem Brakez et *al.* (2014)

Les grains de quinoa obtenues à partir de prof koyro (Justus Liebig Institute d'écologie des plantes ; Giessen, Allemagne) ont été triées à la main pour éliminer concassées et petites avant le début de l'expérience ils ont ensuite été stérilisés de surface avec une solution d'hypochlorite de sodium à 5% pendant 10 stérilisations, les graines ont été lavées avec de l'eau distillée plusieurs fois et transférées en 9 boîtes de pétri stérilisées contenant du papier filtre. Les traitements salins utilisés étaient des solutions NaCl de 50, 100, 150 et 200 mM. Les boîtes de pétri ont été placées dans un incubateur à 25°C. Le nombre de graines germées a été enregistré quotidiennement pendant 3 jours.

Les résultats ont révélé que la germination de *Chenopodium quinoa* Willd. n'était pas affectée par la salinité dans le milieu.

Le niveau de salinité de haute salinité dans cette étude a retardé le début de la germination dans *C. quinoa*, mais n'a pas affecté le pourcentage de germination finale. Ces résultats sont compatibles avec ceux obtenus par Prado et *al.* (2000). Ces auteurs ont constaté que le taux de germination final des graines de *quinoa chenopodium* était maximum de contrôle et était égal à celui de 0,1 M et 0,2 M de NaCl. Ils ont également constaté que la germination était légèrement retardée de 0,1 M de NaCl et fortement de 0,2 M, 0,3 M et 0,4 M de NaCl

Des salinités relativement élevées affectent la germination de 2 façons d'agir en combinaison : réduisant le potentiel osmotique qui empêche ou retarde l'absorption d'eau et / ou par l'intoxication de semences à travers l'absorption du sel du milieu. Parce que toutes les graines germées dans tous les traitements, le potentiel osmotique peut-être la raison du retard de germination. Le stress salin semble agir à travers son effet osmotique pendant la phase de germination

Läuchli et Grattan (2007) ont signalé que l'âge de la graine est parmi les facteurs qui influencent la sensibilité au sel des graines. Bien que la plupart des plantes soient tolérantes pendant la germination, le stress de la salinité retarde ce processus et il ne peut y avoir aucune différence dans le pourcentage de graines germées de traitements de salinité faibles à hautes. ont signalé que la tolérance de *Chenopodium quinoa* Willd. pendant la phase de

germination résulte de la distribution d'ions potentiellement toxiques (Na^+ , Cl^-) et des ions essentiels K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} et SO_4^{2-} respectivement au péricarpe.

Ces résultats correspondent aux résultats obtenus par (Verena Isabelle Adolfa et *al.*, 2012)

Les halophytes peuvent faire face à des niveaux de sel élevés pendant la germination. Cependant, il a été démontré dans plusieurs études que même les halophytes sont relativement sensibles à la salinité au cours des étapes de la germination et de l'émergence des semis. Testé le pourcentage de germination de 182 choisi parmi environ 2500 accession de quinoa dans des conditions salines et observé des différences significatives de taux de germination entre les accessions. Les quinze accessions les plus tolérantes utilisées dans l'étude ont montré un pourcentage de germination de 60 en saline de 25 ds /m. Auparavant, il a été observé que les graines du quinoa cultivar péruvien Kancolla avaient un pourcentage de germination de 75 à une concentration de sel aussi élevée que 57 DS / m mesurés après 7 jours. Testé la germination de quatre génotypes de quinoa chiliens traités avec des NaCl de 0, 150 ou 300 mm (~0, 15, 30 dS/m), respectivement. Seulement au niveau de la salinité la plus élevée et dans l'une des accessions, ils ont trouvé une réduction significative du taux de germination. a observé un effet inhibiteur important de la salinité sur la germination des graines uniquement pour des concentrations supérieures à 400 mM NaCl. Dans une comparaison entre les cultivars boliviens, Robura et Sajama, Robura s'est avéré plus sensible au salin pendant la germination avec une limite de tolérance de 100 mm pour NaCl (Schabes et Sigstad, 2005). Prado et *al.* (2000) ont observé une réduction de l'âge de germination de l'âge à 14% après 14 h à 400 mM NaCl pour le Cultivar Sajama. Le même cultivar a été étudié par Ruffino et *al.* (2010) de moins de 250 mm NaCl et ils ne pouvaient détecter aucun effet significatif sur le pourcentage de germination après 14 h, mais un délai de 2 h en germination s'est produit sous la salinité. De même, González et Prado (1992) ont constaté que les pourcentages de germination ne diffèrent pas de manière significative entre les semences traitées de la NaCl de 0 et 200 mM. Cependant, le délai de retard dans la germination augmentait avec l'augmentation de la salinité. À 300-500 mm de salinité, le pourcentage de germination a également été réduit. Delatorre-Herrera et Pinto (2009) ont testé la germination dans quatre génotypes de quinoa chilienne et ont constaté qu'à 400 mM NaCl, qui était la concentration

qui a provoqué une réduction de 50% de la germination dans le génotype le plus tolérant au sel, le taux de germination était Ces résultats suggèrent que la salinité retarde principalement la germination commençant le début avant d'affecter le pourcentage de germination. L'établissement et la croissance des semis, germés et cultivés à 150 et 300 mM NaCl, ont montré que la biomasse de plantation et le rapport de longueur racine / prise de vue étaient différemment dans les plants de quatre génotypes différents au traitement de NaCl de 300 mM, tandis qu'il n'y avait pas d'effet significatif dans On peut conclure que la capacité d'établissement de germination et de plantation dans des conditions de solution saline dépend de la culture et probablement également du substrat dans lequel les graines sont mises à germer. Cependant, le quinoa prouve en général une grande capacité de tolérance à la salinité dans cette phase de développement précoce et critique du développement. La tolérance élevée du quinoa au stress de sel à la germination a été évoquée pour résulter d'un gradient important dans la distribution d'ions éventuellement toxiques (Na^+ et Cl^-) et des ions essentiels tels que K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , PO_4^{3-} . Ces observations ont été réalisées dans des graines récoltées à partir de plantes traitées salées et ont été conclues qu'un intérieur de semences hautement protégé peut-être la raison de la haute tolérance des graines de quinoa à la salinité a suggéré que la viabilité des semences dépendait de sa capacité à exclure Na^+ toxique de l'embryon en développement afin d'éviter la toxicité des ions. En résumé, il semble que la tolérance élevée du sel des graines de quinoa puisse être attribuée aux caractéristiques protectrices structurelles et physiologiques de ses graines .

L'importance des composants ioniques et osmotiques du stress salin sur la germination de quatre sélections de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). L'influence des composants du stress salin (facteurs osmotiques et ioniques) a été évaluée lors de la germination dans quatre sélections de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Deux cultivées dans la zone aride et saline des hauts plateaux (Amarilla et Roja) et deux dans les zones humides et sols non salins au Chili (Hueque et Pucura). Les graines ont été traitées avec différentes concentrations de sel (NaCl 0, 0,2. 0,4. 0,8 et 1,2 M). La cinétique de gémiation montre que les traitements témoins des quatre sélections atteignent 100% de germination. En appliquant 0,4 M de NaCl (LD50 max), la germination est réduite de 53% Amarilla et de 89,9% à Hueque. La vitesse de germination était plus faible dans les graines provenant de sélections de zones non salines, qui mettent 22 h pour atteindre 100% de germination, par rapport à 10 h chez Amarilla. En séparant les facteurs de stress de la salinité

(osmotique et ionique), il est possible de conclure que ceux-ci ont des amplitudes différentes d'influence sur la germination du quinoa, selon chaque sélection.

D'après Fernando E. Prado et *al.* (2000)

Les graines germées dans de l'eau distillée et dans une solution de NaCl 0,4 M ont été échantillonnées selon leurs stades de développement à 4, 6, 10 et 14 h à partir du début de l'incubation, puis placées à -20 °C pour arrêter le processus de germination. Les axes embryonnaires et les cotylédons de taille uniforme ont été séparés au microscope binoculaire. Une partie de ces tissus a été pesée pour obtenir le poids frais (FW). Le poids sec (DW) a été obtenu après séchage

Test de germination Les graines ont été stérilisées par immersion dans 2% d'hypochlorite de sodium pendant 7 minutes et rincées avec de l'eau distillée. Ils ont ensuite été mis à germer dans des boîtes de Pétri (5 cm) contenant une feuille de papier filtre (Whatman 1), humidifié avec 1 ml d'eau distillée ou de solution saline (0,1 ; 0,2; 0,3 et 0,4 M NaCl). Suite à une étude de germination, la concentration de 0,4 M a été sélectionnée pour des analyses détaillées. La concentration de sel la plus élevée utilisée correspond aux limites supérieures de salinité rencontrées dans divers lieux de culture du quinoa dans les régions montagneuses de Bolivie et du Pérou. Chaque boîte de Pétri contenait cinquante graines et chaque traitement a été effectué cinq fois. La germination a été effectuée à 25 ± 1 °C dans des conditions d'obscurité. Les pourcentages de germination ont été estimés après 4; 6; 8; dix; 12; 14; 16; 18; 20; 22 et 24 h en utilisant la saillie radriculaire (32 mm) comme critère. Le pourcentage de germination anormale, c'est-à-dire la proportion de graines avec cotylédons sans protrusion radriculaire (graines avortées), a également été déterminé. Après 14 h, les graines non germées sous stress salin ont été rincées dans de l'eau distillée pendant 3 min et placées sur du papier filtre humidifié avec de l'eau distillée, et incubées à nouveau

Germination et FW, DW Changements La germination des graines de *C. quinoa* dans de l'eau distillée a atteint son maximum en 12 ~ 14 h. Dans le NaCl, la germination maximale a eu lieu plus tard que chez le témoin, l'ampleur du retard dépendant de la concentration de sel utilisée. Une concentration de sel de 0,1 M retardait légèrement la germination et des concentrations plus élevées provoquaient progressivement une forte inhibition, avec un effet maximum

résultant à 0,4 M. L'extension du processus germinatif à 24 h a abouti à des taux de germination équivalents à ceux du témoin à des concentrations de 0,1 et 0,2 M. Les niveaux de 0,3 et 0,4 M de NaCl n'ont permis que 67 et 26% de germination, respectivement. Pour les analyses des effets sur les niveaux de glucides, seule la concentration de sel la plus élevée, 0,4 M a été utilisée. De plus, seules les 14 premières heures du processus de germination ont été examinées, lorsque les témoins dans l'eau distillée ont atteint le taux de germination maximal. Le taux de graines avortées dans 0,4 M de NaCl après 14 h était inférieur à celui de l'eau distillée (7% et 16%, respectivement). Un pourcentage élevé (67%) de graines non germées dans des conditions salines a germé après lavage à l'eau distillée

Selon Gomez-Pando *et al.* (2010)

La germination de 182 accessions de quinoa a été évaluée dans des boîtes de Pétri (diamètre : 10 cm, hauteur : 2 cm). Les graines (100 par boîte) ont été placées sur du papier filtre. Trois solutions d'irrigation ont été comparées : eau distillée, eau salée (NaCl) avec EC 25-dS/M et saumure avec EC 30-dS/M. Chaque traitement a été appliqué sur trois boîtes de Pétri recouvertes d'une serviette en papier avec l'ajout de 5 ml de solution au début de l'expérience. Chaque plaque a ensuite été irriguée quotidiennement avec 1 ml d'une solution appropriée. L'expérience a été menée sous une densité de flux de photons optiques de 458 $\mu\text{mol m}^{-2}$ (16 h / jour) à 20 °C. Le pourcentage de germination a été enregistré après 10 jours.

En revanche, sous l'irrigation des boîtes de Pétri avec 25 ds/m) 1 eau saline CE, 15 d'accessoires de quinoa ont présenté une germination de plus de 60% de leurs graines et leurs traits agricoles ont été évalués dans une seconde expérience. La salinité a diminué le nombre de graines germées et dans celles qui l'ont fait, le processus de germination a été retardé.

Le mécanisme de tolérance au sel à l'étape de germination est un problème très important. Selon Prado *et al.* (2000), si la plante parvient à germer et à prendre racine, il existe une forte possibilité que cela se développe aux prochaines étapes.

Un autre article par A. Yang et al. (2017) évoque que :

Les halophytes sont tolérants à l'excès de sels mais souvent pas au stade de la germination . Cela représente également le quinoa .

Gomez-Pando et al. (2010) ont rapporté que le pourcentage de germination de quinoa varie selon les régimes de salinité (eau salée de 250 mM) en fonction de leur variabilité génétique et de leur résistance au stress du sel. Cependant, l'amorçage des semences, peut-être une méthode simple et bon marché pour un meilleur établissement et une meilleure croissance sous la salinité pour augmenter la tolérance au sel.

L'amorçage saponin semble améliorer la germination sous contrainte au sel en raison d'un raccourcissement de la phase de la germination (phase métabolique principale) ainsi que de l'affaiblissement du péricarpe de semences. Cette amélioration peut être très liée à la composition de la saponine, à avoir une hormone (gibbérellines) et des antioxydants (phénoliques) comme des composés qui déclenchent la germination .

Les saponines peuvent agir en tant que biostimulants pour la germination, en particulier sous contrainte à la saline

La salinité provoque une déshydratation cellulaire et des inductions supplémentaires à une concentration de soluté accrue dans les plantes, augmentant ainsi le potentiel osmotique et conduisant à la toxicité des ions .

Cependant, l'amorçage avec la saponine conduit à des effets positifs à la fois sous irrigation saline et irrigation non saline, la plus prononcée après l'application de 15% et 25% de Saponine. Réglage osmotique pour la survie des plantes sous la salinité élevée est liée à la conservation K^+ et restreignant une accumulation de Na^+ élevée en cytosol,

D'après Hans-Werner Koyro et Sayed Said Eisa (2008) la salinité influe la germination de graine de quinoa. La capacité de germination a été diminuée par la taille de graine réduite et une réduction des proportions du volume du péricarpe

Ana María et al. (2010) Rapportent que le pourcentage de germination finale des graines de quinoa n'a pas été affectée par le sel. Cependant, la présence de NaCl de 250 mM a entraîné un

retard de 2 h au début de la germination des semences. Des pourcentages de germination similaires ont été obtenus avec NaCl de 300 et 400 mM mais les temps de retard étaient plus longs qu'avec un sel de 250 mM .

M. R. Panuccio *et al.* (2014) ont mentionnés que les graines ont été stérilisées en surface pendant 20 min dans de l'hypochlorite de sodium à 20% (v / v), rincées et trempées pendant 1 h dans de l'eau distillée. La procédure de stérilisation est nécessaire pour éliminer la saponine des graines et pour éviter la contamination par des micro-organismes pendant le processus de germination. L'ensemble de la procédure de stérilisation, y compris le trempage, a pris 1 h et n'a pas affecté le processus de germination . Pour les tests de germination, cinq répétitions de 50 graines ont été utilisées avec du SW méditerranéen collecté dans la mer de Tirreno (Calabre sud de l'Italie) avec une salinité de 38% ou des solutions de NaCl, CaCl, KCl ou MgCl, à la concentration à laquelle ils se trouvaient dans le SW et à différentes dilutions. Dans l'expérience, cinq concentrations différentes de NaCl (0, 100, 200, 300 et 400 mM); KCl (0, 2,54, 5,08, 7,62 et 10,2 mM); CaCl₂ (0, 2,54, 5,08, 7,62 et 10,2 mM) et MgCl₂ (0, 13,4, 26,7, 40,1 et 53,5 mM) ont été utilisés pour tester si les différents ions affectaient différemment les indices de germination et pour vérifier d'éventuels antagonistes ou synergiques. En effet les graines. Les graines ont été placées sur du papier filtre dans des boîtes de Pétri de 9 cm de diamètre contenant 3 ml de chaque solution. Les boîtes de Pétri ont été hermétiquement scellées avec du Parafilm pour empêcher l'évaporation et conservées dans la chambre de croissance à une température de 25 +1 ° C dans l'obscurité avec une humidité relative de 70%. Les graines sont considérées comme germées lorsque la radicule s'est étendue d'au moins 2 mm. Indice de germination. Le nombre de graines germées a été enregistré quotidiennement pendant 7 jours maximum. À partir de ces comptages de germination, plusieurs attributs de germination ont été calculés pour caractériser la tolérance au sel, y compris le pourcentage de germination (%) à 1 et 7 jours, le coefficient de vitesse de germination (CVG) (Kader et Jutzi, 2004), l'indice de taux de germination (GRI) et temps moyen de germination (MGT).

L'effet de l'eau saline sur la germination des graines et la croissance précoce des semis de l'halophyte quinoa selon, Expérience 1 : la germination sous conditions salines dans l'eau, toutes les graines (100%) ont germées. Aux concentrations inférieures, les sels individuels (NaCl, CaCl₂,

KCl et MgCl₂) n'ont eu aucun effet significatif sur le pourcentage de germination des graines de quinoa. Inversement, diluer SW Baissé de manière significative la germination, avec une concentration croissante en sel, le pourcentage de germination a diminué, quel que soit le traitement, à l'exception du MGCL2. La réduction la plus forte de la germination a été observée en présence de 75 et 100% SO par rapport aux autres sels. L'inhibition de différentes solutions de sel sur la germination des graines était de l'ordre du SW. NaCl. KCl. CaCl₂. MgCl₂. Il n'y avait pas de différences significatives entre les traitements en matière de rapidité de germination (CVG), sauf dans le SW. La GRI, reflétant le pourcentage de germination à chaque jour de la période de germination, a diminué dans le cadre de la NaCl et du SW. La diminution la plus forte a été observée dans SW. Aucune différence significative n'a été observée chez NaCl, CaCl₂, KCl et MgCl₂ et le contrôle, en termes de MGT. Inversement, avec un pourcentage SW croissant, le MGT a augmenté, atteignant des valeurs 10 fois supérieures à la commande et des autres traitements. La forte relation inverse significative entre les concentrations de SW et les indices de germination a confirmé les effets néfastes de la germination des semences. Séparation des composants ioniques et osmotiques. Le calcul de l'importance relative des contraintes des composants osmotiques et ioniques a montré que les deux facteurs stressants ont apporté une contribution différente de la détérioration de la germination en fonction des sels utilisés. En présence de MgCl₂, les deux facteurs stressants (ioniques et osmotiques) ont eu un effet proportionnel sur la réduction de la germination des graines, comme le montre la valeur du rapport IE/OE.

Yuda Hariadi et *al.* (2010)

Un effet significatif (à $P < 0,05$) de la salinité sur la germination des graines était évident que pour des concentrations > 400 mm. La comparaison entre les solutions Isotonic NaCl et Mannitol ou PEG suggère que la toxicité spécifique des ions est la principale raison du déclin observé de la germination des semences. En effet, à la concentration la plus élevée (NaCl de 500 mm ; équivalent à 0,9 osm kg⁻¹) La germination des graines n'était que de 2461,5%, tandis que la germination du quinoa de traitement de l'isotonique a été comprise entre 6062% (significatif à $P < 0,001$) .

D'après Fanny I. Schabes, E. Elizabeth Sigstad (2004)

La Germination des graines Sous conditions Stress des graines de quinoa découle principalement des interactions physicochimiques qui se produisent entre les réserves de stockage de semences (44,55%) de la voiture Lorsque des solutions de sel sont utilisées, le taux d'imbibition doit être influencé par l'effet osmotique causé par le sel.

Ça devrait inclure des interactions de réserves de stockage de semences d'eau et les effets, le cas échéant, causés par là. Il est important de souligner que le temps considéré comme la fin de l'imbibition ici est lorsque la courbe de la germination des graines de quinoa atteint sa valeur minimale, lorsque P due à l'imbibition atteint un état stable et P en raison du métabolisme commence à augmenter Ainsi, lorsque tous les sites actifs pour l'eau ont interagi. montre t_i et t_{ih} valeurs comme obtenues pour les différents traitements de sel tracés en fonction de la concentration en sel pour les graines de CVS. Robura et Sajama. Les différences entre les moyens des différents traitements dans les deux paramètres d'imbibition sont observées pour les graines de CV. Robura ($p < 0,05$) alors qu'aucune différence n'est observée pour les graines de CV. Sajama. Avait un traitement de sel particulier, les valeurs t_i telles que déterminées à des concentrations supérieures

à 75-100 mm sont nettement supérieures à celles des graines de contrôle de CV. Robura. Notez les valeurs t_i dans NaCl de 100 mm et KCl et 75mm Na_2SO_4 . Ainsi, les valeurs t_i ne reflètent que le taux d'imbibition comme indiqué avant la diminution légèrement (plus élevée) avec une concentration croissante en sel. Les valeurs de t_{IH} ne présentent pas de différences significatives en ce qui concerne le contrôle à l'exception de la valeur déterminée en Na_2SO_4 de 75 mm, ce qui est plus élevé. La frappe est d'observer la valeur de t_{IH} tel que déterminé dans 50 mm KCl et K_2SO_4 . pour les graines de CV. Robura nettement inférieur aux valeurs déterminées dans les sels de sodium correspondants. Effet similaire mais pas significativement différent est observé pour les graines de CV. Sajama et 100mmkclcl en ce qui concerne 100mmnacl. avec $p = 0,06$. Par conséquent, cet effet pourrait être lié à la cation K^+ . L'afflux de K^+ se produit normalement à travers des systèmes d'absorption d'affinité élevée.

Notez une amélioration de l'uniformité et un respect du respect de la commande lorsque les graines de quinoa CVS. Robura sont germés en 50 et Sajama en NaCl de 100 mm. Valeurs de t_{GH} telles que déterminées dans NaCl de 50 mm, Na_2SO_4 , 50 et 100 mm Na_2CO_3 pour les graines CV. Robura et 100mm NaCl et Na_2CO_3 pour Graines CV. Sajama sont identiques entre eux et avec des

valeurs de contrôle. Cela pourrait impliquer que, à ces concentrations de sel, les réactions métaboliques impliquées avec un transport d'ions ou avec un effet d'atténuation du sel n'existent pas également de même qu'observée dans les paramètres d'imbibition. Il est maintenant généralement admis que pour des concentrations de Na^+ modérées à hautes, le gradient électrochimique créé par H^+ -ATPase favorise une entrée Na^+ passive. La frappe est d'observer la valeur déterminée dans KCl pour les deux cultivars qui, indépendamment de la concentration étant similaires, parmi eux et avec la valeur déterminée en 200 mm NaCl pour les graines de CV. Sajama et NaCl de 100 mm pour les graines de CV. Robura. Les paramètres d'imbibition déterminés ont prédit qu'un mécanisme de transport K^+ d'affinité élevé pourrait être présent. Apparemment, les graines de CV. Sajama active un système équivalent, en termes d'énergie, pour l'afflux de Na^+ et Cl^- à 200 mm NaCl et de graines de CV. Robura à 100 mm. L'absorption d'anion sur la membrane plasmique est normalement un processus actif nécessitant la co-transport avec des protons et devrait donc être considéré comme étant également pris en compte dans le terme d'énergie. Ces résultats indiquent que les graines de CVS. Robura et Sajama ont un comportement différent dans la NaCl mais similaire à KCl, Na_2CO_3 et probablement Na_2SO_4 . Notez les mêmes valeurs gh que déterminées dans 100 mm Na_2SO_4 pour les graines des deux cultivars. Notez également la diminution des valeurs de G dans Na_2SO_4 pour les graines des deux cultivars en ce qui concerne le contrôle et au-dessus de 100 mm Na Cl pour les graines de CV. Robura alors qu'une valeur G accrue G est observée pour les graines de CV. Sajama en 200mm NaCl. Probablement, au-dessus de 100 mm de graines de Na Cl de CV. Robura, subit un stress osmotique interne causé par le sel qui nécessite une régulation du flux d'eau. En ce sens, la mobilité des aquariens à l'intérieur des cellules et la régulation différentielle dans l'expression de ces protéines ont été rapportées lorsque des plantes sont soumises à un stress salin.

Conclusion

Conclusion

La salinisation des sols constitue un problème majeur en Algérie. De ce fait, l'introduction d'espèces nouvelles, comme le quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), qui possède un potentiel très important de tolérance à la salinité, constitue une solution durable, notamment dans les régions à climats semi-aride et aride.

Suite à l'analyse de quelques articles scientifiques qui ont contribué à l'étude et à la détermination de l'effet de la salinité sur la germination d'une accession de variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) qui sont soumises à des concentrations croissantes en NaCl.

Ces études ont démontré que la salinité a un effet néfaste sur la germination, quel que soit la variété, mais le degré de réponse vis-à-vis du stress salin diffère d'une variété à une autre.

L'aptitude à la germination reste pratiquement stable pour l'ensemble des variétés jusqu'à la concentration 300 mM.l-1

Le stress salin a marqué une diminution de germination, cette diminution s'accroît au fur et à mesure, que le stress salin devient important néanmoins, le quinoa a fait preuve d'une remarquable tolérance aux sels.

La capacité germinative et la vitesse de germination diminuent avec l'augmentation de la concentration en NaCl.

Les effets dépressifs de sel sont essentiellement de nature osmotique. Mais à de fortes concentrations des phénomènes de toxicité peuvent se manifester.

D'une manière générale, les écotypes du quinoa ont fait preuve d'une meilleure tolérance au sel.

Références

Références

A

- Abdelly. C. Öztürk. M. Asharf. M et Grignon. C. 2008. Biosaline Agriculture and High Salinity Tolerance. (Eds) Birkhäuser Verlag/L Swizerland, 367 P.102
- Alem C., Amri A. 2005. Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Reviews in Biology and Biotechnology*, Vol. 4, No. 1: 20-31.
- Ana María C. Ruffino. Rosa M. Mirna H. Juan A. 2010. The role of cotyledon metabolism in the establishment of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seedlings growing under salinity. *Thermochimica Acta* 428 (2005) 71–75

B

- Bartels D. et Nelson D. 1994 Approche to improve stress tolerance using molecular genetics. *Plant Cell Environ.* 17: P 659-667.
- Beatriz V. and Suzana C. 2012. Applications of Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) and Amaranth (*Amaranthus* Spp.) and Their Influence in the Nutritional Value of Cereal Based Foods. *Food and Public Health*. Vol 2(6): 265-275.
- Belhabib. 2005. Les cultures alternatives : Quinoa, Amarante et épeautre. Bulletin du PNTTA n° 133, Octobre 2005.
- 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.
- Ben Kaddour M. 2014. Modifications physiologiques chez des plantes de blé (*Triticum Durum* Desf) exposées à un stress salin. Thèse en vue de l'obtention d'un diplôme de doctorat 3^{ème} Cycle, Université Badji Mokhtar, Annaba.
- Berthomieu P., Conejero G., Nublat A., Brachenbury W.J., Lambert C., Savio C., Uozumi N., Oiki S., Yamada K., Cellier F., Gosti F., Simonneau T., Essah P.A. , Tester M., Very A.A.,

Sentenach H., Casse F. 2003. Functional analysis of AtHKT1 in Arabidopsis shows that Na⁺ recirculation by the a phloem is crucial for salt tolerance. *Embo Journal*, Vol. 22 : 2004-2014.

Bouaouina S. Zid E. Hajji M. 2000. Tolérance a la salinité, transports ionique et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L). CIHEAM – Options Méditerranéennes. PP 239-243.

Brakez M. Harrouni C. Tachbib1 N. Daoud S. 2014. Comparative effect of NaCl and seawater on germination of quinoa seed (*Chenopodium quinoa* willd) Emir. *J. Food Agric.* 2014. 26 (12): 1091-1096

D

Delatorre-Herrera J. & Pinto M. 2009. Importance of ionic and osmotic components of salt stress on the germination of four quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) selections. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69, 477–485.

Delatorre-Herrera1 J et Pinto M. 2008. Importance of ionic and osmotic components of salt stress on the germination of four quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) selections.

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.

Durand JH. 1958. Les sols irrigables. Etude pédologique –Ed. Imbert, Alger, 190p.

E

Epstien.E. Norlyn. J D. Rush. D W. Kingsbury. R W. Kelly. D B. Cunningham. G A. et Wrona, A F. 1980. Saline Culture Of Corps : A *Genetic Approach*. *Science* 210. 399-404.

F

Fanny I. Schabes E. Elizabeth Sigstad. 2004. Calorimetric studies of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed germination under saline stress conditions. *Thermochemica Acta*, 428 (2005) 71–75.

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. FAOSTAT Database, FAO. (1 December 2016; www.fao.org/faostat).

FAOSTAT. 2010. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>

Fernando E. Parado. 2000. Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. seeds. *J. Agronomy & Crop Science* (2010).ISSN 0931-2250.

Flowers TJ., Galal HK., Bromham L. 2010. Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Funct Plant Biol* 37:604–612.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2011. Faostat for worldwide grown surface and production of quinoa. <http://faostat.fao.org/site/567/Desktop>.

Fuentes F., Bhargava A. 2011. Morphological analysis of Quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *J Agron Crop Sci* 197:124–134.

G

Gandarillas, H. 1979a. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) : Genética y origen. In: *La Quinua y la Kañiwa cultivos andinos*. Tapia, M.E., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A., Mujica, A.(Eds.). CIID-IICA. Bogota, Colombia. pp. 45-64.

Gandarillas, H. 1979b. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Botánica. In: *La Quinua y la Kañiwa cultivos andinos*. Tapia, M.E., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A., Mujica, A. (Eds.). CIIDIICA. Bogota, Colombia. pp. 20-44.

Gandarillas H. 1968. Caracteres botánicos más importantes para la clasificación de la quinua. In: Universidad Nacional Técnica del Altiplano, ed. *Anales de la Primera convención de Quenopodiáceas quinoa – cañahua*. Puno, Perú: Universidad Nacional Técnica del Altiplano, 41-49.

Gomez-Pando L. R. Ivarez-Castro R. & Eguiluz-de la Barra. A. 2010. Effect of Salt Stress on Peruvian Germplasm of *Chenopodium quinoa* Willd.: *A Promising Crop*. DOI: 10.1111/jac.12229.

González J., Bruno M. 2011. Genotypic variation of gas exchange parameters and leaf stable carbon and nitrogen isotopes in ten quinoa cultivars grown under drought. *Journal of agronomy and crop science* 197(2): 81-93.

H

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), Pp 168-173.

Hariadi Y. Marandon K. Tian Y. Jacobsen SET Shabala S. 2010. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 62, No. 1, pp. 185–193, 2011

Hassani A., Dellal A., Belkhodja M., KAID- HARCHE M. 2008. Effet de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum Vulgare*). *European Journal of Scientific Research*. ISSN 1450-216X Vol.23 No.1, pp.61-69.

Hopkins W.G. 2003. Physiologie végétale. 2^{ème} édition. De Boeck, Bruscelles : 476 p.

I

Isabelle Adolfa V. Jacobsena S. Shabalab S. 2012. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) EEB-2568; No. of Pages 12

Ismail A.M.A. 1990. Germination ecophysiology in population of *Zygophyllum qatarenses* Hadidi from contrasting habitats. *J. Arid. Environ*, 18: 185-194.

J

Jabnoue M. 2008. Adaptation des plantes à l'environnement : Stress salin.

Jabnoue M. 2008. Adaptation des plantes au stress Salin : caractérisation de transporteurs de sodium et de potassium de la famille HKT chez le riz. Thèse de doctorat d'état, centre international d'études supérieures en sciences agronomiques, France, 289 p.

K

- Keller F. et Ludlow M.M. 1993. Carbohydrate Metabolism in Drought-Stressed Leaves of Pigeonpea (*Cajanus cajan*), *Journal of Experimental Botany*, Vol. 44, No. 265, pp. 1351-13.
- Koyro H. Said Eissa S. 2008. Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. *Plant Soil* (2008) 302:79–90

L

- Lebonvallet S. 2008. Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'altiplano bolivien. Thèse pour obtenir le grade de Docteur, l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech), paris.
- Lemzeri H. 2006. Réponses écophysiologicals de trois espèces forestières du genre *Acacia*, *Eucalyptus* et *Schinus* (*A. cyanophylla*, *E. gomphocephala* et *S. mölle*) soumises à un stress salin. Mémoire de magistère, Université de Mentouri Constantine, 180 p.
- Levigner A., Lopez F., Varisuyt G., Berthomien P., Casse-Delbar T. 1995. Les plantes face au stress salin. Cahier d'agriculture. (4) : 263-273.
- Levitt J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses: Water, Radiation, Salt, and other stresses, Academic Press, New York, pp. 365-488.

M

- 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
- Moreno C. Seal C. E. Papenbrock J. 2017. Seed priming improves germination in saline conditions for *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus caudatus*. DOI 10.1007/s11104-007-9457-4
- Mujica A., Izquierdo J., Marathee J.P. 2001. Origen y descripción de la quinua. Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) : ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro.

Mujica, A., Jacobsen, S. E., Izquierdo, J., Marathe, J. P. et FAO (eds). CIP, UNAP. FAO, CD Cultivos Andinos, version 1.0. Santiago, Chile.

Munns R. et Terter M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Ann. Rev. Plant Biol.* 59: 651-681.

P

Panuccio. M. R. Jacobsen S. E. Akhtar. S. S. and Muscolo. 2014. Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa. *AoB PLANTS* 6: plu047; doi:10.1093/aobpla/plu047.

Prado F.E. Boero C. Gallardo M. González 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.

R

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

Rojas W., Pinto., Soto J.L. 2010. Distribucion geográfica y variabilidad genética de los granos Andinos: Avances , logros y experiencias desarrolladas en quinua , canahua y amaranto en Bolivia Bioersivity International 2010. <http://www.proipa.org/index.php>.

Ruffino A. M. C. Rosa M. Hilal M. Gonzalez J. A. & Prado F. E. 2010. The role of cotyledon metabolism in the establishment of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seedlings growing under salinity. *Plant and Soil*, 326, 213–224.

S

Schabes F. Elizabeth Sigstad. E. 2004. Calorimetric studies of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed germination under saline stress conditions. *AoB PLANTS* 6: plu047; doi:10.1093/aobpla/plu047

Schabes F. Elizabeth Sigstad E. 2005. Calorimetric studies of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed germination under saline stress conditions. *Thermochimica Acta* 428 (2005) 71–75

T

- Tanji. K K. 1990. Nature and extent of agricultural salinity. In: Tanji, kk (ed) Agricultural salinity assessment and management. American Society of Civil Engineers, New York, 1-17.
- Tapia M.E. 2000. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) : ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro.
- Tapia, M.E. 2002. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. In: *Cultivos Andinos*. CD-Rom, Versión 1.0. FAO, UNA-Puno, CIP. Santiago, Chile.
- Tremblin G. 2000. Comportement auto-écologique de *Halopeplis amplexicaulis* : plante pionnière des sebkhas de l'ouest algérien. *Sécheresse*, 11 (2) : 109-116.

Y

- Yang A. Akhtar S. S. Iqbal S. Qi Z. Alandia G. 2015. Saponin seed priming improves salt tolerance in quinoa. *J. Agro. Crop. Sci.* 2018 ; 204 :40–48.

W

- Weretilnyk E.A., Bednarek S., Mccue K.F, Rhodes D., Hanson A.D. 1989. Comparative biochemical and immunological studies of betaine synthesis pathway in diverser families of dicotyledons. *Planta*. (178) 342-352.
- Winkel T. 2009. Le Quinoa : le succès bio équitable d'une plante ancestrale. *Actualité scientifique*, 329 : 2.

Z

- Zid E. et Grignon C. 1991. Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. John Libbey. Eurotext, Paris : 91-108.

Annexes

Annexes

- Ana María C. Ruffino. Rosa M. Mirna H. Juan A. 2010. The role of cotyledon metabolism in the establishment of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seedlings growing under salinity. *Thermochimica Acta* 428 (2005) 71–75
- Brakez M. Harrouni C. Tachbib1 N. Daoud S. 2014. Comparative effect of NaCl and seawater on germination of quinoa seed (*Chenopodium quinoa* willd) Emir. *J. Food Agric.* 2014. 26 (12): 1091-1096
- Delatorre-Herrera1 J et Pinto M. 2008. Importance of ionic and osmotic components of salt stress on the germination of four quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) selections
- Fernando E. Parado. 2000. Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. seeds. *J. Agronomy & Crop Science* (2010).ISSN 0931-2250
- Gomez-Pando L. R. Ivarez-Castro R. & Eguiluz-de la Barra. A. 2010. Effect of Salt Stress on Peruvian Germplasm of *Chenopodium quinoa* Willd.: *A Promising Crop*. DOI: 10.1111/jac.12229
- Hariadi Y. Marandon K. Tian Y. Jacobsen SET Shabala S. 2010. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 62, No. 1, pp. 185–193, 2011
- Isabelle Adolfa V. Jacobsena S. Shabalab S. 2012. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) EEB-2568; No. of Pages 12
- Koyro H. Said Eissa S. 2008. Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. *Plant Soil* (2008) 302:79–90
- Moreno C. Seal C. E. Papenbrock J. 2017. Seed priming improves germination in saline conditions for *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus caudatus*. DOI 10.1007/s11104-007-9457-4

- Panuccio. M. R. Jacobsen S. E. Akhtar. S. S. and. Muscolo. 2014. Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa. *AoB PLANTS* 6: plu047; doi:10.1093/aobpla/plu047
- Schabes F. Elizabeth Sigstad. E. 2004. Calorimetric studies of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed germination under saline stress conditions. *AoB PLANTS* 6: plu047; doi:10.1093/aobpla/plu047
- Schabes F. Elizabeth Sigstad E. 2005. Calorimetric studies of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed germination under saline stress conditions. *Thermochimica Acta* 428 (2005) 71–75
- Yang A. Akhtar S. S. Iqbal S. Qi Z. Alandia G. 2015. Saponin seed priming improves salt tolerance in quinoa. *J. Agro. Crop. Sci.* 2018 ; 204 :40–48.

الملخص

الغاية من ادخال الكينوا الى الجزائر هو تكييف نبات الكينوا مع امكانية استخدامه كمحصول جديد يساهم في تنوع الاغذية وتعميم المحاصيل على الارض المتأثرة بالملوحة وندرة الموارد المائية .

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير الملوحة على انبات ستة انواع من الكينوا (q103,q104,q105,sajama, santa) maria et q29) (الخاضع. لتركيزات متزايدة من NaCl اظهرت النتائج ان مقاومة الملوحة تختلف من نمط وراثي لأخر.

الكلمات المفتاحية : كينوا .اجهاد الملح .الانبات. كلوريد الصوديوم .

Résumé

Le but 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'analyser quelques articles scientifiques qui ont contribué à la détermination de l'effet de la salinité sur la germination de d'une accession de variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) qui sont soumises à des concentrations croissantes en NaCl. Les résultats obtenus ont montré que la résistance à la salinité est variable d'un génotype à l'autre

Mots clé : Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) , stress salin, germination, NaCl .

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 six quinoa varieties (*Chenopodium quinoa* Willd.) Which are subjected to increasing concentrations of NaCl. The results obtained showed that the salinity resistance of the three varieties was observed in a variable manner from one genotype to another.

Key words: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Salt stress, germination, NaCl.