

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE
N° 66/DSA/2022



DOMAINE : SNV
FILIERE : Sciences agronomiques
OPTION : Production végétale

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par : ALLIA Rabah
KHELIF Abdelouahed
ZINELABIDINE Idriss

Intitulé

Sélection des génotypes du quinoa tolérants au stress salin

Soutenu devant le jury composé de:

M ^r BENCHIKHN.	Université de M'sila	MAA	Président
M ^r HADJ KOUIDER B.	Université de M'sila	MCA	Promoteur
M ^{me} LALLOUCHE B.	Université de M'sila	MCA	Co-Promoteur
M ^r SAADA.	Université de M'sila	MAA	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Nous tenons à exprimer notre plus profonde gratitude et appréciation au promoteur de ce mémoire : **M^r HADJ KOUIDER B., MCA.**, et au Co-promoteur **M^{me} LALLOUCHE B., MCA.**, au département d'agronomie, Université Mohamed Boudiaf de M'sila pour avoir acceptés de diriger ce travail, pour leur patience, encouragements, orientations et leurs conseils précieux.

Nous tenons à remercier chaleureusement les membres du jury : **M^r BENCHIKH N.**, enseignant chercheur au département des Sciences Agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila et **M^r SAAD A.**, enseignant chercheur au département des Sciences Agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila de nous avoir fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire, de nous consacrer du temps et de porter leur jugement expert sur ce modeste travail.

Nous adressons aussi nos remerciements à l'ingénieur de la serre monsieur **AROUSSIB.** pour son aide pratique et sa disponibilité durant notre préparation de ce travail

Nous remercions également l'équipe de laboratoire de département des sciences agronomiques, Université de Med. Boudiaf pour leur disponibilité, leur patience, et surtout leurs conseils qui nous ont aidés alimenter notre réflexion.

Nous souhaitons également d'adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos parents pour leur soutien et leur patience et à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,

L'amour, le respect, la reconnaissance...Aussi,

C'est tout simplement que Je dédie ce Travail...

A mon père Zoubir et ma mère Faiza

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, Bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive. A mon frère Yacine, ma jolie sœur Sarah, Massouda, Yassmine et Karima.... et Khalti Souad et Mohamed. Et Maria et à toutes nos familles.

Je vous souhaite une vie pleine de Bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

ET à mes chers amies Alaa, Rabeh, Abdou, Souhaib, Selami, Madani, Rafike, Fares, Miloud, Ali, Kamel, Marouane et Hicham et à tous ceux qui connaissent notre famille

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

IDRISS

Dédicaces

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail

*À qui je le préfère à moi-même et pourquoi pas, elle s'est sacrifiée pour moi et n'a ménagé aucun effort pour me rendre heureux toujours, ma mère bien-aimée **Ben arbia djamila***

Au propriétaire d'une biographie parfumée et d'une pensée éclairée, il a été crédité d'avoir atteint l'enseignement supérieur

*Qui a travaillé dur et fait tous les efforts et m'a soutenu financièrement et moralement et avec tout ce qu'il pouvait Mon cher père **Khelif rabah***

Ceux qui ont eu un grand impact dans la résolution de nombreux obstacles et difficultés

*à mon grand frère **Houssam Eddine***

*à ma petite soeur **Nor Elhouda***

*A mon binôme **Idriss et Rabah***

ABDELOUAHED

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à :

Ma petite famille

*Ma femme **IKRAM** et mon fils **DJOUD***

Mes parents

*Ma mère **FAIROUZ** qui a tous sacrifié pour moi et mes frères et sœurs,*

Qui m'a toujours soutenu et conseiller,

Pour toute son assistance et sa présence dans ma vie reçois à travers ce travail

aussi

modeste soit-il, l'expression de mon éternelle gratitude

*à Mon père, **KAMEL EDDINE** ce bel homme qui a toujours été, et restera*

toujours

mon exemple et mon idole,

aussi

A mes chères sœurs et frères

*Sans oublier mon binôme **IDRISS** et **Abdelouahed***

RABAH

الملخص

كان الغرض من هذه الدراسة هو مقارنة السلوك الانتاشي لعدد من أصناف الكينوا في ظل ظروف الإجهاد الملحي. حيث تم اختبار سبعة أنواع من الكينوا المزروعة والمتداولة في الجزائر. تتعلق القياسات التي تم إجراؤها: بمعدل سرعة إنتاش البذور ومعدل الإنبات النهائي. أظهرت النتائج أن تركيز الملح المستعمل في السقي كان له تأثير سلبي ومثبط على الإنبات. ومع ذلك، لاحظنا اختلاف وتباين في تأثير الملوحة، توافقا مع تركيز شدة الإجهاد الملحي وصنف الكينوا المعني. حيث أنه لم تتأثر سرعة وقدرة الإنبات للأصناف المدروسة على مستوى الشاهد 0 مل مول كلوريد الصوديوم. وأيضا على مستوى تراكيز الملوحة المنخفضة: 50 مل مولو 100 مل مول كلوريد الصوديوم. من ناحية أخرى، كان للتركيزات العالية جدًا البالغة 150 مل مول كلوريد الصوديوم، و200 مل مول كلوريد الصوديوم تأثير سلبي على الإنبات وأدى إلى تثبيط وتأخير الانتاش. كما أظهرت الأصناف Q. gris و Q.102* Q. noir أكثر تحملاً للملوحة مقارنة بالأصناف الأخرى التي تم اختبارها ودراستها.

الكلمات المفتاحية: الكينوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) ، الإجهاد الملحي، سرعة الإنتاش، معدل الإنبات،

نسبة الانتاش، التباين المورفولوجي.

Abstract

The purpose of this study was to compare the germinal behaviour of several quinoa cultivars under saline stress conditions. Seven varieties of quinoa grown and sold in Algeria were tested. The measurements carried out concern the germination rate of the seeds and the final germination rate. The results showed that salt inhibited the speed and germination rate of the varieties studied. However, this effect will vary depending on the intensity of the stress and the type in question. The germination capacity of the cultivars it's not affected at control levels (0 mM) and low-dose NaCl treatment levels (50 mM and 100 mM). On the other hand, high concentrations of NaCl (150 mM and 200 mM NaCl) hurt the speed and rate of germination of the seeds tested and resulted in germination inhibition. The varieties Q. grey, Q. black, and Q.102' were the most salt-tolerant than the other varieties studied.

Keywords: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), saline stress, tolerance, germination rate, germination rate, morphological variability.

RESUME

Cette étude visait à comparer le comportement germinatif de plusieurs cultivars de quinoa en conditions de stress salin. Sept variétés de quinoa cultivées et vendues en Algérie ont été testées. Les mesures effectuées portent sur la vitesse de germination des graines et le taux de germination final. Les résultats ont montré que le sel avait un effet inhibiteur sur la vitesse et le taux de germination des variétés étudiées. Cependant, cet effet variera en fonction de l'intensité du stress et du type en question. La capacité de germination des cultivars n'a pas été affectée aux niveaux de témoin (0 mM) et aux niveaux de traitement à faible dose de NaCl (50 mM et 100 mM). D'autre part, des concentrations élevées en NaCl (150 mM et 200 mM de NaCl) ont eu un effet négatif sur la vitesse et le taux de germination des graines testées et ont entraîné une inhibition de germination.

Les variétés Q. gris, Q. noir et Q.102' étaient les plus tolérantes au sel que les autres variétés étudiées.

Mots clés : Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), stress salin, tolérance, vitesse de germination, taux de germination, variabilité morphologique.

TABLE DE MATIERE

REMERCIEMENTS

RESUME

TABLE DE MATIERE

LISTE D'ABREVIATION

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION	15
CHAPITRE I: GENERALITES SUR LE QUINOA	17
1.1. Origine du quinoa	17
1.2. Distribution géographique de quinoa.....	18
1.3. Les écotypes de quinoa	19
1.4. La description de quinoa	20
1.4.1. Description botanique.....	20
1.4.2. Description morphologique.....	21
1.4.2.1. Caractère végétatifs.....	21
1.4.2.1.1. Système racinaire.....	21
1.4.2.1.2. La tige	21
1.4.2.1.3. Les ramifications	22
1.4.2.1.4. Les feuilles	23
1.4.2.2. Caractères floraux.....	23
1.4.2.2.1. L'inflorescence	23
1.4.2.2.2. Les fleurs	24
1.4.2.2.3. Les fruits	25

1.4.2.2.4. La graine	25
1.4.2.2.5. Saponine	26
1.5. Physiologie de quinoa.....	27
1.5.1. Résistance à la sécheresse.....	27
1.5.2. Résistance au froid.....	29
1.5.3. Résistance aux parasites, maladies, ravageurs.....	30
1.5.4. Tolérance à la salinité.....	31
1.6. Phénologie de quinoa.....	32
1.7. Exigences cultural.....	33
1.7.1. Exigences édaphique.....	33
1.7.1.1. Le sol	33
1.7.1.2. Matière de fertilité	33
1.7.2. Exigence hydrique.....	33
1.7.2.1. L'eau	33
1.7.3. Exigence climatique.....	34
1.7.3.1. La température	34
1.8. Techniques cultural.....	34
1.8.1. Préparation de sol.....	34
1.8.2. Le semis.....	35
1.8.3. Fertilisation.....	35
1.8.4. Contrôle des maladies, des parasites.....	35
1.8.5. La récolte.....	36
1.8.6. Système de culture manuel traditionnel	36
1.8.7. Système de culture mécanisé	37
1.9. Importance nutritionnelle du quinoa	38
CHAPITRE II: STRESS SALIN	39
2.1. Stress salin.....	39

2.2. Effets du stress salin sur la morphologique et la physiologiques du stress salin sur les plantes.....	40
2.2.1. Vitesse d’efflux des ions « Type excluser ».....	42
2.2.2. Vitesse d’influx des ions « type incluser».....	44
2.3. Effet du stress salin sur la germination des graines.....	45
2.4. Stratégie d’adaptation et de résistance des plantes au stress salin.....	46
CHAPITRE III: MATERIEL ET METHOD	49
3.1. Objectif	49
3.2. Matériel végétale.....	49
3.3. Méthode d’étude.....	49
3.4. Effet du stress sa lin sur l’aptitude germinative de Sept variétés du quinoa (Chenopodium quinoa).....	50
3.4.1. Germinative des graines.....	50
3.4.2. Les paramètres étudiés.....	51
3.4.3. Dispositif expérimentale.....	52
3.4.4. Analyse statistique.....	52
CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS	53
4.1. Test de viabilité des graines des différentes variétés du quinoa.....	53
4.2. Test du stress salin sur les différentes variétés du quinoa.....	55
4.2.1. En absence du stress salin.....	56
4.2.2. En présence du stress salin.....	57
CONCLUSION	64
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	

LISTE DES ABREVIATIONS

ITDAS: l'Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne

USDA : United States Département of Agriculture

Q : quinoa

TFG : taux final d+e germination

mM : milli mole

T° : température

UV : ultra violet

S : signification

U.P.O.V: Union internationale pour la protection des obtentions végétales

FAO: Food and agriculture organization

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Racine de quinoa	21
Figure 1.2 : Plantes du quinoa.....	22
Figure 1.3 : Feuilles de quinoa.....	23
Figure 1.4 : Panicule de quinoa.....	24
Figure 1.5 : Les fleurs de quinoa	24
Figure 1.6 : Les fruits de quinoa	25
Figure 1.7 : La graine de quinoa	26
Figure 2.1 : Effet délétères liés à la toxicité du stress salin et réponse cellulaire	40
Figure 2.2 : Illustration schématique du changement de potentiel hydrique du milieu extérieur sur la cellule végétale	42
Figure 2.3 : Effet du stress salin chez la plante.....	44
Figure 3.1 : Graines des variétés de quinoa étudiées (<i>Chenopodium quinoa Wild.</i>)	50
Figure 3.2 : Semis des graines dans des Boite de Pétri.....	51
Figure 4.1 : Test de viabilité des graines de sept variétés du quinoa	53
Figure 4.2: Taux de germination des variétés du quinoa en absence du stress salin.	54
Figure 4.3 : Taux de germination de sept variétés du quinoa en conditions saline.....	56
Figure 4.4 : effet du stress salin sur le taux de germination des graines du Q 102'.....	58
Figure 4.5 : effet du stress salin sur la germination des graines du Q 102	58
Figure 4.6 : effet du stress salin sur la germination des graines du Q giza	58
Figure 4.7 : effet du stress salin sur le taux de germination des graines du Q 101	58
Figure 4.8 : effet du stress salin sur le taux de germination des graines du Q105.....	59
Figure 4.9 : effet du stress salin sur le taux de germination des graines du Q gris.....	59
Figure 4.10 : effet du stress salin sur le taux de germination des graines du Q noir	59
Figure 4.11: Variétés du quinoa tolérantes au stress salin de 50 mM à 200 mM	62

Figure 4.12 : Variétés du quinoa moyennement tolérantes au stress salin de 50 Mm à 200 Mm 63

Figure 4.13 : Variété du quinoa la plus sensible au stress salin avec de mauvaise qualité des graines 'Q105'63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Mécanismes de résistance du quinoa à la sécheresse.....	28
Tableau 1.2 : Mécanismes de résistance de la quinoa au froid	30
Tableau 4.1 : Taux de viabilité des graines de sept variétés du quinoa.	54
Tableau 4.2 : Taux de germination de sept variétés du quinoa en conditions saline.....	60
Tableau 4.3 :Classification des variétés du quinoa étudiées en groupes homogènes, selon le test Newman-Keuls, pour le paramètre «taux de germination».....	61

INTRODUCTION

Le quinoa est un aliment de base depuis des milliers d'années. Cultures anciennes des Andes et leur répartition couvrant différentes zones agro-écologiques de la zone. Aujourd'hui, le quinoa est en plein essor en raison de son potentiel Améliorer considérablement les conditions de vie des peuples des Andes et du monde (FAO, 2013).

Le quinoa est l'une des pseudo-céréales les plus nutritives à utiliser comme aliment, il a sélectionné par la FAO comme l'une des cultures visant à assurer la sécurité alimentaire (Repo-Carrasco-Valence et Serna, 2009). Cette espèce a une capacité extraordinaire à s'adapter à différents environnements. L'agro écologie et les différentes altitudes, couplées à une résistance naturelle aux sols secs, et des cultures qui peuvent jouer un rôle important dans la lutte contre la faim (FAO, 2016), C'est Considéré comme ayant une valeur nutritionnelle élevée, principalement en raison de quantité et qualité des protéines par rapport aux autres sources de protéines (Avila Ruiz, 2016), acides gras essentiels et divers minéraux et Vitamines (Stikić et al. 2015). Le quinoa est un aliment sans gluten,

Selon des études Le quinoa commun améliore les petits intestins atteints de la maladie cœliaque et rend leurs villosités intestinales normales, beaucoup plus rapide qu'un simple régime sans gluten (FAO., 2011). Compte tenu de cette importance, la FAO. a mis en place un projet régional dans plusieurs pays du monde. Moyen-Orient et Afrique du Nord, y compris l'Algérie. Ainsi, le pays peut profiter de L'expertise technique de la FAO pour évaluer dans quelle mesure cette culture n'est pas obsolète Les traditions peuvent être adoptées par les producteurs et acceptées par les consommateurs. Grâce à cette intervention, fournir la bonne variété de quinoa et qualité, tout en améliorant les méthodes de culture et de développement (FAO ;, 2016). En effet, depuis 2014,

L'Algérie a introduit le quinoa dans le cadre d'un accord. Signé par la FAO et l'Algérie dans le cadre du projet (TCP/RAB3403). A cette fin, plusieurs essais expérimentaux ont été réalisés afin d'étudier son comportement et son potentiel de production sur 8 sites dans 4 institutions agro-écologiques différentes.(Boubaiche, 2016). Déjà l'Algérie et les pays voisins admettent que les stress abiotiques(sécheresses, salinité ...) et les stress biotiques (ravageurs, maladies ..;) des cultures ont des effets dévastateurs sur l'économie et plus surtout dans le domaine de l'agriculture. De plus, la plantation à long terme des cultures traditionnelles telles

que le blé, le sorgho, le mil et l'orge ont diminué la productivité des terres agricoles, rendement des cultures et le revenu des agriculteurs.

Dans ce contexte, L'objectif de ce travail est d'évaluer l'aptitude de germination de sept variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) cultivées en Algérie sous l'effet de stress salin et de fixer le seuil critique au-delà duquel l'espèce ne peut plus survivre.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LE QUINOA

1.1. Origine du quinoa

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.). Est une plante domestiquée de la famille des Chenopodiacees, aliments de base en Amérique du Sud andine. Il s'agit principalement d'une culture céréalière, récoltée et consommés d'une manière similaire à celle des céréales. Quinoa a été domestiqué par les Andes antiques civilisations dans la région entourant l'Altiplano bolivien et péruvien (haute plaine).

L'origine du quinoa reste controversée et plusieurs hypothèses ont été formulées, a été décrit botaniquement pour la première fois en 1778 par Willdenow comme une espèce originaire d'Amérique du Sud, dont le centre d'origine est situé dans les Andes (**Dharm, 2019**). **Gandarillas (1968)** a examiné la diversité génétique du quinoa et a constaté que la plus grande diversité est originaire d'une région entre Cuzco, Pérou et Potosi, La Bolivie, avec le plus grand nombre de variétés dans la région de l'Altiplano entourant le lac Titicaca en Bolivie et au Pérou. Selon **Gandarillas (1974)**, et le Conseil national de recherches (**1989**), il y a un consensus que le centre du quinoa d'origine est dans l'Altiplano andin et que la région de culture antique s'étend de l'Altiplano andin aux régions de Bolivie, Pérou, Equateur, Nord du Chili, et la Colombie. Les plus anciens vestiges archéologiques de quinoa domestiqué à 5000 avant JC ;(**Tapia 1979**).

1.2. Distribution géographique de quinoa

Depuis au moins 7000 ans jusqu'au début des années 1980, le quinoa n'a été connecté qu'aux Andes. Cependant, lorsque les chercheurs d'autres pays ont compris le potentiel et les avantages du quinoa, l'expérimentation n'a pas cessé de croître. Des études ont été réalisées dans un nombre croissant de pays. Le nombre de pays qui cultivent le quinoa est passé rapidement de 8 en 1980 à 75 en 2014, et 20 autres pays ont semé du quinoa pour la première fois en 2015 (**Bazile et Baudron, 2015**). Des recherches ont ensuite été entreprises en utilisant le matériel génétique chilien dans les années 1980, sous la direction de l'Université d'État du Colorado, aux États-Unis. La même période a vu le début de la culture commerciale du quinoa au Canada. D'autres pays ont suivi et le quinoa a été introduit au Royaume-Uni (1983), au Danemark (1984), au Tibet (1984), en Inde (1985), aux Pays-Bas (1986), en Chine (1988), au Brésil et à Cuba (1989) (**Bazile et al., 2015**).

En 2015 la production mondiale de quinoa approchait de 229 millions de tonnes, soit 7,3 kg par seconde (compteur) avec le Pérou, la Bolivie et l'Équateur comme premiers producteurs et les États-Unis, le Canada et la France comme premiers importateurs. La forte hausse de la consommation mondiale de quinoa entraîne une hausse des prix importante. Le quinoa est un super aliment, désigné comme Plante de l'année par l'ONU en 2013. (**Bazile, 2015;Bazile et Coll., 2015**). La superficie cultivée en quinoa en Europe est passée de 0 en 2008 à 5000 ha en 2015, principalement en France, en Espagne et au Royaume-Uni. La Chine a expérimenté pour la première fois la culture du quinoa au Tibet en 1984, alors qu'aujourd'hui le quinoa est cultivé dans neuf régions chinoises et sur plus de 2500 ha.

En 2013-2015, l'évaluation des variétés de quinoa a été effectuée dans les domaines suivants :

- Asie centrale et méridionale (Kirghizistan, Tadjikistan, Sri Lanka et Bhoutan);
- l'Asie occidentale et l'Afrique du Nord (Algérie, Égypte, Irak, Iran, Liban, Mauritanie, Soudan et Yémen);

- Afrique (Djibouti, Kenya, Somalie, Soudan du Sud, Éthiopie, Ouganda, Zambie, Burkina Faso, Cameroun, Tchad, Niger, Sénégal, Togo, Ghana et Guinée).

Aujourd'hui, le quinoa est actuellement cultivé ou testé dans 95 pays du monde (**Bazile, 2015**). Cette expansion mondiale du quinoa devrait se poursuivre alors que de plus en plus de pays testent le quinoa.

Cultivée dans des milieux aussi divers que le littoral du Pacifique, l'Altiplano central ou les vallées subtropicales des Andes, et maintenant disséminée à travers plus de cinquante pays dans le monde, le quinoa reste néanmoins emblématique des hauts plateaux de Bolivie, d'Equateur et du Pérou

1.3. Les écotypes de quinoa

On entend par écotipe une variété, un individu ou population (morphé), d'une espèce donnée qui présente des caractéristiques nouvelles adaptées à des habitats différents. Les caractéristiques propres à l'écotype sont héréditaires.

Le quinoa est cultivé en Amérique du Sud, plus spécialement dans la zone des Andes, à des latitudes de 4 ° N en Colombie jusqu'à 40 ° S au Chili, à partir du niveau de la mer jusqu'à une altitude de 4 000 mètres (**Risi et Galwey, 1989**).

Selon les adaptations développées aux différents écosystèmes dans lesquels l'espèce pousse, environ 3 000 variétés de quinoa, sauvages ou cultivées (cultivars), ont pu être regroupées en huit écotypes (**Frieset Tapia, 2007 ; Herbillon, 2015 ; Bazile , 2015**).

1.3.1. Quinoas de l'Altiplano (hauts plateaux andins du nord)

1.3.2. Quinoas des Salares (hauts plateaux du sud)

1.3.3. Quinoas des vallées inter-andines

- 1.3.4. Quinoas des zones arides et des conditions sèches (hautes terres occidentales)
- 1.3.5. Quinoas de haute altitude et climat frais
- 1.3.6. Quinoas des régions côtières et près de la mer
- 1.3.7. Quinoas de jungle et zones tropicales
- 1.3.8. Quinoa provenant de zones de fortes précipitations et d'humidité

Ces huit écotypes diffèrent par leur adaptation à l'altitude, leur tolérance à la sécheresse et à la salinité, leur réponse photopériodique et les pratiques agricoles associées (Bazile, 2015 ; Fuentes *et al.*, 2012).

1.4. La description de quinoa

1.4.1. Description botanique

La classification botanique détaillée du quinoa cultivé par Cronquist, 1995, et Wilson, 1980, et la classification taxonomique du quinoa selon :

Règne :	Plantae
Sous-Règne :	Tracheobionta
Super division :	Spermatophyta
Division :	Magnoliophyta
Classe :	Magnoliopsida
Sous-Classe :	Caryophyllidae
Ordre :	Caryophyllales
Famille :	Amaranthaceae
Genre :	Chenopodium
Espèce :	Quinoa

Section :	Chenopodia
Sous-Section :	Cellulata
Synonyme :	Chenopodium album(Bathua)

1.4.2. Description morphologique :

1.4.2.1. Caractère végétatifs :

1.4.2.1.1 Système racinaire :

Le système racinaire du quinoa est très robuste, pivotant, vigoureux, profond, bien ramifié et fibreux, il peut soutenir des plantes de plus de 2 m de hauteur bien que de rares cas d'affaissement des plants aient pu être observés sous l'effet du poids de leurs panicules, du vent, ou d'une humidité excessive (**Gandarillas, 1979 ; Mujica et al., 2001**)(Figure 0.1).

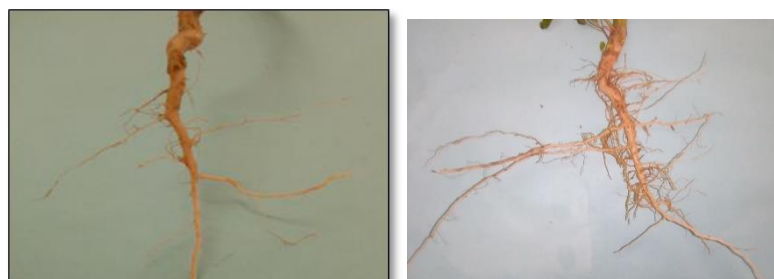


Figure 1.1: Racine de quinoa (**Azizi et al., 2021, Boukhalt et Chellali, 2021**)

1.4.2.1.2 La tige

La tige a une taille comprise entre 0,5 et 1,5 m selon la variété et les conditions de croissance. (**Gandarillas, 1979b ; Caceres, 1993 ; Mujica et al., 1999**). Selon le développement de la ramification, on trouve des plantes avec une tige principale développée dominant quelques tiges latérales très courtes dans les écotypes de l'Altiplano, ou des plantes

à tiges multiples de tailles comparables dans les écotypes des vallées, avec toutes les variantes intermédiaires entre ces deux types.

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, dont la résistance à la grêle semble dépendre de la variété. La couleur de la tige est caractéristique de la variété : verte, orangée, rouge foncé ou pourpre, uniforme ou tachetée (**Figure 0.2**).



Figure 1.2 : Plantes du quinoa (Azizi et al., 2021, Boukhalt et Chellali, 2021)

1.4.2.1.3 Les ramifications

Les branches naissent à l'aisselle de chaque feuille sur la tige. Leur longueur varie selon la variété et les conditions environnementales, allant de quelques centimètres jusqu'à une longueur équivalente à celle de la tige principale (**Jacobsen et Stolen, 1993**).

Il existe des génotypes très ramifiés (quinoa des vallées), parfois même à partir de la base (quinoa du niveau de la mer), tandis que d'autres présentent une tige unique (quinoa des hautes plaines). Il existe également des génotypes intermédiaires (**Mujica et al., 2001**).

1.4.2.1.4 Les feuilles :

Les feuilles présentent différentes longueurs dans une même plante. Celles de la tige principale sont plus longues que celles des ramifications. Les feuilles, alternes, ont un limbe polymorphe, en forme de losange, de triangle ou lancéolé, plat ou onduleux, un peu épais, charnu et tendre. Le nombre de dents ou de lobes des feuilles serait une caractéristique variétale. La couleur prédominante de la plante est verte, mais chez les plantes adultes les couleurs de base sont rouges, pourpre et vert, selon le génotype (**Figure 0.3**).



Figure 1.3 : Feuilles de quinoa (Azizi *et al.*, 2021, Boukhalt et Chellali, 2021).

1.4.2.2. Caractères floraux

1.4.2.2.1 L'inflorescence

L'inflorescence de quinoa se compose d'un certain nombre de panicule, qui proviennent des aisselles de la plante entière à partir du haut. Lorsque les branches dans la partie supérieure par rapport à la partie inférieure du les plantes sont vigoureuses et étroitement espacées, les inflorescences peut être facilement différencié du reste de l'usine, et ainsi donner l'impression d'être terminal. D'autres types peuvent ne pas être différenciés, tels quels observé chez les chenopodes sauvages.

Inflorescences existent : glomérule, où de petits groupes des fleurs (glomérules) proviennent des axes tertiaires, et l'amaranthiforme, dont les glomérules proviennent principalement des axes secondaires (**Figure 1.4**).



Figure 1.4 : Panicule de quinoa (Azizi et al., 2021, Boukhalt et Chellali, 2021)

1.4.2.2.2 Les fleurs

Les fleurs hermaphrodites varient en taille entre 2 et 5 rom, et se composent d'un périgone à 5 chiffres, un pistil à ovaire ellipsoïde et à 2 ou 3 branches stigmaté entouré de 5 étamines. Les fleurs femelles, qui sont 1-3 rom de taille, ne contiennent que du périgone et pistil. Les fleurs peuvent être avec ou sans pédicelles. Fleurs de la matière danoise s'est avéré être 5- hermaphrodites numérotés. Jusqu'à présent, donc, aucune femelle des fleurs ont été détectées dans le matériel de reproduction. La coloration de l'inflorescence est compatible avec la couleur de la plante jusqu'à la maturation, lorsque les tops changent de couleur (**Figure 1.5**).



Figure 1.5: Les fleurs de quinoa (personnel, 2022).

1.4.2.2.3 Les fruits

Le fruit est un akène couvert par le périgone, à partir de laquelle il peut être enlevé en frottant dans le sec état. La couche externe du fruit, composé d'une graine, est le péricarpe, qui constitue la coque.

Les nombreuses couleurs différentes présentes dans les inflorescences de quinoa sont causées par la coloration du périgone, le péricarpe et l'épisperme. Comme mentionné, le péricarpe était toujours blanc ou jaune chez le matériel danois (**Figure 1.6**).



Figure 1.6 : Les fruits de quinoa (AZIZI *et al.*, 2021, BOUKHALT et CHELLALI, 2021).

1.4.2.2.4 La graine

Les graines peuvent être de forme conique, cylindrique ou ellipsoïdale, leur taille varie environ entre 1 et 3 mm, leur poids entre 2 et 6 mg (Jacobsen et Stølen, 1993 ; Mujica *et al.*, 2001).

Les bords du grain sont d'une grande valeur taxonomique, car ils sont communément marqués chez les formes cultivées, et plus arrondis chez les sauvages (Tapia *et al.* 1979, Lescano 1994, Izquierdo *et al.* 2001) (**Figure 1.7**) .

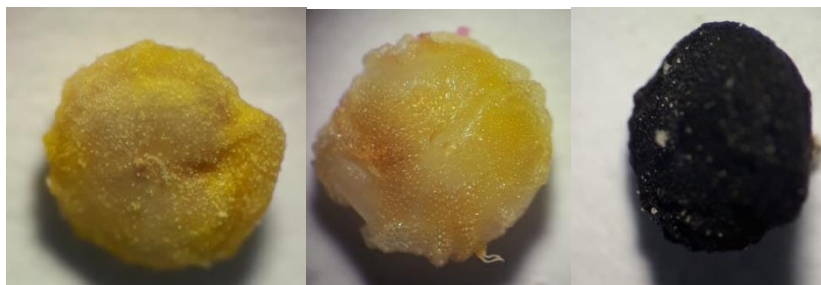


Figure 1.7 : La graine de quinoa (personnel, 2022).

1.4.2.2.5 Saponine

Le nom probablement provient de la plante *Saponaria* dont les racines étaient historiquement utilisé pour fabriquer du savon (Latin *sapo* = savon) (Augustin et coll., 2011).

Chimiquement, ce sont des glycosides avec une aglycone polycyclique, qui peut se présenter sous la forme d'un stéroïde ou une choline triterpénoïde liée par le carbone C3 par les moyens d'une liaison étherée à une chaîne de sucre latérale. L'aglycone est communément appelée sapogenine, tandis que le sous-ensemble des saponines stéroïdiennes est couramment appelé sarapogenin. Les saponines sont amphipathiques en raison de leur chaîne saccharidique hydrosoluble et leur fonction d'aglycone liposoluble. Cette caractéristique est la base de la capacité de former de la mousse.

Les saponines sont perçues comme amères, ce qui réduit les caractéristiques organoleptiques et la palatabilité de tous les produits riches en eux.

1.5. Physiologie de quinoa

Le quinoa est tolérante à diverses contraintes abiotiques comme la salinité des sols, la sécheresse, le gel, les radiations UV (**Schlick et al., 1996**), est une plante de type C3, parfois considérée à tort comme peu efficace dans la fixation du carbone (**Tapia et al., 1979**). Au contraire, sous des températures modérées à froides, la photosynthèse de type C3 s'avère plus efficace que celle de type C4, les plantes C4 ne pouvant pas maintenir des niveaux de Rubisco aussi élevés que des plantes C3, ce qui limite leurs capacités photosynthétiques (**Cabidoet al., 1997 ; Kubien et al., 2004**).

1.5.1. Résistance à la sécheresse

La sécheresse reste un des facteurs les plus courants de baisse des rendements en grain, même si des sécheresses modérées en début de cycle peuvent avoir un effet positif d'endurcissement des plantes (**Bosque et al., 2003**).

La résistance à la sécheresse met en jeu différents mécanismes morphologiques, anatomiques, phénologiques et biochimiques (**Mujica et al., 2001**) (**Tableau 1.1**).

Tableau 1.1 : Mécanismes de résistance du quinoa à la sécheresse (Mujica et al. 2001).

Types de mécanismes	Caractéristiques
Morphologiques	<ul style="list-style-type: none"> -Repli des feuilles sur la panicule. -Réduction de la surface foliaire. Réduction de taille des plantes entière. -Plasticité de la croissance.
Physiologiques	<ul style="list-style-type: none"> -Faible taux de transpiration. -Grande vitesse d'absorption d'eau. -Grande résistance stomatique. -Grande tolérance au sel.
Anatomiques	<ul style="list-style-type: none"> -Réduction du nombre et de la taille des stomates. -Grande développement racinaire.
Phénologiques	<ul style="list-style-type: none"> -Asynchronisme dans la phase de floraison. - Développement phénologique plus rapide. -Résistance ontogénique.
Biochimiques	<ul style="list-style-type: none"> -Translocation des ions K et Ca des cellules stomatiques. -Grand production d'acide abscissique (ABA). -Présence d'oxalate de calcium.

1.5.2. Résistance au froid

Les conditions de gel demeurent le principal danger pour le quinoa (**Jacobsen et coll., 2005**).

Le principal mécanisme de résistance au gel du quinoa semble être sa capacité tolérer la formation de glace dans les parois cellulaires et la déshydratation subséquente des cellules, sans subir de dommages irréversibles (**Jacobsen et al., 2003**). Un contenu élevé de sucres solubles implique un niveau élevé de tolérance au gel et provoque une réduction à la température de congélation et à la température létale moyenne (TL50).

Les graines de quinoa ont germé rapidement, même à basse température, la température de base pour la germination étant inférieure à 0 °C pour 9 cultivars sur 10. Il s'agit d'une caractéristique adaptative dans l'Altiplano andin, où les gelées radiatives sont fréquentes au début de la saison de culture.

La résistance au froid met en jeu différents mécanismes morphologiques, anatomiques, phénologiques et biochimiques (**Tableau 1.2**).

Tableau 1.2 : Mécanismes de résistance de la quinoa au froid (Mujica et al., 2001)

Types de mécanismes	Caractéristiques
Morphologiques	-Chute des feuilles. -Réduction des tailles des feuilles. -Réduction de la taille de la plante.
Physiologiques	- Mouvements des feuilles et de la tige. - Osmorégulation de la formation de glace dans l'apoplaste et résistance au sous refroidissement.
Anatomiques	-Stomates moins nombreux et plus grands.
Phénologiques	-Phase phénologique plus tolérantes au froid, prolongation ou raccourcissement des phases phénologiques
Biochimiques	-Accumulation de métabolites (sucres solubles, proline et protéines).

1.5.3. Résistance aux parasites, maladies, ravageurs

Le quinoa est affecté par des facteurs biotiques comme les maladies et les insectes qui réduisent considérablement le rendement et la qualité du produit :

Ticonas: qui correspondent au groupe complexe des noctuidés (*Copitarsia turbata* Herrich-Schäffer, *Feltiaexperta* Walker et *Spodoptera* sp.).

Mit « chenille » : la mite du quinoa sous forme de chenilles et de larves appelées " *kona kconas* " (*Eurysacca melanocampta* Meyricou *Scrobipalpa* sp.) (ORTIZ et al., 2001).

Le contrôle des insectes par voie chimique ou naturelle (pièges, bio-insecticides) est une pratique assez courante dans l'Altiplano sud mais rare dans l'Altiplano central et nord.

La prolifération de parasites semble avoir été facilitée par la mécanisation et l'extension de la monoculture du quinoa.

Les recommandations de contrôle intégré des parasites préconisent l'utilisation d'extraits naturels de plantes et de bio-insecticides.

Mildiou : Sur le plan proprement pathologique, la maladie la plus importante du quinoa est le mildiou provoqué par le champignon *Peronosporafarinoso*. (**Valencia-Chamorro, 2003**)

Seuls des traitements chimiques préventifs sont connus mais restent peu appliqués du fait de leur coût élevé pour les producteurs andins. Ces traitements ne sont pas utilisés dans les zones de production biologique du sud de l'Altiplano, d'ailleurs très rarement affectées du fait de leur climat nettement plus aride.

1.5.4. Tolérance à la salinité

La zone la plus productive du quinoa dans le monde correspond à la région des salars de l'Altiplano sud de Bolivie, où les sols sont très salés, principalement de chlorure de sodium, ce qui indique que le quinoa tolère la présence de sel dans le sol.

Les principaux traits relatifs à la tolérance à la salinité rencontrés chez le quinoa (**Adolf et al., 2013**) :

- Une plus haute tolérance aux espèces réactives de l'oxygène (molécules de signalisation clés produites en réponse à un stress et déclenchant une variété de réponses de défense des plantes),

- Et un système de contrôle efficace du développement et de l'ouverture des stomates.
- Un contrôle efficace de l'accumulation de sodium dans le xylème (tissu vasculaire conduisant de l'eau et des nutriments dissous de la racine vers le sommet de la plante, contribuant également à former l'élément ligneux dans la tige) et de la séquestration de sodium dans les vacuoles des feuilles,
- Une meilleure rétention du potassium,

1.6. Phénologie de quinoa :

Le cycle de croissance du quinoa peut être différencié en cinq stades (**Tapia et al., 1979**):

- du semis à l'émergence, 11-57 jours,
- de l'émergence à l'apparition de la première paire de feuilles, 5-9 jours,
- de la première paire de feuilles à l'apparition des panicules, 45-56 jours.
- des panicules à la floraison, 11-31 jours,
- de la floraison à la maturation, 60-109 jours.

Espindola (1992), distingue 10 étapes morpho-anatomiques pour le quinoa, qui sont :

- étape d'émergence,
- étape cotylédonaire,
- étape des 2 feuilles de base,
- étape de 5 feuilles alternes (différenciation paniculaire),
- étape de 13 feuilles alternes (pré-émergence paniculaire),
- étape d'émergence de la panicule,
- étape de floraison,
- étape de grain laiteux,

- étape de grain pâteux,
- étape de grain dur (maturité physiologique) .

1.7. Exigences cultural

1.7.1. Exigences édaphique

1.7.1.1. Le sol

Le quinoa pousse dans divers types de sols, du sable grossier à l'argile lourde, à un pH variant de 4,5 à 9. Le quinoa est l'une des cultures les plus tolérantes au sel, mais la tolérance à la salinité diffère selon les variétés.

1.7.1.2. Matière de fertilité

Les taux d'azote (N) de l'ordre de 90 à 135 lb N/acre soient susceptibles de produire des rendements raisonnables (c.-à-d. près de 3 000 lb/acre). Il a également été démontré que les protéines de graines augmentent en réponse aux applications d'azote. Toutefois, un apport excessif d'azote peut réduire le temps de maturité et augmenter la verse. La réponse du rendement à l'application de phosphore (P) et de potassium (K) n'est pas claire.

1.7.2. Exigence hydrique

1.7.2.1. L'eau

Le quinoa est relativement tolérant à la sécheresse. Il peut produire des rendements acceptables (940 lb/acre) avec aussi peu que 7 pouces de précipitations saisonnières / irrigation. L'apport d'eau optimal est de 10 à 15 pouces. Avec 18 pouces d'eau, des

rendements de 3 300 lb/acre ont été signalés. Une sécheresse modérée avant la floraison ne réduit habituellement pas le rendement. En fait, une irrigation précoce excessive n'augmente pas le rendement et tend à produire de grandes plantes, qui peuvent ensuite se loger, en particulier dans les régions venteuses. Par conséquent, l'irrigation en début de saison (au stade 12 feuilles ou avant) n'est pas recommandée. La disponibilité de l'eau est plus critique pour le rendement en céréales, de sorte qu'une petite quantité d'irrigation peut être appliquée après la floraison.

1.7.3. Exigence climatique

1.7.3.1. La température

La température moyenne optimale pour la croissance est de 59 °F à 68 °F (Oelke *et al.*, 1992). Avant l'étape de la pâte molle, le quinoa est affecté négativement par des températures inférieures à 28°F; toutefois, après cette étape, les plantes peuvent tolérer des températures aussi basses que 20 °F. Elles sont sensibles aux températures élevées pendant la floraison et les températures supérieures à 90 °F à 95 °F peuvent causer la stérilité.

1.8. Techniques cultural

Le travail cultural pour la production du quinoa est généralement limité à la préparation du terrain, au semis, au contrôle des maladies, des parasites et, plus rarement, des mauvaises herbes et à la récolte.

1.8.1. Préparation de sol

La préparation de la première mise en culture se fait au moyen de charrues à versoir et à disques ou, dans les endroits accidentés, à l'aide de charrues jointes ou même de simples houes. En terrain plat, viennent ensuite l'ameublissement et l'émottage du sol avec des herses croisées ou à disques. Le nivellement peut être réalisé au moyen de barres de fer ou de grosses

planches. Étant donné la petite taille des graines et les fortes hétérogénéités d'humidité et de compaction du lit de semence, cette opération de nivellement est importante pour la réussite de la levée.

1.8.2. Le semis

Les semis ont habituellement lieu durant les mois d'août et de septembre mais peuvent être retardés jusqu'à début décembre avec certaines variétés de cycle très court (90 jours). Cette activité diffère selon que le système de culture utilise des outils traditionnels ou des machines agricoles. La manière de semer varie aussi selon les régions de production. La densité de semis est de 10 à 15 kg. ha⁻¹ de graines (**Del Castillo et al., 2008**).

1.8.3. Fertilisation

La fertilisation organique ou minérale des parcelles de quinoa est peu pratiquée. En rotation avec la pomme de terre, le quinoa se satisfait de l'engrais organique résiduel de la culture précédente. Cependant, des études récentes ont montré que les rendements bénéficiaient d'une fertilisation azotée adéquate (**Alegria et al., 1999**).

Les normes de certification biologique proscrivent la fertilisation minérale et recommandent l'incorporation de fumier lors du semis (**Félix, 2008**). Le quinoa a des besoins faibles en calcium et potassium.

1.8.4. Contrôle des maladies, des parasites

Le quinoa est affecté par des facteurs biotiques comme les maladies et les insectes qui réduisent considérablement le rendement et la qualité du produit.

Le contrôle des insectes par voie chimique ou naturelle (pièges, bio-insecticides).

La maladie la plus importante du quinoa est le mildiou, Seuls des traitements chimiques préventifs sont connus mais restent peu appliqués du fait de leur coût élevé.

1.8.5. La récolte

La récolte commence généralement vers la fin du mois d'avril et le travail peut s'étaler sur deux mois car la maturité des plantes au sein du terroir n'est pas uniforme. Les plantes à maturité sont coupées ou arrachées, mises en gerbes regroupées ou non par variété (selon la quantité, le temps et la main-d'œuvre disponibles) et laissées à sécher sur les parcelles pendant 30 à 45 jours. Le battage s'effectue de façon rudimentaire, soit mécaniquement (passage sous les roues de tracteurs ou de camions) soit de manière traditionnelle (fléaux ou animaux), dans les deux cas sur une bâche de toile ou de plastique pour éviter que les grains ne se dispersent sur le sol. Les rendements sont très variables et globalement faibles : en culture traditionnelle réussie, ils vont de 400 à 1.200 kg. ha-1.

1.8.6. Système de culture manuel traditionnel

-La défriche : en juin et juillet de la première année a lieu la défriche des parcelles qui seront semées l'année suivante, afin d'arracher la végétation qui a poussé pendant les années de repos avant la saison des pluies.

-Le labour : le travail du sol est réalisé entre fin janvier et début mars, pendant la saison des pluies, pour éliminer les adventices et les gros débris végétaux ainsi que pour économiser au maximum l'eau du sol.

-Le semis : à la fin août de la deuxième année, commence le semis sur les parcelles de pente, mais les dates varient en fonction du climat car le terrain doit être suffisamment humide pour permettre la germination de la graine. Creuser un trou de 10 à 30 centimètres de profondeur, selon l'humidité de la terre, au fond duquel sont placées les graines (la quantité varie selon le terrain et l'humidité).

-Le contrôle des adventices et des ravageurs : effectuer un ou deux désherbages manuels rapides entre novembre et février, au moment où les pluies permettent la germination des graines.

-La récolte : une fois que le grain est mûr, en avril-mai, les pieds de quinoa sont arrachés ou coupés selon que le sol est meuble ou non. Ils sont laissés à sécher dans le champ une à deux semaines. Les grains sont ensuite séparés des pieds par battage, puis tamisés sur place. Les rendements sont de 0,4 à 2 t.ha-1 selon les conditions climatiques.

1.8.7. Système de culture mécanisé

-Le labour : si certains sont revenus à des périodes de jachère de 2 à 3 ans nécessitant un défrichage rapide en juin-juillet. Le labour au tracteur, jusqu'à 40 cm, se fait à la même époque que le travail du sol manuel (mi-janvier à début février), c'est-à-dire pendant la saison des pluies.

-Le semis : Le semis au tracteur est réalisé avec un semoir muni d'un soc qui creuse un sillon où sont déposées automatiquement les graines (30 à 50 à la fois) après quoi un versoir situé en arrière vient reboucher le sillon. Les agriculteurs ont la possibilité de ressemer plus tardivement (novembre-décembre) avec des variétés à cycle court, ce qui ne fournit généralement qu'une maigre récolte (moins de 0,2 t.ha-1).

-Le contrôle des adventices et des ravageurs : le peu de temps laissé aux adventices pour se développer et leur enfouissement profond par les charrues rendent le désherbage inutile.

-La récolte : elle est identique au système manuel.

1.9. Importance nutritionnelle du quinoa

Les graines du quinoa ont une valeur nutritive plus élevée que la plupart des céréales et contiennent protéines de haute qualité et de grandes quantités de glucides, de graisses, de vitamines et de minéraux. Perisperm, embryon et endosperme sont les trois domaines où réserve les aliments sont entreposés dans des graines du quinoa (**Prego et coll., 1998**).

La teneur moyenne en protéines des grains de quinoa est de 12 à 23 % (**González et al., 1989; Koziol, 1992; Ruales et Nair, 1994a, 1994b; Ando et al., 2002; Karyotis et al., 2003; Abugoch, 2009**), ce qui est supérieur à celui de l'orge, le riz ou le maïs, et est comparable à celui du blé (**USDA, 2005; Abugoch, 2009**).

En outre, l'équilibre des acides aminés essentiels est excellent en raison d'une large gamme d'acides aminés, à teneur plus élevée en lysine (5,1 à 6,4 %) et en méthionine (0,4 à 1 %) (**Prakash et Pal, 1998; Bhargava et coll., 2003, 2006a; Abugoch, 2009**).

CHAPITRE II

STRESS SALIN

2.1. Stress salin

Le stress salin est un sérieux problème pour l'agriculture dans les régions arides et semi arides, menaçant la sécurité alimentaire et réduisant les terres cultivables (**Zaman-Allah et al., 2009**). La salinisation du sol peut être naturelle, liée au fort ensoleillement et à la faible pluviométrie, ou induite par les travaux agricoles comme l'utilisation d'engrais chimiques ou les eaux d'irrigation. La concentration élevée de NaCl dans les sols crée un désordre métabolique, une inhibition du développement et de la croissance des plantes (**Djanaguiraman et al., 2013**). Selon leur résistance ou sensibilité au sel, les plantes sont classées en deux grandes classes :

Les glycophytes désignant les plantes qui ne tolèrent pas de fortes concentrations en sel ;

Les halophytes sont toutes les espèces qui poussent sur un sol salé (**Flowers et al., 1986**).

Le degré de résistance ou de sensibilité au stress salin dépend du stade de développement de la plante. Chez certaines espèces, c'est le stade juvénile qui est le plus sensible, alors que chez d'autres espèces, c'est le stade adulte qui est le plus sensible. En effet, la salinité est l'accumulation excessive des sels solubles, ayant pour effets un stress ionique et un stress osmotique (**Mahajan et Tuteja 2005**). Ce stress est dû essentiellement à des concentrations élevées de Na⁺ et de Cl⁻ (**Shahbaz, et al. 2013**). La présence du sodium (Na⁺) dans le sol ou dans le milieu de culture limite l'apport en cations majeurs, tels que le calcium (Ca²⁺) et le potassium (K⁺) (**Zid et Grignon 1991**).

Lors d'un stress osmotique, le développement de la partie racinaire est également affecté, mais il est moins inhibé que celui des parties aériennes (**Rahnesan, Nasibi et Moghadam**

2018). Dans ce cas, la synthèse des solutés organiques par la plante est nécessaire à l'ajustement osmotique.

Le stress ionique est, quant à lui, lié à la toxicité de l'ion Na^+ . Une forte concentration de Na^+ dans les cellules végétales perturbe ainsi le métabolisme cellulaire. réponse spécifique aux ions Na^+ se produit en deux phases ; premièrement, l'exclusion des ions Na^+ par les cellules des racines et deuxièmement, la protection des tissus contre l'excès des ions Na^+ dans les tissus des feuilles (Munns et Tester, 2008 ; Wu *et al.*, 2015).

L'exclusion des ions Na^+ par les cellules des racines est la principale réponse protectrice chez les plantes qui retarde les effets toxiques du Na^+ cytoplasmique élevé. En réponse à un dysfonctionnement photosynthétique et respiratoire, la plante produit des espèces réactives à l'oxygène (ROS) (un stress oxydatif) (Mansour, 2013) (Figure 0.1).

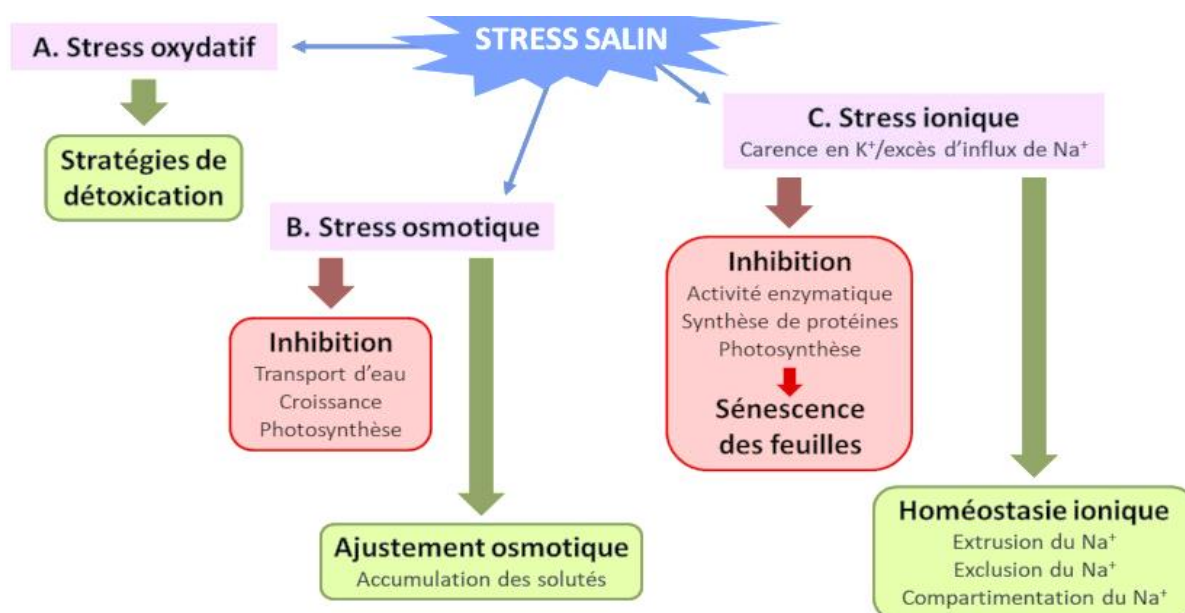


Figure 2.1 : Effet délétères liés à la toxicité du stress salin et réponse cellulaire (Munns et Tester, 2008)

2.2. Effets morphologique et physiologiques du stress salin sur les plantes

Les effets du stress salin sur la croissance des plantes sont généralement associés au niveau élevé de toxicité du sodium et au faible potentiel osmotique de la solution du sol qui

provoquent des perturbations sur le développement, la croissance des plantes et sur le métabolisme (**Yamaguchi et Blumwald 2005**).

Le développement d'une stratégie efficace des pratiques de lutte contre le stress salin nécessite une bonne compréhension des effets de la salinité sur les paramètres morphologiques et physiologiques des plantes.

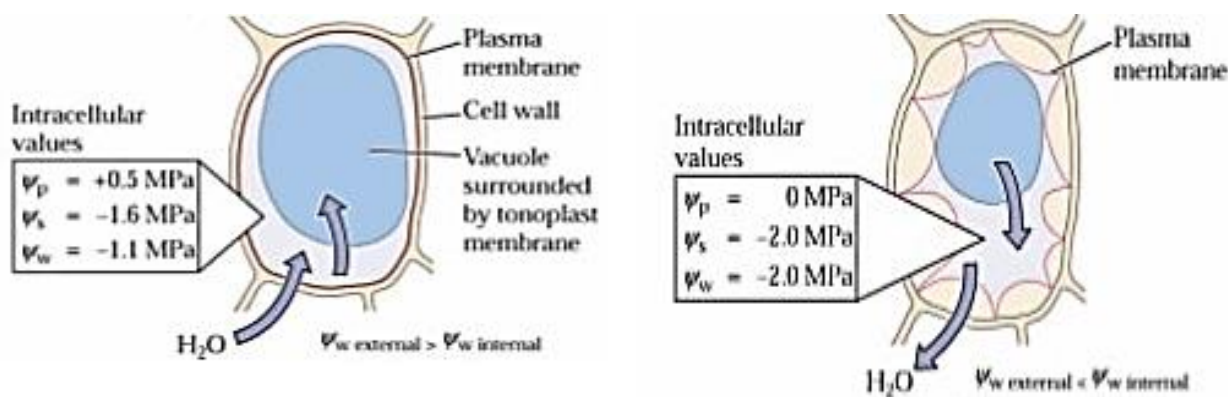
En termes physiologiques, l'effet néfaste du sel (NaCl) du milieu sur la physiologie de la plante peut s'exercer de manières différentes. Une forte concentration de NaCl entraîne une diminution du potentiel osmotique dont l'objectif est d'empêcher le potentiel hydrique cellulaire de devenir supérieur à celui des milieux extérieurs et extracellulaires (**Figure 2.2**). Ce phénomène assure, d'une part, la rétention de l'eau et le maintien de la turgescence cellulaire, et d'autre part la continuité de l'absorption de l'eau du sol, Lorsque l'ajustement osmotique cellulaire n'est pas suffisant, l'eau a tendance à quitter les cellules, ce qui induit une perte de la turgescence et un déficit hydrique (**Gorham et al., 1990**). Ensuite, les fortes doses de NaCl provoquent une altération de la nutrition minérale (**Jacoby, 1994**).

L'effet dépressif du sel accumulé dans les tissus peut se manifester de deux façons :

Il peut se traduire, d'une part, par une toxicité qui survient lorsque sa concentration dans le compartiment cytosolique excède celle qui est compatible avec une activité métabolique normale (**Munns, 1993 ; 2002**).

D'autre part, la saturation de l'apoplasme par le sel «montant» est un autre facteur déterminant de la nécrose et de la mort cellulaire car, par un effet osmotique, le sel concentré dans ce compartiment provoque une sortie d'eau intracellulaire, ce qui conduit à une déshydratation rapide des cellules (**Munns, 1993**).

Deux types de comportement ont pour effet d'éviter la saturation en sel de l'apoplaste: l'influx «inclure» et l'efflux «exclure» des ions qui caractérisent aussi bien leur mobilité que leur circulation.



Cellule dans un milieu sans sel Absorption d'eau

Cellule dans un milieu salin Perte d'eau et de la turgescence

Figure 2.2 : Illustration schématique du changement de potentiel hydrique du milieu extérieur sur la cellule végétale (Jabnoue, 2009).

2.2.1. Vitesse d'efflux des ions « Type excluder »

Généralement, les glycophytes sensibles limitent le transport de Na^+ dans leurs organes aériens (Räsänen, 2002).

Sur le plan interspécifique, les espèces incapables de transporter facilement le Na^+ dans leurs feuilles sont nettement plus sensibles que les autres, car leur inaptitude à exporter le Na^+ peut être probablement considérée comme un caractère moins protecteur que le reflet d'une déficience des systèmes de compartimentation cellulaire. En effet, ces espèces semblent peu efficaces pour abaisser le niveau cytoplasmique de Na^+ , ce qui est peut être l'une des causes profondes de leur sensibilité au niveau cellulaire. L'incapacité à débarrasser le cytoplasme du Na^+ est due au caractère de cet ion qui est facilement transporté dans le phloème chez ces plantes (Slama, 1986). Il est donc continuellement ramené vers le bas de la plante. Ce comportement caractérise les plantes exclusives. Ces derniers semblent être dotées d'un mécanisme de protection contre l'envahissement par le sodium par exclusion de cet ion de leurs parties aériennes (Cramer, 1997 ; Rahmoune et al., 2000).

Beaucoup d'arbres peuvent grandir dans les milieux salins ; le faible niveau foliaire du sodium Na^+ de quelques espèces tolérantes à la salinité étudiées suggère que les arbres étaient capables de l'exclusion du sodium Na^+ (**Marcar et al., 1991**).

L'étude faite par (**Van der moezel et al., 1988 ; Lallouche et al., 2017**) montre que la plupart des espèces tolérantes à la salinité parmi un grand nombre d'Eucalyptus et Casuarina, cactus exclut le sodium Na^+ et les chlorure Cl^- de leur jeunes pousses en développement. Le site d'exclusion apparaît dans les racines. Les espèces sensibles présentent une faible concentration racinaire en potassium K^+ et une forte absorption du sodium Na^+ . Il y a une évidence mondiale que la capacité d'exclure l'ion (Na^+) et l'ion (Cl^-) de jeunes feuilles est un attribut important d'arbres tolérants la salinité (**Bell, 1999 ; Räsänen, 2002, Lallouche et al., 2017**).

C'est pourquoi la plus ou moins grande tolérance des plantes dépend notablement de leur aptitude à répartir le sel entre leurs différents organes, compartiments cellulaires et tissus (**Kim et al., 2008**).

L'aptitude d'exclusion de sodium (Na^+) des parties aériennes est en accord avec la relation négative trouvée entre l'accumulation des ions toxiques (Na^+ et Cl^-) dans la croissance des parties aériennes de Tomate poussant en milieux salins. Le maintien d'une faible concentration de Na^+ dans les feuilles peut être dû à un mécanisme d'exclusion qui provoque une accumulation de Na^+ dans la partie racinaire, évitant une translocation excessive aux tiges ; mais, il peut être aussi lié à une mobilité élevée du Na^+ dans le phloème. Cependant, certaines mesures physiologiques concordent pour suggérer l'existence d'une expulsion active du Na^+ cytoplasmique vers la vacuole ou vers l'apoplasme, protégeant ainsi les équipements enzymatiques du cytoplasme dans la partie aérienne (**Greenway et Munns, 1980**).

L'inhibition de la photosynthèse par le NaCl est l'une des causes de la réduction de la croissance et de la productivité végétale (**Wang et Nil, 2000**). L'accumulation préférentielle du sel dans les cellules des parties aériennes est un caractère déterminant du degré de tolérance de différentes espèces (**Maas, 1986**).

La réponse des plantes au stress salin est complexe et fait intervenir des voies de réponse diverses (**Figure 2.3**) conduisant à des mécanismes d'adaptation qui induisent un arrêt rapide de la croissance pour une meilleure redistribution des nutriments dans les différents tissus et au rétablissement rapide de la croissance lorsque le stress est levé (**Mahjoubi,2018**).

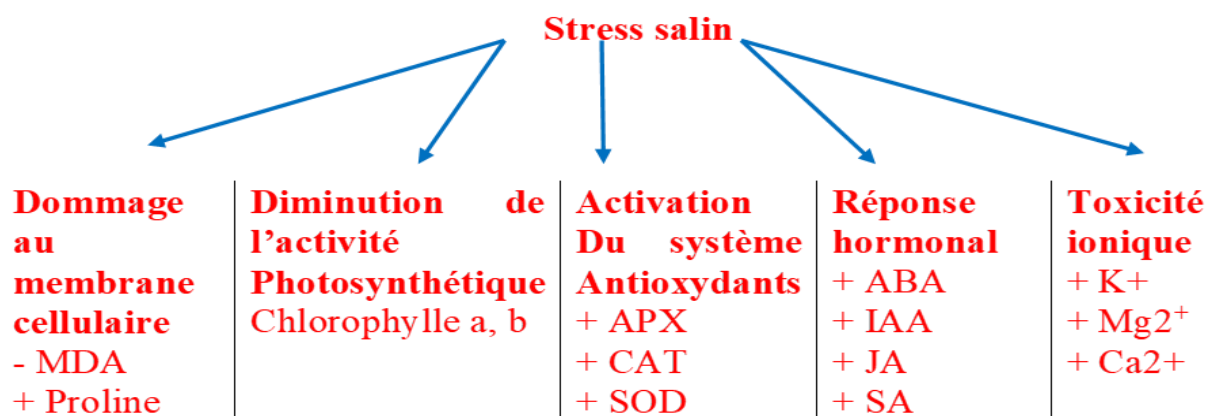


Figure 2.2 : Effet du stress salin chez la plante (**Mahjoubi,2018**)

2.2.2. Vitesse d'influx des ions « type include »

Chez les plantes de type « include », le sodium est piégé et accumulé dans les cellules des parties aériennes, plus particulièrement dans leurs vacuoles (**Räsänen, 2002**). Cependant, l'hypothèse la plus communément admise est que l'entrée de Na⁺ se fait contre son gradient électronique ; l'énergie nécessaire au transport de cet ion serait fournie par le gradient de protons engendré par la pompe à protons du tonoplaste. **Levigneron, (1995)**, signalent que, La vacuole se chargerait ainsi en sodium grâce à l'action d'un antiport sodium-proton Na⁺/H⁺, lequel serait entretenu par le fonctionnement accéléré des pompes à proton Na⁺/H⁺. L'existence d'un système d'échange Na⁺/H⁺ est largement signalé. Il est alors admis que c'est la performance de stocker le sel dans les parties aériennes qui est déterminante dans le niveau de tolérance au sel des espèces.

La concentration foliaire en éléments nutritifs chez *E. microtheca* avant et après le stress salin était semblable ce qui indique sa capacité de contrôle de l'absorption des sels ou la séquestration des ions toxiques dans les feuilles inférieures qui sont par la suite sénescence (**Bell, 1999**).

Les plantes inclusives associent la résistance à la salinité avec l'aptitude à transporter de grandes quantités de NaCl dans les feuilles. Il semble que ces comportements résultent d'une bonne compartimentation cellulaire du (Na⁺) ; ce qui explique la tolérance à l'accumulation foliaire, et aussi la faible re-circulation de cet ion à travers le phloème (**Tal et al., 1983**).

2.3. Effet du stress salin sur la germination des graines

Malgré l'importance de la germination des graines sous stress salin (**Zhang et al., 2014**), le mécanisme de la tolérance à la salinité chez les graines est relativement mal compris, en particulier en comparaison avec la quantité d'information actuellement disponible sur la physiologie et la biochimie des végétaux de la tolérance à la salinité (**Rivero et al., 2014**).

Bien que, la salinité des sols constitue un facteur limitant en agriculture, car elle inhibe la germination et la croissance de la plantule (**Ben Madani et Belouadah, 2018**).

Selon les mêmes auteurs, la présence de chlorure de sodium entraîne une augmentation de la durée du processus de la germination et retarde par conséquent la levée, car, les stress salin et osmotique sont responsables à la fois de l'inhibition ou un retard de germination et de la levée des graines.

D'autres travaux montrent que l'effet du stress salin sur la germination peut être attribué soit à un effet osmotique et/ou une toxicité des ions spécifiques à l'émergence de la racicule ou le développement des semis (**Huang et Redman, 1995**).

D'autres travaux signalent que seul le processus de germination, et non la capacité germinative, est altéré en milieu salé (**Almansouri et al., 2001 ;Khan et al., 2009**).

Le stress salin peut affecter le taux de germination de deux façons :

- en augmentant la pénétration d'ions qui peuvent s'accumuler dans les graines à des doses qui deviennent toxiques.

- en diminuant la vitesse d'entrée et la quantité d'eau absorbée par les graines ;

La survie des plantes, dans un milieu donné, dépend en grande partie de leur réaction au stade de germination et aussi à l'intra spécificité variétale. Chez l'*Atriplexhalimus* L., la vitesse de germination est ralentie à partir de 9 g.l⁻¹ de NaCl; est d'avantage inhibée à des concentrations plus élevées, cette inhibition est de nature osmotique (**Khan et al., 2009**).

Cela pourrait expliquer le fait que les graines obtenues à partir de plantes cultivées dans des conditions salines peuvent être plus tolérantes à la salinité que ceux des conditions non saline, mais une telle augmentation de la tolérance n'a pas toujours été observée (**Bewley, 1997**).

Mujica et al., (2001), montrent que six à sept jours après la mise en germination des graines de quelques géotypes du quinoa, les graines de géotypes tolérants au sel germent à plus de 75 % à des concentrations salines de 0,6 M de NaCl (57 mS·cm⁻¹), ce qui indiquerait que le sel ne provoque pas la mort de l'embryon mais retarde les mécanismes biochimiques et physiologiques impliqués dans l'initiation de la germination. Pour la plupart des cultivars, la production est plus élevée dans des conditions modérément salines que dans des conditions non salines, ce qui fait de la quinoa un halophyte facultatif (**Sanchez et al., 2003**).

2.4. Mécanismes de résistance des plantes au stress salin

a. Synthèse des solutés compatibles

La proline et la glycine bêtaïne sont rapportés pour fonctionner dans l'ajustement osmotique, le piégeage des radicaux libres et la protection des macromolécules cellulaires. D'autres solutés compatibles qui s'accumulent dans les plantes sous stress salin comprennent des

glucides tels que les sucres (glucose, fructose, saccharose, fructanes) et de l'amidon (**Parida et al., 2002**).

b. Exclusion et inclusion d'ions

L'élimination du sodium de la compartimentation dans les vacuoles ou du cytoplasme est effectuée par un enzyme anti-sel Na^+ / H^+ inductible par le NaCl (**Apse et al., 2003**). **Hanana et al., (2009)**, ajoutent que, l'inclusion d'ions dans le cytoplasme peut conduire à un ajustement osmotique qui est généralement accepté comme une adaptation biochimique importante à la salinité.

c. Modifications de la capacité photosynthétique

La régulation de la biosynthèse du métabolisme et de l'activité de la chlorophylle est primordiale pour les processus physiologiques. Cette régulation de la biosynthèse de la chlorophylle peut être une bonne stratégie de défense.

Depuis la biosynthèse de la chlorophylle est une ramification de la voie de l'acide mévalonique, voie importante du métabolisme secondaire, les voies de ce point clé (α -levulunate) sont probablement détournées vers la biosynthèse des osmolytes compatibles.

d. Contrôle de l'absorption ionique par les racines

Noble et Rogers, (1992), montrent que, un degré plus élevé de tolérance au sel chez les plantes est associé à un système plus efficace pour l'absorption sélective de K^+ sur Na^+ .

e. Induction des hormones végétales

Il existe des preuves de l'implication de l'ABA dans la phosphorylation/ réversible des protéines, via des kinases de type CDPK (kinases Ca^{2+} -dépendantes) ou MAPK (Mitogen Activated Protein Kinase) et des phosphates (**Kroniewicz, 2011**). Les effets inhibiteurs du NaCl sur la photosynthèse, la translocation des assimilés et la croissance se sont révélés être atténués par ABA qui agit sur la fermeture et l'ouverture des stomates (**Gronin et al., 2015**).

Sous stress salin, l'augmentation de l'absorption de Ca^{++} est associée à l'élévation de l'ABA et contribue ainsi à l'entretien de l'intégrité membranaire, ce qui permet aux plantes de réguler le transport et l'absorption à des niveaux élevés de salinité externe à plus long terme (**Chen et al., 2001**). L'ABA provoque l'abscission des feuilles probablement en diminuant l'accumulation d'ions Cl^- toxiques dans les feuilles et réduit la libération de l'éthylène (**Gomezcadenas et al., 2002**).

f. Induction d'antioxydants

La synthèse des métabolites secondaires tels que : les polyphénols, le tocophérol, les alcaloïdes, les flavonoïdes et les caroténoïdes permet à la cellule végétale de se protéger contre les agents abiotiques provoqués par les contraintes du milieu, ces mécanismes non-enzymatique maintiennent l'équilibre oxydo-reducteur de la cellule ((**Misirli et al., 2001**).

Les plantes possèdent des systèmes efficaces pour éliminer les espèces d'oxygène actif qui les protègent des réactions oxydatives destructrices. Ces mécanismes peuvent être divisés en deux catégories selon l'implication directe ou indirecte des enzymes (**Sofa et al., 2004**).

CHAPITRE III

MATERIELS ET METHODES

3.1. Objectif

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'aptitude de germination de sept variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) cultivées en Algérie en conditions de stress salin et de déterminer le seuil critique de tolérance chez les différentes variétés étudiées.

3.2. Matériel végétale

Cet essai a porté sur sept variétés de quinoa, fournies par l'Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne (ITDAS) Ain Ben Naoui Biskra. Ces variétés sont Q 101, Q102, Q 102', Q105, Q gris, Q noir et Q Giza. D'origine : United States Département of Agriculture (USDA) Département de l'Agriculture des Etats-Unis.

3.3. Méthode d'étude

L'essai a porté sur la germination des graines de sept variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) (**Figure 3.1**) : Q 101, Q102, Q 102', Q105, Q gris Q noir et Q Giza effectuée au laboratoire d'amélioration des plantes au département des sciences Agronomique de la faculté des Sciences à l'université Mohamed Boudiaf - M'sila.

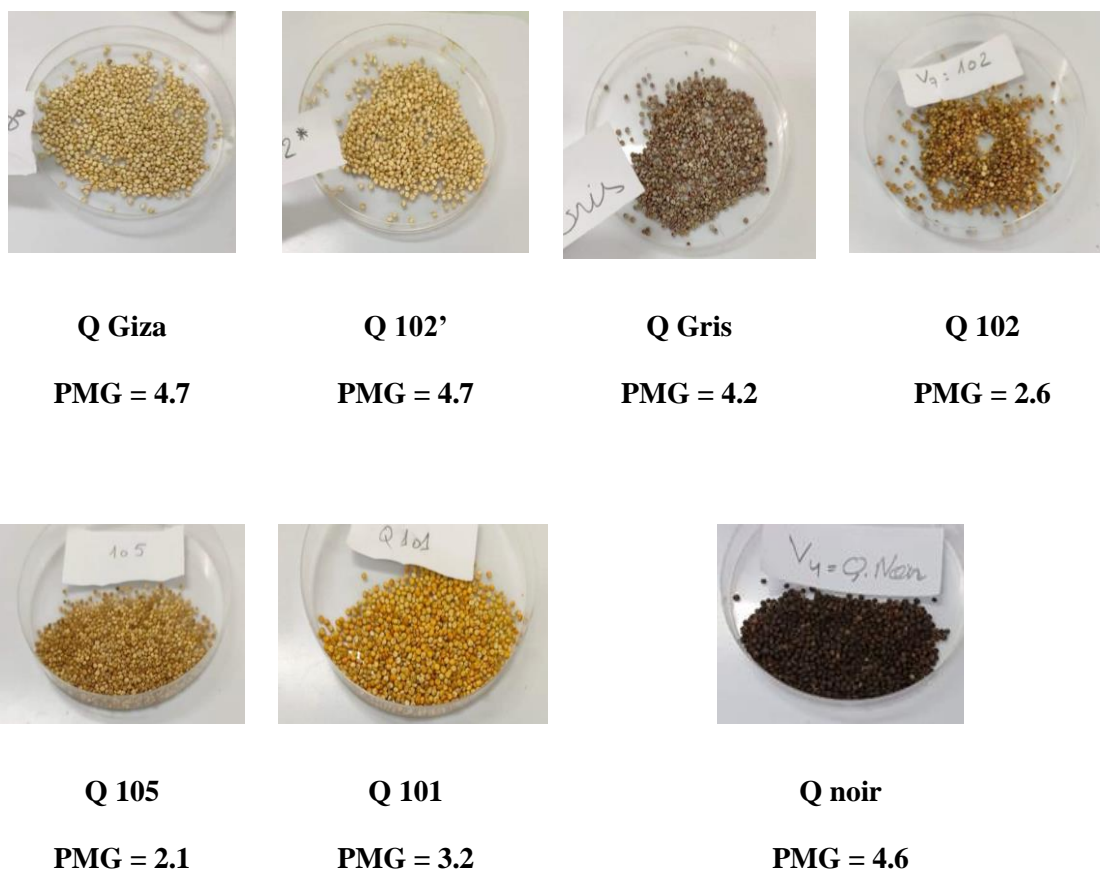


Figure 3.1 : Graines des variétés de quinoa étudiées (*Chenopodium quinoa* Wild.)

3.4. Effet du stress salin sur l'aptitude germinative de Sept variétés du Quinoa

3.4.1. Germinative des graine

Les graines de 07 variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) sont utilisées comme matériel végétal dans cette étude.

Les graines sont désinfectées à l'eau de javel à 0,5% pendant 3 min, lavées abondamment à l'eau, puis rincées à l'eau distillée afin éliminer toute trace de l'eau de javel. De chaque variété, 10 graines sont semis dans des Boite de Pétri en verre de 10 cm de diamètre, tapissées de deux couche de papier filtre. Dans un cas, nous avons ajouté 10 ml de l'eau distillée (0 mM NaCl

témoin), dans les autres cas, nous avons ajouté 10 ml de solution salines 50 mM, 100 mM, 150 Mm et 200 mM de NaCl (stress salin). (**Figure 3.2**).Les boîtes sont mises dans un incubateur réglé à une température de 25°C. La germination est repérée par l'apparition de la radicule hors des téguments de la graine dont la longueur est d'au moins de 2 mm (**Sayar et al, 2010**).Lorsque le taux de germination se stabilise nous avons achevé nos observations.



Figure 3.2 : Semis des graines dans des Boîtes de Pétri

3.4.2. Les paramètres étudiés

Les paramètres étudiés au cours de ce travail sont :

A. Test de viabilité des graines : signifie la qualité des semences.

B. Taux de germination final ou estimation du taux final de germination (TFG) : ce paramètre constitue le meilleur moyen d'évaluation de la concentration saline qui présente la limite physiologique des graines. Nous calculons le pourcentage final ou maximum des graines germées (Ni) selon la relation :

$$\text{TFG} = \text{Ni} \times 100 / \text{Nt}$$

Ni = nombre de graines germées

Nt= nombre total de graines utilisées (Nt)

3.4.3. Dispositif expérimentale

Le dispositif expérimental adopté au cours de notre expérimentation est une randomisation totale à deux facteur étudié qui sont : facteur variétés avec sept variantes Q noir, Q 105, Q 101, Q gris, Q Giza, Q102' et Q 102), et facteur stress salin avec 4 niveaux (T0= 0mM, T1= 50 mM, T2= 100 mM, T3= 150mM, T4= 200 mM). Chaque essai porte sur 30 graines, soit 3 répétition et chaque répétition comprend 10 graines.

3.4.4. Analyse statistique

Les résultats obtenus sont soumis à l'analyse de la variance à deux facteurs (F1 variétés X F2 doses de NaCl), et les moyennes sont comparées selon le test de Newman-Keuls, basée sur la plus petite différence significative. Chaque moyenne est affectée d'une lettre, les moyennes suivies d'une même lettre n'étant pas significativement différentes.

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. Test de viabilité des graines des différentes variétés du quinoa

Les graines de sept (07) variétés du quinoa ont été testées au laboratoire pour confirmer leur viabilité avant d'établir le test de tolérance à la salinité dans les boîtes de Pétri.

L'analyse de la variance révèle un effet très hautement significatif entre les différentes variétés sur le taux de viabilité des graines. (**Figure 4.1 et 4.2**). Le taux de viabilité des graines était 100 % chez les Q gris à 0 % chez Q 105 (**Tableau 4.1**).

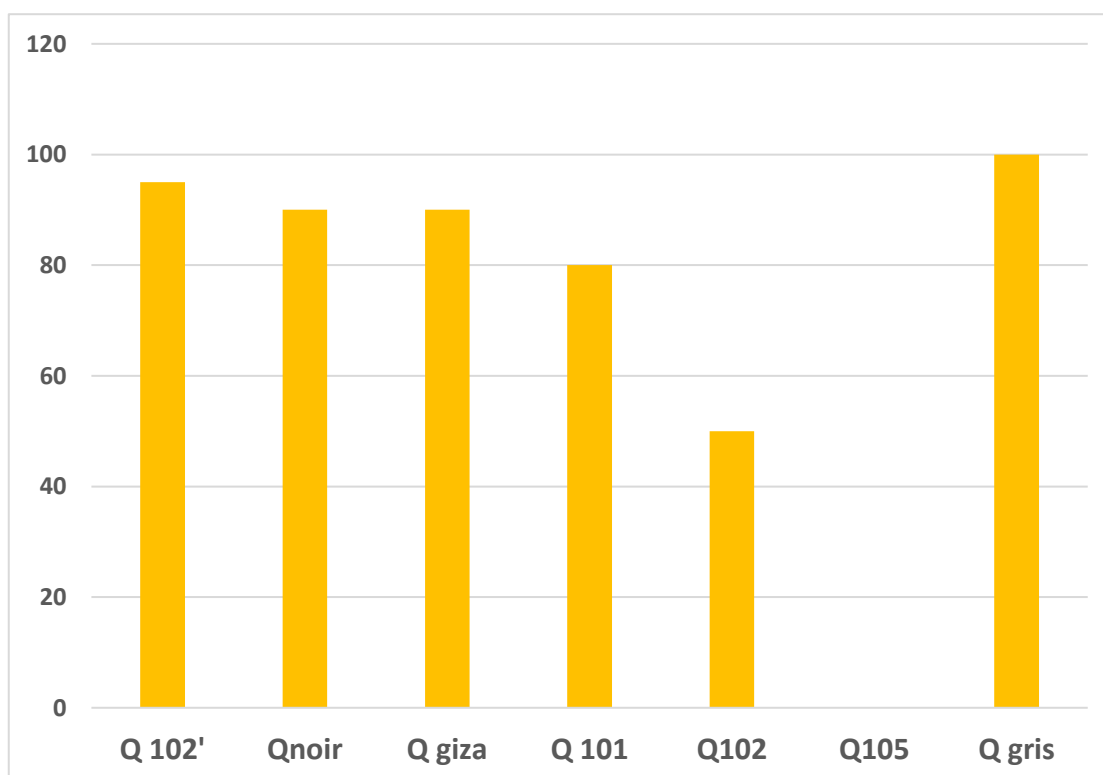
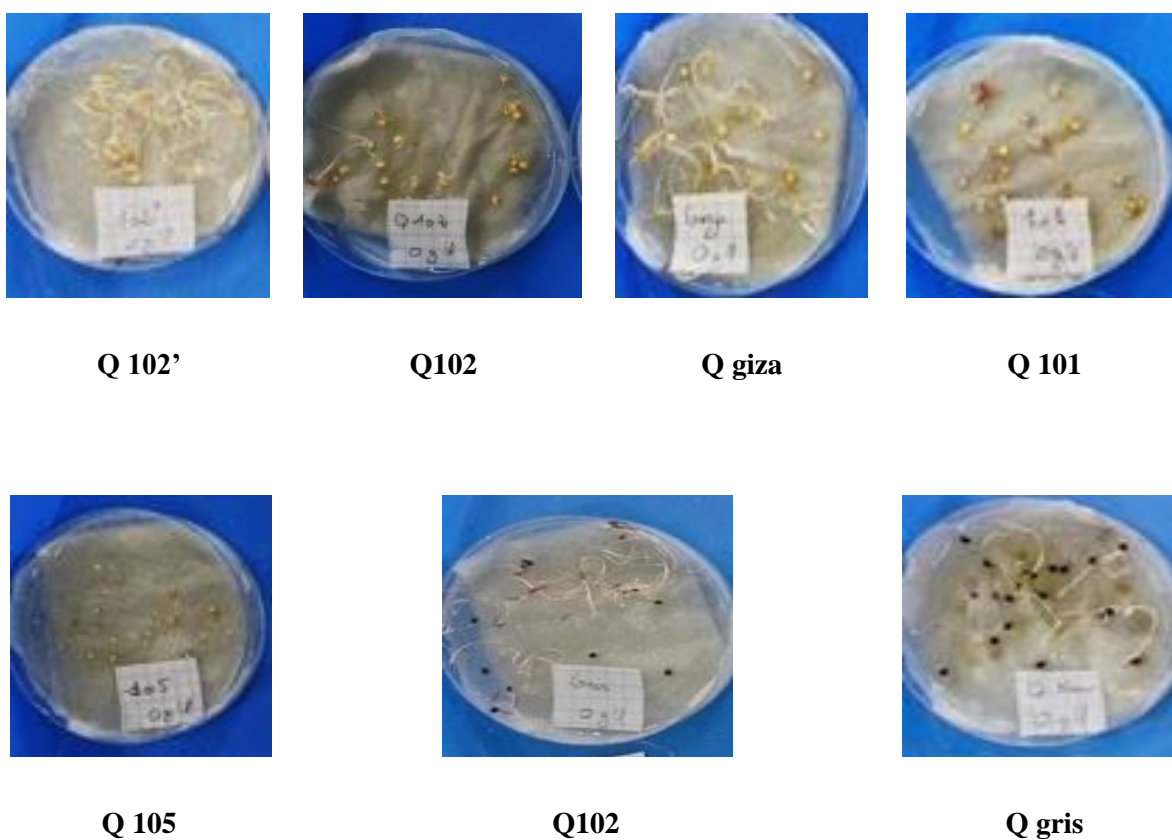


Figure 4.1 : Test de viabilité des graines de sept variétés du quinoa

Tableau 4.1 : Taux de viabilité des graines de sept variétés du quinoa.

Les variétés	Moyenne \pm écart type	Signification	Probabilité
Q gris	100 \pm 0A	Très hautement significatif	0
Q 102'	95 \pm 0B		
Q noir	90 \pm 2C		
Q giza			
Q 101	80 \pm 1D		
Q 102	50 \pm 1 ^E		
Q 105	0 \pm 0F		

La présence de la même lettre sur les barres d'écart types indique l'absence de différence significative au seuil d'erreur 5% entre les valeurs correspondantes.

**Figure 4.2** : Taux de germination des variétés du quinoa en absence du stress salin.

4.2. Test du stress salin sur les différentes variétés du quinoa

Nos résultats montrent que la variation du taux de germination en fonction des concentrations de NaCl est très hautement significative ($p < 0,001$).

La variation intra spécifique pour la tolérance au stress salin est très documentée et de nombreuses études ont montré l'existence de variétés tolérantes et d'autres sensibles au NaCl au sein de la même espèce sur la base d'essais de germination et de la croissance des plantules (**KHAN et al., 1997 ; BOUKHALT et CHELLALI, 2022**). Ces études montrent les efforts faits par les améliorateurs et les sélectionneurs pour classer des variétés tolérantes et les utiliser comme une source de résistance au programme d'amélioration des plantes.

Selon **HOLLINGTON, (1998)**, le classement précoce n'est possible que suite à des expérimentations réalisées sous conditions contrôlées, vu que les expériences à une échelle plus grande demandent plus de graines. De ce fait les essais de germination et de croissance des plantules sont une étape importante dans le processus de classement ou d'identification de la tolérance ou de la sensibilité au stress salin.

L'analyse de la variance montre des effets moyens variété et salinité très hautement significatifs ainsi que leur interaction pour le pourcentage de germination. Une interaction significative suggère que l'étude des effets moyens est peu utile dans la mesure où le taux de germination des différentes variétés varie en fonction de la concentration du stress salin.

La moyenne générale de l'essai, pris par le taux de germination est de 68.71 %. Cette faible valeur indique la qualité de la graine utilisée. Selon les normes de l'**ISTA (NIJENSTEIN et al., 2008)**, une graine dont le taux de germination est inférieur à 85% est de mauvaise qualité. Selon (**ELLIS et al., 1990**), la qualité de la graine est influencée par la durée entre la récolte et le semis, et aussi par les conditions de récolte et de stockage, surtout la variation de la température et de l'humidité relative.

Il est nécessaire de combiner les informations au sujet de taux de germination sous l'effet de NaCl avec celle de la qualité de la graine pour pouvoir faire la différence entre les variétés qui germent faiblement parce qu'elles sont génétiquement sensibles au stress salin, de celles qui germent faiblement parce que la graine est de mauvaise qualité (ALAM *et al.*, 2005).

Parmi les 07 variétés testées, seules les variétés Q 102', Qgris Q giza et Q noir présentent un taux de germination supérieur au seuil de 85% .

4.2.1. En absence du stress salin

Les résultats de la présente étude indiquent globalement une sensibilité moyenne des variétés du quinoa testés au stress salin. Cette sensibilité est cependant variable selon les variétés. En effet l'étude de l'interaction variété x salinité montre des comportements variables selon les variétés et la concentration du stress salin. Considérant que le seuil de 100% de germination, en absence de stress salin, est un pourcentage important, certaines variétés, comme Q gris « 100% », Q102' « 95% », Q noir et Q Giza « 90% », Q101 « 80% », Q102 « 50% », Q105 « 0% », présentent des pourcentages inférieurs à ce seuil. Ces résultats suggèrent que la graine de ces variétés est de mauvaise qualité. Ceci explique les différences significatives entre variétés pour le pourcentage de germination, en absence de stress salin (Figure 0.2) .

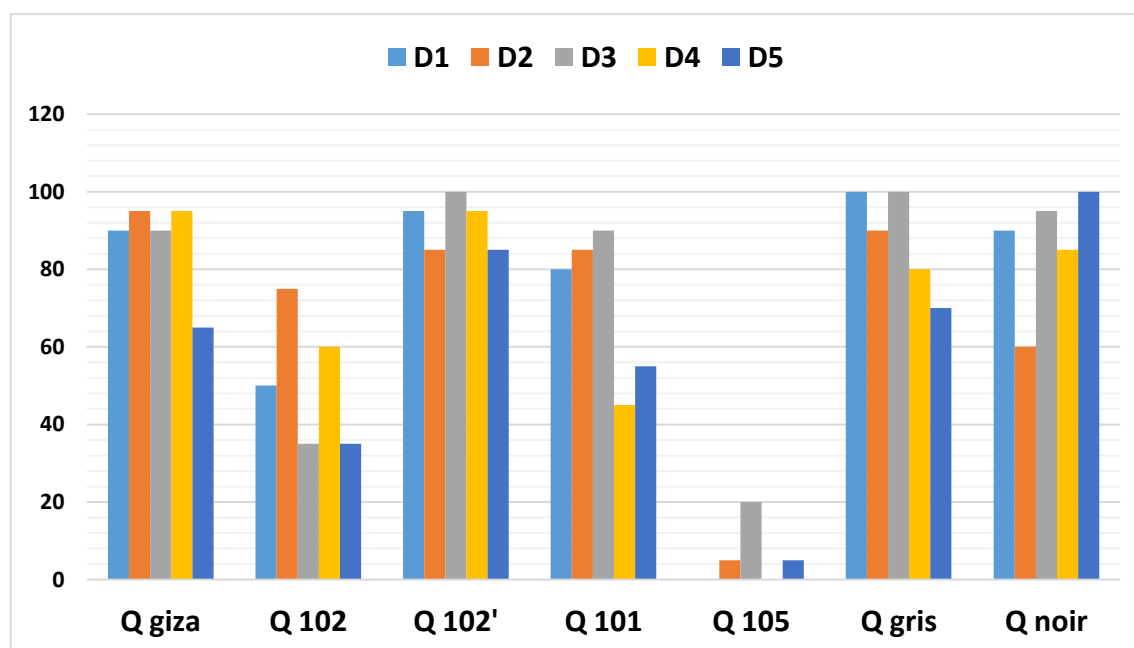


Figure4.3 : Taux de germination de sept variétés du quinoa en conditions saline.

4.2.2. En présence du stress salin

Sous stress salin, on note le comportement exceptionnel de la variété Q noir qui montre une résistance élevée au stress salin. Le pourcentage de germination de cette variété varie de 100 (sous stress salin sévère « 200mM ») à 60% (sous stress salin faible « 50mM ») entre les concentrations de 0 mM et 200 mM, soit une réduction de 33.33% .

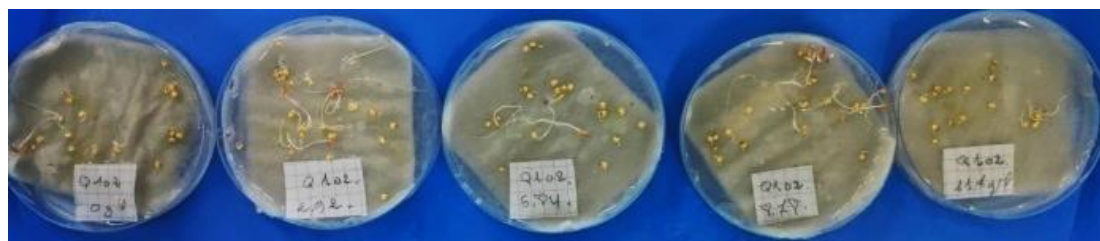
Q gris ainsi que Q 102', malgré la qualité de la semence de cette dernière variété, montrent une tolérance acceptable au stress salin. Le pourcentage de germination de Q gris varie de 100 % sous stress salin moyennement modéré à 70% sous stress sévère et celui de Q 102' de 100 sous stress salin moyennement modéré à 85 %, ce qui représente des pertes de 30 et 15 %, respectivement. Les variétés qui montrent une sensibilité élevée sous stress salin de faible concentration sont Q 105 dont le pourcentage de germination de 0 % entre 0 et 200 mM NaCl, suivi de Q 102 (75 % à 35 %), Q 101 (90% à 45 %), Q giza (95 % à 65 %). Entre 50 et 100 mM NaCl, c'est Q102 qui accuse une baisse élevée du pourcentage de germination (53.33%). Entre 100 et 150 mM NaCl, c'est Q 101 qui accuse de forte baisse du pourcentage de germination . Entre 150 Mm et 200 mM, c'est Q 102 qui accuse de forte baisse du pourcentage de germination (41.66%).

Ainsi ces résultats montrent que sur la base du pourcentage de germination et sous faible stress salin (0 à 50mM), la variété qui se montre sensible est Q noir. Sous stress modéré (50 à 100 mM), la variété la plus sensible est Q 10, sous stress moyennement modéré (100 à 150 mM NaCl), c'est Q 101 qui montre la plus sensible et sous stress salin sévère (150 mM a 200mM) Q 102 qui montre la plus grande sensibilité vis-à-vis du stress salin (Figure 1.) Ces résultats rejoignent ceux de **BRAKEZ et al., (2013)** ; **KOYRO et EISA (2008)** ; **BOUKHALAT et CHELLALI, (2022)** qui mentionnent que le taux de germination baisse significativement à mesure que la concentration de NaCl augmente chez la plupart des variétés du quinoa.



0 Mm 50 mM 100 mM 150 mM 200 Mm

Figure 4.4 : Effet du stress salin sur le taux de germination des graines du Q 102'



0 Mm 50 mM 100 mM 150 mM 200 mM

Figure 4.5: Effet du stress salin sur la germination des graines du Q 102



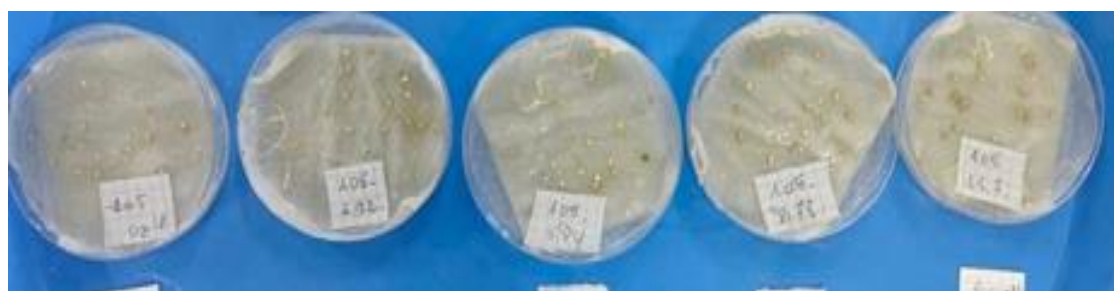
0Mm 50 mM 100mM 150mM 200mM

Figure 4.6 : effet du stress salin sur la germination des graines du Q giza



0Mm 50 mM 100mM 150mM 200mM

Figure 4.7 : Effet du stress salin sur le taux de germination des graines du Q 101



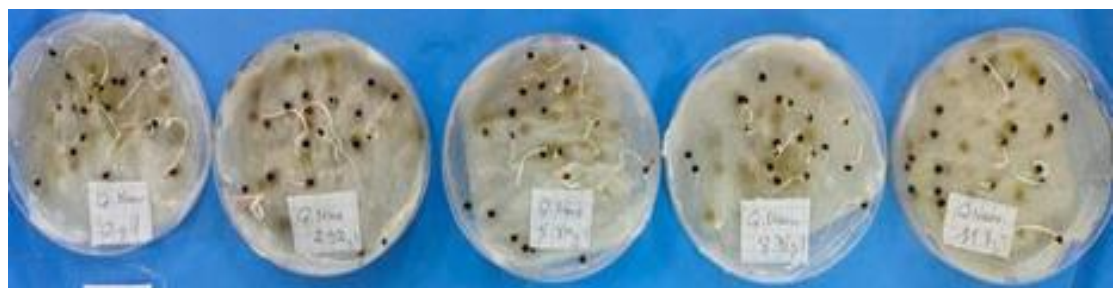
0 Mm 50 mM 100 mM 150 mM 200 mM

Figure 4.8: Effet du stress salin sur le taux de germination des graines du Q105



0 Mm 50 mM 100 mM 150 mM 200 mM

Figure 4.9 : Effet du stress salin sur le taux de germination des graines du Q gris



0 Mm 50 mM 100 mM 150 mM 200 mM

Figure 4.10 : Effet du stress salin sur le taux de germination des graines du Q noir

Tableau 4.2 :Taux de germination de sept variétés du quinoa en conditions saline.

Interaction variétés x NaCl	Moyenne \pm écart type	Groupes homogènes	Probabilité	Signification
Q gris D3	100 \pm 0	A	0	Le test F est très hautement significatif
Q 102' D3				
Q gris D1				
Q noir D5				
Q giza D2	95 \pm 0	B		
Q giza D4				
Q noir D3				
Q 102' D4				
Q 102' D1	90 \pm 2	C		
Q noir D1				
Q giza D3				
Q gris D2				
Q giza D1	85 \pm 1	D		
Q 101 D3				
Q 102' D5				
Q 101 D2				
Q noir D4	80 \pm 1	E		
Q 102' D2				
Q gris D4				
Q 101 D1				
Q 102 D2	75 \pm 2	F		
Q gris D5	70 \pm 1	G		
Q giza D5	65 \pm 1	H		
Q 102 D4	60 \pm 2	I		
Q noir D2				
Q 101 D5				
Q 102 D1				
Q 101 D4	55 \pm 0	J		
Q 102 D1	50 \pm 1	K		
Q 101 D4	45 \pm 1	L		
Q 102 D5	35 \pm 0	M		
Q 102 D3				
Q 105 D3				
Q 105 D2				
Q 105 D3	20 \pm 1	N		
Q 105 D2	5 \pm 0			

Q 105 D5		O	
Q 105 D4			
Q 105 D1	0 ± 0	P	

La présence de la même lettre sur les barres d'écart types indique l'absence de différence significative au seuil d'erreur 5% entre les valeurs correspondantes

Tableau 4.3 : Classification des variétés du quinoa étudiées en groupes homogènes, selon le test Newman-Keuls, pour le paramètre «taux de germination»

Les variétés	Moyenne	Groupe homogène
Q 102'	92	A
Q gris	88	B
Q giza	87	C
Q noir	86	D
Q 101	71	E
Q 102	51	F
Q 105	6	G

La présence de la même lettre sur les barres d'écart types indique l'absence de différence significative au seuil d'erreur 5% entre les valeurs correspondantes

Il apparait de la lecture du (**Tableau 4.3**) que les variétés « Q102', Q gris, Q giza et Q noir » est significativement les meilleurs, comparativement aux autres variétés. Suivi par la variété « Q101 et Q 102 ». La variété «Q 105», quant à elle, elle se montre la plus sensible au stress salin.



Q 102'



Q gris

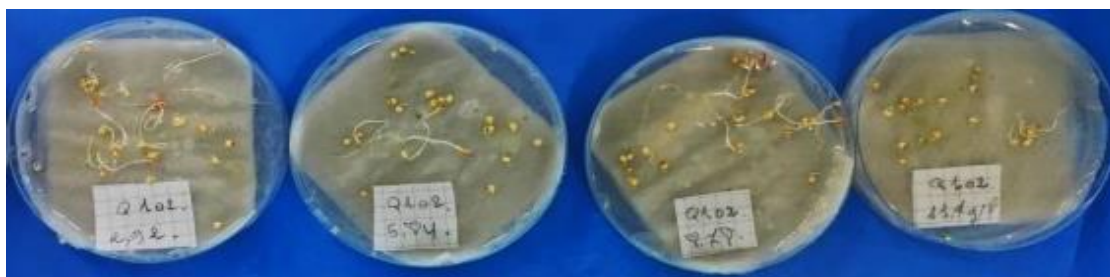


Q giza



Q. noir

Figure4 .11 : Variétés du quinoa tolérantes au stress salin de 50 mM à 200 mM



Q 102



Q101

Figure 4.12 : Variétés du quinoa moyennement tolérantes au stress salin de 50 Mm à 200 Mm



Q105

Figure 4. 13 : Variété du quinoa la plus sensible au stress salin avec de mauvaise qualité des graines 'Q105'

CONCLUSION

Les graines du quinoa présentent une meilleure aptitude à germer en absence du stress (0 mM NaCl) ou sous des conditions salines de faible concentration (50 mM et 100 mM). Le sel est donc un facteur limitant qui provoque l'inhibition de la germination de certaines graines du quinoa.

La germination est l'ensemble des processus qui vont du début de la réhydratation de la graine à la sortie de la radicule. Ce stade de développement est considéré comme une étape importante dans l'établissement des semis et ainsi la détermination d'une production agricole réussie. Nos résultats montrent que la salinité affecte le taux de germination chez les différentes variétés du quinoa. En tenant compte le taux de germination étudié, les variétés Q.102', Q. gris et Q. noir se sont montrées plus tolérantes à la salinité que les autres variétés testées. L'effet du NaCl peut être toxique ou osmotique. En effet, les différentes variétés du quinoa testées sont affectées par une dépression osmotique et toxique sauf Q.102', Q. gris et Q. noir qui semblent être affectées seulement par un effet osmotique. D'autre part, les concentrations très élevées de NaCl (150 Mm et 200 mM) agissent négativement sur le taux de germination et provoque une inhibition.

La réponse au sel des espèces végétale dépend de l'espèce même, de ses variétés de l'intensité de sel et du stade de développement de la plante. Ces résultats suggèrent que les tests de germination pourraient constituer des tests de sélection rapide des espèces végétales tolérantes au sel.

Il serait intéressant de la compléter par des travaux au stade de croissance et de développement dans le but de réunir des informations supplémentaires pour comprendre les mécanismes d'adaptations de cette plantes en conditions stressantes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABUGOCH, L., CASTRO, E., TAPIA, C., AÑON, M. C., GAJARDO, P., et VILLARROEL, A. (2009). stability of quinoa flour proteins (*Chenopodium quinoa* Willd.) during storage. International journal of food science et technology, 44(10), 2013-2020.

ADOLF, V. 1., JACOBSEN, S. E., et SHABALA, S. (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Environmental and Experimental Botany, 92, 43-54.

ALAM, M. A., et MAHAPATRA, S. (2005). A comprehensive model of PMOS NBTI degradation. Microelectronics Reliability, 45(1), 71-81.

ALEGRÍA, A. E., FERRER, A., SANTIAGO, G., SEPÚLVEDA, E., et FLORES, W. (1999). photochemistry of water-soluble quinones. Production of the hydroxyl radical, singlet oxygen and the superoxide ion. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 127(1-3), 57-65.

ALMANSOURI, M., KINET, J.-M., et LUTTS, STANLEY. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Plant and soil, 2001, vol. 231, no 2, p. 243-254.

ANDO, R., HAMA, H., YAMAMOTO-HINO, M., MIZUNO, H., et MIYAWAKI, A. (2002). An optical marker based on the UV-induced green-to-red photoconversion of a fluorescent protein. Proceedings of the National Academy of Sciences, 99(20), 12651-12656.

APSE, M. P., SOTTOSANTO, J. B., et BLUMWALD, E. (2003). Vacuolar cation/H⁺ exchange, ion homeostasis, and leaf development are altered in a T DNA insertional mutant of AtNHX1, the Arabidopsis vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter. The plant journal, 36(2), 229-239.

AUGUSTIN, T., CAGIR, B., et VANDERMEER, T. J. (2011). Characteristics of perforated appendicitis: effect of delay is confounded by age and gender. *Journal of Gastrointestinal Surgery*, 15(7), 1223-1231.

AVILA RUIZ, G., ARTS, A., MINOR, M., et SCHUTYSER, M. (2016). A hybrid dry and aqueous fractionation method to obtain protein-rich fractions from quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*). *Food and Bioprocess Technology*, 9(9), 1502-1510.

BAHIA, LALLOUCHE., BOUBAKR, H. K., ASMA, BELOUDAH., REGUIA, B. M., et AMMAR, BOUTEKRABT. (2020). PHENOTYPIC CHARACTERIZATION OF SOME LETTUCE CULTIVARS (*LACTUCA SATIVA L.*) CULTIVATED IN ALGERIA.

BAZILE, D., et BAUDRON, F. (2015). The dynamics of the global expansion of quinoa growing in view of its high biodiversity.

BAZILE, D., JACOBSEN, S. E., et VERNIAU, A. (2016). The global expansion of quinoa: trends and limits. *Frontiers in plant science*, 7, 622.

BELL, V. (1999). Performativity and belonging: An introduction. *Theory, Culture et Society*, 16(2), 1-10.

BEN MADANI, R., et BELOUADAH, A. (2017). Test de germination dans des conditions de stress salin et caractérisation phénotypique de quelques variétés de la laitue cultivée dans la région de M'sila (Doctoral dissertation, Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila).

BEWLEY, J. DEREK. Seed germination and dormancy. *The plant cell*, 1997, vol. 9, no 7, p. 1055.

BHARGAVA, A., SHUKLA, S., et OHRI, D. (2007). Effect of sowing dates and row spacings on yield and quality components of quinoa (*Chenopodium quinoa*) leaves. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 77(11), 748.

BOUKHALAT, M., et CHELLALI, O. (2022). L'effet du stress salin sur le comportement de quelques variétés du quinoa cultivée dans la région de M'sila (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).

BRAKEZ, M., BRIK, K. E., DAOUD, S., et HARROUNI, M. C. (2013). Performance of chenopodium quinoa under salt stress. In *Developments in soil salinity assessment and reclamation* (pp. 463-478). Springer, Dordrecht.

CABIDO, M., ATECA, N., ASTEGIANO, M., et ANTON, A. (1997). Distribution of C3 and C4 grasses along an altitudinal gradient in Central Argentina. *Journal of Biogeography*, 24(2), 197-204.

CACERES DITTMAR, G., TAPIA, F. J., SÉNCHÉZ, M. A., YAMAMURA, M., UYEMURA, K., MODLIN, R. L., ... et CONVIT, J. (1993). Determination of the cytokine profile in American cutaneous leishmaniasis using the polymerase chain reaction. *Clinical et experimental Immunology*, 91(3), 500-505.

CHEN, C. H., VAUGHEY, J. T., JANSEN, A. N., DEES, D. W., KAHAIAN, A. J., GOACHER, T., et THACKERAY, M. M. (2001). Studies of Mg-substituted $\text{Li}_4\text{-xMg}_x\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ spinel electrodes ($0 \leq x \leq 1$) for lithium batteries. *Journal of the Electrochemical Society*, 148(1), A102.

CRAMER, S. C., NELLES, G., BENSON, R. R., KAPLAN, J. D., PARKER, R. A., KWONG, K. K., ... et ROSEN, B. R. (1997). A functional MRI study of subjects recovered from hemiparetic stroke. *Stroke*, 28(12), 2518-2527.

Del Castillo, C., Mahy, G., et Winkel, T. (2008). Le quinoa en Bolivie : une culture ancestrale devenue culture de rente " bio-équitable". *BASE*

DJANAGUIRAMAN, M., PRASAD, P. V., BOYLE, D. L., et SCHAPAUGH, W. T. (2013). Soybean pollen anatomy, viability and pod set under high temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199(3), 171-177.

ELLIS, R. H., HONG, T. D., et ROBERTS, E. H. (1990). An intermediate category of seed storage behaviour? 1. Coffee. *Journal of Experimental Botany*, 41(9), 1167-1174.

FAOSTAT, F. (2015). Agriculture organization of the United Nations, 2011. FAO, Retrieved from <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/S>. Acceso, 20

FÉLIX MATEO, V., SORIANO FERRER, M., GODOY MESAS, C., et MARTÍN RUIZ, I. (2008). prevención de la violencia y promoción de la convivencia escolar en la Comunitat Valenciana (*Plan PREVI*). Aula abierta.

FLOWERS, T. J., HAJIBAGHERI, M. A., et CLIPSON, N. J. W. (1986). Halophytes. *The quarterly review of biology*, 61(3), 313-337.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (**FAO**). (2013). *FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations*.

FRIES, A. M., et TAPIA, M. E. (2007). Guía de campo de los cultivos andinos.

GANDARILLAS, H. (1979). Genética y origen. Quinoa y Kañiwa, cultivos andinos. bogota, Colombia, CIID, Oficina Regional para América Latina, 45-64.

GAO, X., WILDE, P. E., LICHTENSTEIN, A. H., et TUCKER, K. L. (2006). The 2005 USDA food Guide Pyramid is associated with more adequate nutrient intakes within energy constraints than the 1992 Pyramid. *The Journal of nutrition*, 136(5), 1341-1346.

GÓMEZ-CADENAS, A., ARBONA, V., JACAS, J., PRIMO-MILLO, E., et TALON, M. (2002). Abscisic acid reduces leaf abscission and increases salt tolerance in citrus plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 21(3), 234-240.

GONZALEZ, G. A., et MONTMINY, M. R. (1989). Cyclic AMP stimulates somatostatin gene transcription by phosphorylation of CREB at serine 133. *Cell*, 59(4), 675-680.

GORHAM, J., et CHRISTOPHEL, D. M. (1990). The relationship of teachers' use of humor in the classroom to immediacy and student learning. *Communication education*, 39(1), 46-62.

GREENWAY, H., et MUNNS, R. (1980). Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *annual review of plant physiology*, 31(1), 149-190.

GRONDIN, A., RODRIGUES, O., VERDOUCQ, L., MERLOT, S., LEONHARDT, N., et MAUREL, C. (2015). Aquaporins contribute to ABA-triggered stomatal closure through OST1-mediated phosphorylation. *The Plant Cell*, 27(7), 1945-1954.

HANANA, M., CAGNAC, O., ZARROUK, M., et BLUMWALD, E. (2009). Rôles biologiques des antiports vacuolaires NHX: acquis et perspectives d'amélioration génétique des plantes. *Botany*, 87(11), 1023-1035.

HERBILLON, M. (2015). Le quinoa.intérêtnutritionneletperspectivespharmaceutiques:

HOLLINGTON, P. A. (1998, December). Technological breakthroughs in screening/breeding wheat varieties for salt tolerance. In Proceedings of the national conference on salinity management in agriculture (pp. 2-5). Karnal., India: CSSP1.

HUANG, J. et REDMANN, R. E. Salt tolerance of *Hordeum* and *Brassica* species during germination and early seedling growth. *Canadian Journal of Plant Science*, 1995, vol. 75, no 4, p. 815-819.

IZQUIERDO, M. S., FERNANDEZ-PALACIOS, H., et TACON, A. G. J. (2001). Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. *Aquaculture*, 197(1-4), 25-42.

JACOBSEN, E. N., PFALTZ, A., et YAMAMOTO, H. (Eds.). (2003). Comprehensive asymmetric catalysis: Supplement 1 (Vol. 1). Springer Science et Business Media.

JACOBSEN, R., LORENZEN, J. K., TOUBRO, S., KROG-MIKKELSEN, 1., et ASTRUP, A. (2005). Effect of short-term high dietary calcium intake on 24-h energy expenditure, fat oxidation, and fecal fat excretion. *International journal of obesity*, 29(3), 292-301.

JACOBSEN, S. E., et STØLEN, O. (1993). Quinoa-morphology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe. *European Journal of Agronomy*, 2(1), 19-29.

JACOBY, H. G. (1994). Borrowing constraints and progress through school: Evidence from Peru. *The Review of Economics and Statistics*, 151-160.

KARYOTIS, T., ILIADIS, C., NOULAS, C., et MITSIBONAS, T. H. (2003). Preliminary research on seed production and nutrient content for certain quinoa varieties in a saline-sodic soil. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 189(6), 402-408.

KHAN, SHAHBAZ, KHAN, M. A., HANJRA, MUNIR AHMAD, et al. Pathways to reduce the environmental footprints of water and energy inputs in food production. *Food policy*, 2009, vol. 34, no 2, p. 141-149.

KHAN, Z. R., CHILISWA, P., AMPONG-NYARKO, K., SMART, L. E., POLASZEK, A., WANDERA, J., et MULAA, M. A. (1997). Utilisation of wild gramineous plants for management of cereal stemborers in Africa. *International Journal of Tropical Insect Science*, 17(1), 143-150.

KIM, D. Y., PARK, J., et MORRISON, A. M. (2008). A model of traveller acceptance of mobile technology. *International Journal of Tourism Research*, 10(5), 393-407.

KOYRO, H. W., et EISA, S. S. (2008). Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. *Plant and Soil*, 302(1), 79-90.

KOZIOL, G., et FARMER, S. A. (1992). *Begging pardon and favor: ritual and political order in early medieval France.* Cornell University Press.

KRONIEWICZ, L. (2011). *Caractérisation physiologique et fonctionnelle du transporteur anionique ATCLC-C chez Arabidopsis Thaliana (Doctoral dissertation, Aix-Marseille 2).*

KUBIEN, D. S., et SAGE, R. F. (2004). Low-temperature photosynthetic performance of a C4 grass and a co-occurring C3 grass native to high latitudes. *Plant, Cell et Environment*, 27(7), 907-916.

LADLOW, P., BENNETT, N., PHILLIP, R., DHARM-DATTA, S., MCMENEMY, L., et BENNETT, A. N. (2019). Passive-dynamic ankle-foot orthosis improves medium-term clinical outcomes after severe lower extremity trauma. *BMJ Military Health*, 165(5), 330-337.

LAU, P., et BOSQUE, C. (2003). Pollen flow in the distylous *Palicourea fendleri* (Rubiaceae): an experimental test of the disassortative pollen flow hypothesis. *Oecologia*, 135(4), 593-600.

LESCANO, G. (1994). Extension of mushroom (*Agaricus bisporus*) shelf life by gamma radiation. *Postharvest Biology and Technology*, 4(3), 255-260.

LEVIGNERON, A., LOPEZ, F., VANSUYT, G., BERTHOMIEU, P., FOURCROY, P., et CASSE-DELBART, F. (1995). Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*, 4(4), 263-273.

LI, M., WANG, J., ZHUANG, L., et CHOU, S. Y. (2000). Fabrication of circular optical structures with a 20 nm minimum feature size using nanoimprint lithography. *Applied physics Letters*, 76(6), 673-675.

MAAS, E. V., POSS, J. A., et HOFFMAN, G. J. (1986). Salinity sensitivity of sorghum at three growth stages. *Irrigation Science*, 7(1), 1-11.

MAHAJAN, S., et TUTEJA, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of biochemistry and biophysics*, 444(2), 139-158.

MAHJOUBI, H. (2018). Nouvelle stratégie d'amélioration de la productivité végétale en condition de stress environnemental via un meilleur contrôle du cycle cellulaire (Doctoral dissertation, Strasbourg).

MANSOUR, M. M. F. (2013). Plasma membrane permeability as an indicator of salt tolerance in plants. *Biologia Plantarum*, 57(1), 1-10.

MARCAR, N. E., DART, P., et SWEENEY, C. (1991). Effect of rootzone salinity on growth and chemical composition of *Acacia ampliceps* BR Maslin, *A. auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. and *A. mangium* Willd at two nitrogen levels. *New phytologist*, 119(4), 567-573.

MIRANDA, M., VEGA-GÁLVEZ, A., QUISPE-FUENTES, I., RODRÍGUEZ, M. J., MAUREIRA, H., et MARTÍNEZ, E. A. (2012). Nutritional aspects of six quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) ecotypes from three geographical areas of Chile. *Chilean journal of agricultural research*, 72(2), 175.

MISIRLI, A., GÜLCAN, R., KÜDEN, A., et DEMIR, G. (2001). Determination of phenolic compounds in some almond hybrids varying in resistance to *Pseudomonas amygdali*. *Cahiers Options Méditerranéennes (CIHEAM)*.

MUJICA, A., RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ, P., RADESCU, S., NEEDS, R. J., et MUNOZ, A. (1999). AlX (X= As, P, Sb) compounds under pressure. *physica status solidi (b)*, 211(1), 39-43.

MUJICA, F. F., PERRONE, T., FORLANO, M., CORONADO, A., MELÉNDEZ, R. D., BARRIOS, N., ... et GRANDA, F. (2011). Serological prevalence of *Babesia caballi* and *Theileria equi* in horses of Lara State, Venezuela. *Veterinary Parasitology*, 178(1-2), 180-183.

MUJICA, V., et RATNER, M. A. (2001). Current–voltage characteristics of tunneling molecular junctions for off-resonance injection. *Chemical Physics*, 264(3), 365-370.

MUJICA, VLADIMIRO et RATNER, MARK A. Current–voltage characteristics of tunneling molecular junctions for off-resonance injection. *Chemical Physics*, 2001, vol. 264, no 3, p. 365-370.

MUNNS, R. (1993). Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant, Cell et Environment*, 16(1), 15-24.

MUNNS, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell et environment*, 25(2), 239-250.

MUNNS, R., et TESTER, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual review of plant biology*, 59, 651.

NIJËNSTEIN, S. (2012). Determining the role of values in students' housing choice behaviour with latent class and mixed logit conjoint analysis methods. Unpublished Master Thesis, Eindhoven University of Technology, Eindhoven.

NOBLE, C. L., et ROGERS, M. E. (1992). Arguments for the use of physiological criteria for improving the salt tolerance in crops. *Plant and soil*, 146(1), 99-107.

Oelke, E. A., Putnam, D. H., Teynor, T. M., et Oplinger, E. S. (1992). Quinoa. *Alternative field crops manual*. University of Wisconsin Cooperative Extension Service, University of Minnesota Extension Service. *Center for Alternative Plant & Animal Products.*

PARIDA, A., DAS, A. B., et DAS, P. (2002). NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins, and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. *Journal of Plant Biology*, 45(1), 28-36.

PRAKASH, D., et PAL, M. (1998). Chenopodium: seed protein, fractionation and amino acid composition. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 49(4), 271-275.

PREGO-MELEIRO, P., MONTALVO, G., QUINTELA-JORGE, Ó., et GARCIA-RUIZ, C. (2020). An ecological working framework as a new model for understanding and preventing

the victimization of women by drug-facilitated sexual assault. *Forensic science international*, 315, 110438.

RAHMOUNE, C., SERIDI, R., PAUL, R., et DREZE, P. (2000). Influence of Zn concentration in solution applied to leaves and roots on the absorption and translocation of Cd by leaves. *Dirasat. Agricultural Sciences*, 27(1), 72-77.

RAHNESHAN, Z., NASIBI, F., et MOGHADAM, A. A. (2018). Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Journal of plant interactions*, 13(1), 73-82.

RISI, J. C., et GALWEY, N. W. (1989). The pattern of genetic diversity in the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). 1. Associations between characteristics. *Euphytica*, 41(1), 147-162.

RIVERO, R. M., MESTRE, T. C., MITTLER, R. O. N., RUBIO, F., GARCIA SANCHEZ, FRANCISCO., et MARTINEZ, V. (2014). The combined effect of salinity and heat reveals a specific physiological, biochemical and molecular response in tomato plants. *Plant, cell et environment*, 37(5), 1059-1073.

RUALES, J., GRIJALVA, Y. D., LOPEZ-JARAMILLO, P., et NAIR, B. M. (2002). The nutritional quality of an infant food from quinoa and its effect on the plasma level of insulin-like growth factor-1 (IGF-1) in undernourished children. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 53(2), 143-154.

SANCHEZ, H. B., LEMEURE, R., DAMME, P. V., et JACOBSEN, S. E. (2003). Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, 19(1-2), 111-119.

SCHLICK, S. (1996). Ionomers: characterization, theory, and applications. CRC press.

SHAHBAZ, M., KHAN, S., et TAHIR, M. 1.(2013). The dynamic links between energy consumption, economic growth, financial development and trade in China: fresh evidence from multivariate framework analysis. *Energy economics*, 40, 8-21.

SLAMA, T. G., SKLAR, S. J., MISINSKI, J., et FESS, S. W. (1986). Randomized comparison of cefamandole, cefazolin, and cefuroxime prophylaxis in open-heart surgery. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 29(5), 744-747.

SOFO, A., DICHIO, B., XILOYANNIS, C., et MASIA, A. (2004). Effects of different irradiance levels on some antioxidant enzymes and on malondialdehyde content during rewatering in olive tree. *Plant Science*, 166(2), 293-302.

STIKIĆ, R., JOVANOVIĆ, Z., MARJANOVIĆ, M., et DJORDJEVIĆ, S. (2015). The effect of drought on water regime and growth of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ratarstvoipovrtarstvo*, 52(2), 80-84.

TAL, A., BAVILSKI, C., YOHAI, D., BEARMAN, J. E., GORODISCHER, R., et MOSES, S. W. (1983). Dexamethasone and salbutamol in the treatment of acute wheezing in infants. *Pediatrics*, 71(1), 13-18.

TAPIA, R., DRUCKER COLÍN, R. R., MEZA RUÍZ, G., DURÁN, L., et LEVI, G. (1979). neurophysiological and Neurochemical Studies on the Action of the Anticonvulsant hydroxy, Ethyl, Phenyl Butyramide. *Epilepsia*, 20(2), 135-145.

TIDJANI, Z., et ABABSA, R. (2019). Enquête sur la culture de quinoa (*Chenopodium quinoa willd*) dans le sud Algérien.

VALENCIA-CHAMORRO, S. A. (2003). Quinoa. In *Encyclopedia of Food Science and Nutrition*.

VAN DER MOEZEL, P. G., WATSON, L. E., PEARCE-PINTO, G. V. N., et BELL, D. T. (1988). The response of six Eucalyptus species and Casuarina obesa to the combined effect of salinity and waterlogging. *Functional Plant Biology*, 15(3), 465-474.

WHITE, W. M., TAPIA, M. D., et SCHILLING, J. G. (1979). The petrology and geochemistry of the Azores Islands. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69(3), 201-213.

WU, J., et BELMONTE, J. C. 1.(2015). Dynamic pluripotent stem cell states and their applications. *Cell stem cell*, 17(5), 509-525.

YAMAGUCHI, T., et BLUMWALD, E. (2005). Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends in plant science*, 10(12), 615-620.

YUAN, C., MITSUMORI, L. M., FERGUSON, M. S., POLISSAR, N. L., ECHELARD, D., ORTIZ, G., ... et HATSUKAMI, T. S. (2001). In vivo accuracy of multispectral magnetic resonance imaging for identifying lipid-rich necrotic cores and intraplaque hemorrhage in advanced human carotid plaques. *Circulation*, 104(17), 2051-2056.

ZAMAN-ALLAH, M., SIFI, B., et EL AOUNI, M. H. (2009). Paramètres agronomiques liés à la tolérance au sel chez le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.). *BASE*.

ZHANG, J., Lü, F., SHAO, L., et He, P. (2014). The use of biochar-amended composting to improve the humification and degradation of sewage sludge. *Bioresourcetechnology*, 168, 252-258.

ZID, E., et GRIGNON, C. (1991). Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique.