

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° 69/DSA/2022



DOMAINE : SNV
FILIERE : Sciences agronomiques
OPTION : Production végétale

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

Par : ATTALAH Sarra
MILI Sarra
SATA Hala

Intitulé

**Caractérisation agro-morphologique d'une collection du
quinoa pour l'analyse de sa diversité en fonction du stress
salin**

Soutenu devant le jury composé de :

M ^r GUENDOUZEN O.	Université de M'sila	MAA	Président
M ^{me} LALLOUCHE B.	Université de M'sila	MCA	Promoteur
M ^r HADJ KOUIDER B.	Université de M'sila	MCA	Co-Promoteur
M ^r TIR C.	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^{me} LALLOUCHE B., MCA** et au co-promoteur **M^r HADJ KOUIDER 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 : **Mr GUENDOZEN O.**, enseignant chercheur, au département des Sciences Agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila et **M^{lle} TIR C.**, enseignante 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 **AROUSI B.** 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.

Dédicaces

*A mes très chers parents, source de vie, d'amour
et de bonheur*

A ma chère sœur Nadia ma deuxième maman

A mes chers frères Souleymane , Mohammed et Oqba

A l'âme pure de mon frère Abdelouahab

A mes sœurs Iman , Chourouk

A toute ma grande famille

A tous mes amis

ATTALLAH Sarra

Dédicaces

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études, je suis là grâce à vous,

A mon compagnon de vie SATA Hala pour sa fidélité, A mes chers frères, Ahmed et Ilyas pour leur encouragement,

A ma belle sœur Radia et mes copines Widiane, Teqwa, Aya, Rima, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A toute ma famille pour leur soutien.

Merci à tous d'être là pour moi.

MILI Sarra

Dédicaces

A ma grand-mère ... grâce à toi je suis là,

A mon père, à l'homme qui a toujours été, et restera toujours mon exemple et mon idole,

A ma mère qui est là... de toi je puise ma force pour affronter les difficultés de la vie,

A ma mère j'aurais aimé que tu aies vu ce jour avec nous رحك الله

A mon compagnon de vie MILI Sarra pour sa fidélité

A ma grande et petite famille et à tous mes amis merci pour votre soutien et votre motivation dans ma carrière.

SATA Hala

ملخص

قمنا في هذا العمل بمقارنة سلوك الإنبات لسبعة أصناف من الكينوا (*Chenopodium quinoa* Wild.) المعرضة لظروف الإجهاد الملحي. ثم درسنا الصفات المورفولوجية على أساس بعض الصفات الشكلية و المظهرية. أبرزت النتائج أن الأصناف التي تم دراستها أظهرت تبايناً لجميع الصفات المدروسة، ولا سيما تلك المتعلقة بمحتوى الصابونين، رغبة الصابونين المنتجة في أنابيب الاختبار، لون البذور وكثافة الصابونين. تم تنظيم هذا التباين في ثلاث مجموعات من خلال التصنيف الهرمي التصاعدي. كل مجموعة هي مصدر محتمل للصفات التي تهتم زراعة الكينوا وتحسينها.

في الجزء الثاني، درسنا معدل الإنبات لنبات الكينوا تحت تأثير الإجهاد الملحي، وذلك بهدف اختيار وإظهار نسبة الاستجابة تحت تأثير الملح بالنسبة لأنواع المختلفة من الكينوا المدروسة.

سمحت لنا هذه النتائج بتصنيف الأصناف المدروسة إلى خمس مجموعات مختلفة بشكل كبير، من خلال مقارنة معدل إنباتها. تتضمن المجموعة الأولى صنفاً واحداً Q gris(V6) وهو أكثر الأنواع مقاومة للملوحة، أما المجموعة الثانية تحتوي على صنف واحد متوسط التحمل Q 101 (V5) ، يليه Q 105 (V7)، و أخيراً Q giza (V1)، تضم المجموعة الأخيرة ثلاثة أصناف "Q noir (V4)، Q 102 (V2) ، Q 102 * (V3) وهي الأكثر حساسية لإجهاد الملح.

الكلمات الأساسية: الكينوا، التنوع، معدل الإنبات، إجهاد الملح، نسبة التحمل.

RESUME

Dans ce travail, nous avons comparé le comportement germinatif de 7 variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) soumis au stress salin. Ensuite, nous avons étudié la caractérisation morphologique sur la base de quelques paramètres phénotypiques. Les résultats ont montré que les variétés étudiées présentent une variabilité pour tous les caractères étudiés, notamment ceux liés à la teneur en saponines, à la mousse produite dans les tubes, à la couleur des graines et à la densité des saponines. Cette variabilité a été classée en trois groupes par hiérarchie ascendante. Chaque groupe représente une source potentielle de caractères d'intérêt pour la sélection et l'amélioration du quinoa.

Dans une deuxième partie, nous avons étudié le taux de germination en fonction du stress salin, dans le but de sélectionner et de mettre en évidence la variabilité de réponse au sel des différents variétés de quinoa étudiées.

Ces résultats nous ont permis de classer les variétés étudiées en cinq groupes significativement différents, en comparant leur taux de germination. Le premier groupe comprend une variété V6) Q. gris, qui est le plus tolérant à la salinité. Le deuxième groupe contient une variété moyennement tolérant (V5) Q 101, suivi de Q 105 (V7), Giza (V1). Et enfin, le dernier groupe comprend trois variétés : Q 102 (V2), Q noir (V4), Q 102* (V3) et sont les plus sensibles au stress salin.

Mots clés : Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.), Variabilité, Taux de germination , Stress salin, Tolérance.

ABSTRACT

In this work, we compared the germinative behavior of seven varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) subjected to salt stress. Then, we studied the morphological characterization based on some phenotypic parameters. The results showed that the studied varieties present variability for all the characters studied, in particular those related to the content of saponins, the foam produced in the tubes, the color of the seeds and the density of the saponins. Ascending hierarchy classified this variability into three groups. Each group represents a potential source of traits of interest for quinoa breeding and improvement.

In a second part, we studied the germination rate according to salt stress, with the aim of selecting and highlighting the variability of response to salt of the different varieties of quinoa studied. These results allowed us to classify the varieties studied into five significantly different groups, by comparing their germination rate. The first group includes a variety V6 (Q. gray, which is the most tolerant to salinity. The second group contains a moderately tolerant variety (V5) Q 101, followed by Q 105 (V7), Giza (V1). Finally, the last group includes three varieties: Q 102 (V2), Q black (V4), Q 102* (V3) and are the most sensitive to salt stress.

Keywords: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.), Variability, germination rate, salt stress, tolerance.

TABLE DE MATIERE

REMERCIEMENTS

RESUME

TABLE DE MATIERE

LISTE DES ABRIVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION.....16

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE QUINOA 18

1.1. Origine de quinoa.....18

1.2. Distribution géographique de quinoa.....18

1.3. Les écotypes de quinoa.....20

1.3.1. Quinoas de l'Altiplano (hauts plateaux andins du nord).....20

1.3.2. Quinoas des Salares (hauts plateaux de sud).....20

1.3.3. Quinoas Vallées inter-andines.....20

1.3.4. Quinoas des zones arides et des conditions sèches (hautes terres occidentales).....20

1.3.5. Quinoa de haute altitude et climat frais20

1.3.6. Quinoa des régions côtières et près de la mer.....20

1.3.7. Quinoa de jungle et zones tropicales.....20

1.3.8. Quinoa provenant de zones de fortes précipitations et d'humidité..... 20

1.4. La description de quinoa.....20

1.4.1. Description botanique.....20

1.4.2. Description morphologique.....21

1.4.2.1. Caractères végétatifs.....	21
1.4.2.2. Caractères floraux.....	23
1.5. Physiologie de quinoa.....	26
1.5.1. Résistance à la sécheresse.....	26
1.5.2. Résistance au froid.....	27
1.5.3. Résistance aux parasites, maladies, ravageurs.....	28
1.5.4. Tolérance à la salinité.....	29
1.6. Phénologie de quinoa.....	30
1.7. Exigences culturale.....	30
1.7.1. Exigences édaphique.....	30
1.7.2. Exigences hydrique.....	31
1.7.3. Exigences climatique.....	31
1.8. Techniques cultural.....	31
1.8.1. Système de culture manuel traditionnel.....	33
1.8.2. Système de culture mécanisé.....	34
1.9. Importance nutritionnelle du quinoa.....	34
CHAPITRE 2 : BIODIVERSITE DE QUINOA	
	36
2.1. La domestication et ressources génétique.....	36
2.2. Banques de gènes du quinoa.....	37
2.3. La conservation des ressources génétiques.....	38
2.3.1. La conservation in situ.....	38
2.3.2. La conservation ex situ.....	38
2.4. Importance de la biodiversité du quinoa.....	39
CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODES	
	40

3.1. Objectif.....	40
3.2. Méthode d'étude.....	40
3.2.1. Analyse de la diversité génétique en fonction des paramètres morphologique des graines de sept variétés du quinoa.....	41
3.2.1.1. Echantillonnage et paramètres mesuré.....	41
3.2.1.2. Les paramètres étudiés.....	41
3.2.1.3. Analyses statistiques.....	42
3.2.2. Analyse de la diversité génétique en fonction du stress salin de sept variétés du quinoa.....	44
3.2.2.1. Germination des graines.....	44
3.2.2.2. Les paramètres étudiés.....	44
3.2.2.3. Dispositif expérimentale.....	45
3.2.2.4. Analyse statistique.....	45
CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION	46
4.1. Analyse de la diversité génétique en fonction des paramètres morphologiques des graines de sept variétés du quinoa.....	46
4.1.1. Analyses en composantes principales.....	46
4.1.2. Analyse de la diversité par la classification Hiérarchique Ascendante.....	50
4.1.3. Analyse de la matrice des corrélations.....	50
4.2. Analyse de la diversité génétique en fonction du stress salin de sept variétés du quinoa.....	52
DISCUSSION.....	57
CONCLUSION.....	60
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

LISTE DES ABREVIATIONS

ACPP : Analyse en Composante Principale.

FAO: Food and Agriculture Organization.

Fig. : figure.

ha : Unité d'aire Hectare

L : litre unité de volume.

Min : minute unité de temps.

ml : millilitre unité de volume.

mM : milli mole unité de mesure de quantité de matière.

N : Nord.

ONU : Organisation des Nations unies.

P : poids.

PMG : poids de mille graines.

Q : Quinoa.

S : Sud.

TL : Température létale.

UPOV : Union internationale pour la protection des obtentions végétales.

UV : Ultraviolet.

V : variété.

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Racine de quinoa	21
Figure 1.2. La tige de 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 (AZIZI et <i>al.</i> , 2021, BOUKHALT et CHELLALI, 2021).....	25
Figure 1.7. La graine de quinoa.....	25
Figure 3.1. Morphologie des graines étudiées (quinoa).....	40
Figure 3.2. Semis des graines dans des boîte de Pétri.....	44
Figure 4.1. Distributions des variables et des variétés de quinoa dans le plan 1-2 révélée à partir de l'ACP.....	47
Figure 4.2. Projection des sept variétés du quinoa dans le plan 1-2 de l'ACP.....	48
Figure 4.3. Couleur et forme des graines de sept variétés du quinoa.....	49
Figure 4.4. Mousse produite dans des tubes après avoir agité 0.5 g d'échantillons dans 5 ml d'eau distillé.....	49
Figure 4.5. Classification hiérarchique de sept (07) variétés du quinoa (CAH).....	50
Figure 4.6. Taux de germination de sept variétés du quinoa en fonction des différentes doses de NaCl.....	55
Figure 4.7. Taux de germination de sept variétés du quinoa en fonction de NaCl.....	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1. Mécanismes de résistance du quinoa à la sécheresse.....	27
Tableau 1.2. Mécanismes de résistance de la quinoa au froid.....	28

Tableau 3.1 : Descripteurs morphologiques utilisés pour la caractérisation des graines de sept espèces du <i>quinoa</i> (<i>Chenopodium quinoa Willd.</i>) en Algérie.....	43
Tableau 4.1 : Valeurs propres et pourcentage de variation exprimée par les deux premiers axes à partir de sept (07) caractères analysés chez sept variétés du quinoa	46
Tableau 4.2 : Analyse en composante principale (ACP) sur 07 variétés du quinoa.....	47
Tableau 4.3 : Matrice des corrélations (Pearson (n)).....	52
Tableau 4.4 : D'analyse de la variance T20°C.....	53
Tableau 4.5 : moyenne de germination de sept variétés du quinoa sous différentes concentration salines.....	53
Tableau 4.6 : Interaction NaCl variété	54

INTRODUCTION

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est une espèce de plante herbacée, pseudo-céréale sans gluten de la famille des chenopodiacées, Originaire des Hauts plateaux des Andes en Amérique du Sud, pouvant être cultivée à différentes altitudes du niveau de la mer et à des températures allant de moins 4 à plus de 35 C C'est un pseudo-grain à haute valeur nutritionnelle car il est riche en protéines, lipides, fibres, vitamines et minéraux, et a un extraordinaire équilibre d'acides aminés essentiels. Le quinoa contient également une grande quantité de phytochimiques bénéfiques pour la santé, y compris les saponines, les phytostérols et les phytodystéroïdes. On sait que le quinoa a des effets considérablement positifs sur la santé métabolique, cardiovasculaire et gastro-intestinale des humains. Malgré tous ces avantages pour la santé, le quinoa n'est pas largement consommé pour plusieurs raisons, comme les coûts d'importation élevés du grain et le manque de connaissances sur ses avantages pour les consommateurs (NAVRUZ-VARLI, S., et SANLIER, N, 2016)

Grâce aux niveaux élevés de diversité génétique, la culture est très résistante aux extrêmes agro-écologiques (température, sols, précipitation et altitude) et tolère le gel, la sécheresse et la salinité (RUIZ et al., 2014, 2015). Le quinoa peut être divisé en différents écotypes, reflétant sa diffusion depuis le centre d'origine autour du lac Titicaca. Chacun de ces écotypes est associé à des sous-centres de diversité (RISI et GALWEY, 1984), et très adapté à des environnements spécifiques (BAZILE et al., 2016).

En 2013, la **FAO**. a lancé une campagne mondiale de promotion de la consommation du ~~de~~ quinoa, la demande internationale a augmenté rapidement.

La salinité du sol est un problème majeur dans l'agriculture d'aujourd'hui. Le quinoa est devenu une culture importante parce qu'il présente des niveaux élevés de tolérance à la salinité. En outre, ses graines contiennent un excellent équilibre de glucides, de lipides, d'acides aminés et de protéines pour la nutrition humaine (HUANCA et al., 2015).

Le quinoa est une plante nouvelle en Algérie et reste largement inconnue des agriculteurs a été introduit en Algérie en 2013, à l'occasion de l'année internationale du Quinoa, par l'organisation des Nations-Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), à travers un projet régional concernant huit (8) pays : Algérie, Maroc, Liban, Egypte, Irak, Iran, les Emirats, et le Yémen. Les premiers essais de la culture du quinoa en Algérie montre que cette espèce présente une capacité extraordinaire de tolérer un taux élevé de sel dans le sol et présente aussi la capacité de résister à la sécheresse (MAAMRI *et al.*, (2021).

L'objectif du présent travail était la caractérisation de la variabilité génétique en termes de descripteurs morphologique de 7 variétés du quinoa suivi par une étude comparative du comportement germinatif dans des conditions du stress salin pour classée et sélectionnée les variétés les plus intéressantes qui serviront au programme de sélection et d'amélioration.

Ce mémoire est structuré en deux parties distinctes :

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

Chapitre 1 : généralités sur le quinoa Chapitre 2 : la biodiversité de quinoa.

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

Chapitre 1 : Matériel et méthodes.

Chapitre 2 : Résultats et discussion.

Ce présent travail est achevé par une discussion et une conclusion générale.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LE QUINOA

1.1. Origine du quinoa

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* wild.) 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.

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 (**BAZILE et al., 2016**).

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'Équateur et du Pérou.

1.3. Les écotypes de quinoa :

On entend par écotpe une variété, un individu ou population (morphe), 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 (**FRIES et 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 quinoa(Bathua) (SINGH , 2019).

1.4.2. Description morphologique :

1.4.2.1. Caractère végétatifs :

1.4.2.1.1. La racine

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 2.1.Racine de quinoa.

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.

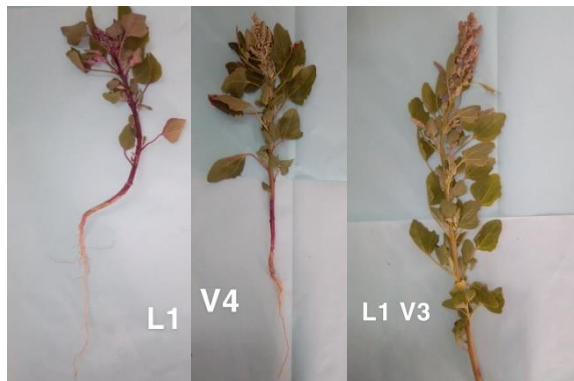


Figure 1.2. La tige de quinoa.

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**) (**HERBILLON, 2015**).

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 1.3. Feuilles de quinoa.

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 : glomérulé, où de petits groupes des fleurs (glomérules) proviennent des axes tertiaires, et l'amaranthiforme, dont les glomérules proviennent principalement des axes secondaires (**JACOBSEN et STOLEN ,1993**).

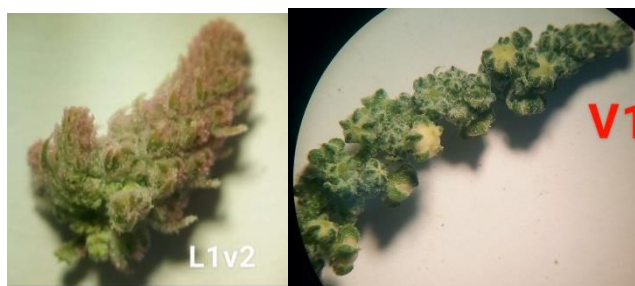


Figure 1.4. Panicule de quinoa.

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 (**JACOBSEN et STOLEN ,1993**).



Figure 1.5. Les fleurs de quinoa.

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 (**JACOBSEN, et STOLEN, 1993**).

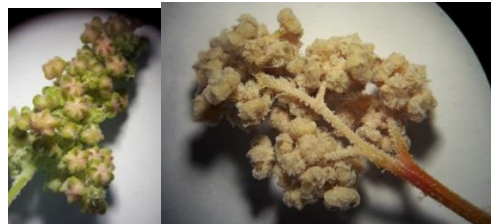


Figure 1.6. Les fruits de quinoa (**AZIZI et al., 2021, BOUKHALT et CHELLALI, 2021**).

1.4.2.2.3. 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 STOLEN, 1993 ; MUJICA et al., 2001**) (**PERRE et al., 2009**).

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**) [10].



Figure 1.7. La graine de quinoa.

1.4.2.2.4. La saponine :

Le nom probablement provient de la plante *Saponaria* dont les racines étaient historiquement utilisées 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 sapogénine, tandis que le sous-ensemble des saponines stéroïdiennes est couramment appelé sarapogénin. 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 (**BAZILE et TANIA, 2013**).

1.5. Physiologie de quinoa :

Le quinoa est tolérant à diverses contraintes abiotiques comme la salinité des sols, la sécheresse, le gel, les radiations UV (**SCHLISK 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 (**CABIDO et 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**) (**DEL CASTILLO et al., 2008**).

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

Types de mécanismes	Caractéristiques
Morphologiques	-Repli des feuilles sur la panicule. -Réduction de la surface foliaire. -Réduction de taille des plantes entière. -Plasticité de la croissance.
Physiologiques	-Faible taux de transpiration. -Grande vitesse d'absorption d'eau. -Grande résistance stomatique. -Grande tolérance au sel.
Anatomiques	-Réduction du nombre et de la taille des stomates. -Grande développement racinaire.
Phénologiques	-Asynchronisme dans la phase de floraison. -Développement phénologique plus rapide. -Résistance ontogénique.
Biochimiques	-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 (**SOHAIL et al., 2022**).

La résistance au froid met en jeu différents mécanismes morphologiques, anatomiques, phénologiques et biochimiques énumérés dans le **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, *Feltia experta* Walker et *Spodoptera* sp.).

Mit « chenille » : la mite du quinoa sous forme de chenilles et de larves appelées " *kona konas* " (*Eurysacca melanocampta* Meyric ou *Scrobipalpula* 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 (*Peronospora farinosa*).

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) (**DEL CASTILLO et al., 2008**).

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. 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 (LIANG et al., 2016).

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.

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 (FELIX, 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 (**DEL CASTILLO et al., 2008**).

1.8.6. Système de culture manuel traditionnel

1.8.6.1. 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.

1.8.6.2. 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.

1.8.6.3. 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).

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

1.8.6.5. 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 :

1.8.7.1. 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.

1.8.7.2. 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).

1.8.7.3. 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.

1.8.7.4. La récolte : elle est identique au système manuel (**PERRE et al., 2009**).

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 % (**GONZALEZ 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**) (**SOHAIL et al., 2022**).

CHAPITRE II

BIODIVERSITE DU QUINOA

2.1. La domestication et ressources génétique

Les abords du lac Titicaca et Poopó dans les Andes (entre 3600 et 3800 m) sont l'un des principaux centres de civilisation et de domestication des espèces agricoles au monde et le centre d'origine principal du quinoa. Il s'y concentre la plus grande diversité génétique de quinoa sauvage et cultivé. Ces ressources génétiques ont une grande valeur pour l'adaptation du quinoa au changement climatique. Actuellement, la meilleure production se trouve entre 2 500 à 3 800 m, avec des précipitations annuelles comprises entre 250 et 500 mm, et une température moyenne de 5 à 14 °C (TAPIA *et al.*, 2014).

La domestication du quinoa aurait été domestiquée il y a plus de 7000 ans par les peuples andins. Les plus anciens vestiges de quinoa ont été retrouvés à Ayacucho au Pérou et dataient de plus de 5000 ans avant J.-C., d'autres provenant de Chinchorro dans le Nord du Chili dataient de 3000 avant J.-C, et enfin des traces ont été découvertes en Bolivie datant de 750 avant J.-C. (GALWEY *et al.*, 1990). Des graines ont été retrouvées en quantité abondante dans des sépultures indigènes à Tiltil et Quillaga au Chili (TAPIA *et al.*, 1979). D'autres traces archéologiques, consistant en des inflorescences et des graines de quinoa, ont été également trouvées dans des tombes indigènes à Tarapacá, Arica et Calama au Chili, ainsi que dans différentes régions du Pérou (GANDARILLAS, 1979a).

Le processus de domestication a abouti à une augmentation importante de la taille de la tige, de celle de l'inflorescence et des graines, à la perte des mécanismes de dispersion des graines à maturité, à un positionnement de l'inflorescence en bout de tige et à des niveaux variés de pigmentations (BAZILE and BAUDRON, 2015).

Le quinoa y présente une distribution spatiale selon un gradient climatique nord-sud et une différenciation en zones agroécologiques principalement liée à l'altitude, qui expliquent sa diversité génétique. Actuellement, sept principales espèces de parents sauvages du quinoa y sont présentes : *C. ambrosioides* L., *C. incisum* Poiret, *C. pallidicaule*

Aellen, *C. petiolare* Kunth, *C. hircinum* Schrad., *C. quinoa* ssp. *melanospermum* Hunz. et *C. carnosolum* Moq. Cette diversité de ressources phylogénétiques a une grande valeur pour l'évolution adaptative du quinoa notamment face aux effets du changement climatique.

2.2. Banques de gènes du quinoa

Gene Banks représente une solution efficace avec un faible rapport coûts-avantages pour la conservation des graines de quinoa. Une grande quantité d'échantillons de semences peut être stockée dans un espace relativement petit (**LEON-LOBOS et COLL., 2010**).

La gestion de Gene Banks comprend une série d'étapes et les procédures qui exigent du personnel formé aux semences la transformation et le contrôle régulier de la viabilité des semences (**FAO, 2013**).

Sur la base des informations récemment mises à jour sur les collections ex situ de quinoa et de ses parents sauvages, avec le soutien de la FAO, Bioversity International et des experts travaillant avec les collections de quinoa, on estime que le nombre d'adhésions de *Chenopodium quinoa* (**C. QUINOA, C. BERLANDIERI, C. HIRCINUM, C. PETIOLARE, C. MURALE** et *Chenopodium sp*) conservé dans le monde entier est 16 422.

Trente pays à travers le monde conservent le quinoa et ses parents sauvages dans 59 Gene Banks.

10 pays des Amériques (Argentine, Bolivie, Brésil, Canada, Colombie, Chili, Équateur, les États-Unis d'Amérique, le Pérou et l'Uruguay), 11 en Europe (Allemagne, Autriche, Slovaquie, Espagne, Hongrie, République tchèque, Portugal, États-Unis Royaume-Uni, Suède, Turquie et Roumanie), 5 en Afrique (Éthiopie, Kenya, Lesotho, Zambie et Afrique du Sud) et 3 en Asie (Inde, Japon et Jordanie) et en Australie.

Gene Banks ont été mis en œuvre dans les Andes région depuis le milieu du XXe siècle. Gestion et la conservation sont présidés par l'agriculture institutions et universités, par exemple en Argentine, la Bolivie, la Colombie, le Chili, l'Équateur et le Pérou.

Sur les 16 422 adhésions conservées dans le monde, 14 502 (88 %) sont conservés dans les banques de gènes la région andine (**BAZILE et TANIA, 2013**).

2.3. La conservation des ressources génétiques

2.3.1. La conservation in situ

La conservation in situ est définie comme l'entretien des ressources génétiques des cultures dans leur habitat naturel et leurs formes sauvages (**OLDFIELD et ALCORN, 1987; BRUSH, 1991; FRIIS-HANSEN, 1994**).

Les cultures traditionnelles sont une « mine de matériel génétique », où les variétés traditionnelles sont maintenues et où la nature fait son travail de sélection naturelle dans conjonction avec les traditions paysannes de semences. Le savoir traditionnel est un élément clé de la biodiversité agricole actuelle, et communautés rurales sont responsables de son existence et l'évolution. De nombreux facteurs, y compris la connaissance de cultures, utilisation des aliments, arts culinaires associés, agriculture technologies et infrastructures de gestion, et la météo locale, sont aussi importants que la génétique ressources elles-mêmes.

Dans cette forme de conservation in situ, les familles agricoles jouer un rôle important, avec un certain nombre d'interactions les facteurs externes et internes qui déterminent si ou non ils décideront de continuer à planter une variété (landrace) et/ou de culture. Ces locaux dynamiques se produisent dans les zones qui abritent une large diversité des cultures et des variétés, et où la gestion continue par les familles de différentes locales variétés confèrera une tendance évolutive de l'adaptation aux conditions environnementales, sociales et économiques par les matériaux plantés (**BAZILE et TANIA, 2013**).

2.3.2. La conservation ex situ :

la conservation ex situ est un modèle opérationnel par l'intermédiaire de banques de gènes matériel biologique recueilli pendant les opérations de prospection conduite in situ et sur les fermes, il est très peu probable que les banques de gènes contiennent le même matériel présent in situ pour diverses raisons (**BOIS et LENNE, 1997**) (**BAZILE et TANIA, 2013**).

La conservation des gènes ou des génotypes des plantes hors de leur environnement naturel, pour une utilisation actuelle ou future (**JARAMILLO et BAENA, 2000**).

La diversité locale est en constante évolution et les adhésions fournis aux banques de gènes reflètent un instantané ou une image d'une situation à un moment ou une période. Sur la d'autre part, la même méthodologie n'a pas toujours ont été appliqués lors du prélèvement d'échantillons auprès de différents zones de culture du quinoa dans des zones géographiques très diverses En conséquence, les banques de gènes ne reflètent pleinement la variabilité présente dans une région donnée ou pays (**MADRID et al., 2011**).

2.4. Importance de la biodiversité du quinoa :

La grande diversité génétique du quinoa l'a rendu possibilité d'adapter la culture à différents types de sols, en particulier les sols et les environnements conditions d'humidité extrêmement variables, altitude et la température. Cette rusticité et l'adaptabilité est un avantage majeur dans le contexte changement climatique et salinisation des terres agricoles dans le monde (**RUIZ et COLL., 2013**).

Les espèces économiquement importantes du genre *Chenopodium* sont :

- *C. quinoa* ($2n = 36$) utilisé comme culture céréalière ;
- *C. pallidicaule* ($2n = 18$), *C. berlandieri* subsp. *nuttalliae* ($2n = 36$) utilisé pour les céréales et les légumes ;
- *C. quinoa* ($2n = 18, 36, 54$) principalement utilisé comme légume à feuilles et feuillage culture, bien que certains types de l'Himalaya sont également cultivés pour le grain.
L'utilisation de graines de *chenopodium* pour la consommation humaine n'est pas unique au Région andine :
- *C. berlandieri* ssp. *nuttalliae*, une espèce semblable à *C. quinoa*, est largement consommé au Mexique pour ses feuilles tendres et ses inflorescences.
- Dans l'Himalaya, en Inde, au Népal, au Bhoutan et en Chine, les agriculteurs sorte de chenopode (classé comme *C. quinoa*) à des altitudes de 1500 à 3000 m.
- *C. quinoa* est une mauvaise herbe répandue et faisait partie du régime alimentaire humain en Europe selon les restes humains préhistoriques trouvés à Tollund (Danemark) et Cheshire (Royaume-Uni) (**SOHAIL et al., 2022**).

CHAPITRE III

MATERIEL ET METHODES

3.1. Objectif

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'aptitude de germination ou la faculté germinative sous stress salin suivi par une caractérisation morphologique de sept variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en vue d'une utilisation future dans des travaux d'amélioration et de sélection.

3.2. Méthode d'étude

Les expériences sont réalisées selon deux méthodes distinctes. Une première expérience a porté sur la germination des graines de sept variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) (**Figure 3.1**) : Q Giza, Q101, Q102, Q102*, Q 105, Q gris et Q noir effectuée au laboratoire d'amélioration des plantes au département des sciences Agronomique de la faculté des Sciences à l'université Mohamed Boudiaf - M'sila. Une deuxième expérience a concerné une caractérisation morphologique des graines de sept variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.).

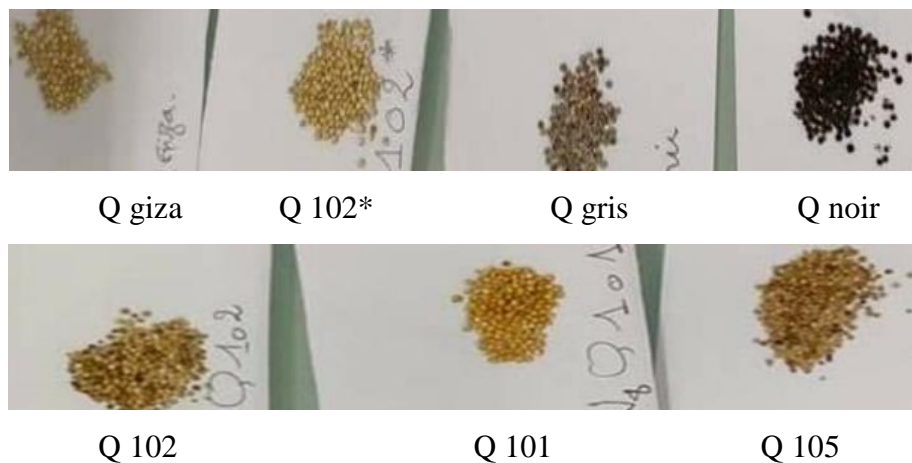


Figure 3.1. Morphologie des graines de sept variétés du quinoa étudiées

3.2.1. Analyse de la diversité génétique en fonction des paramètres morphologiques des graines de sept variétés du quinoa

3.2.1.1. Echantillonnage et paramètres mesurés

La variabilité morphologique peut être estimée à partir de données recueillies sur les individus étudiés ou sur leurs descendances (**LEFORT-BUSON et al., 1988**). Elle est conditionnée par le choix des caractères qualitatifs ou quantitatifs. Leur nombre et leur nature posent un certain nombre de questions auxquelles seul le sélectionneur, confronté à des objectifs septiques peut répondre (**PERNES, 1984**). La diversité phénotypiques des lignées du quinoa a été documentée et suivie du semis jusqu'au stade de maturité des graines (fin du cycle génératif) par des mesures quantitatives et des observations qualitatives sur différentes parties des plantes par variété. Les caractères qui font l'objet de notre étude sont ceux trouvés dans les principaux directeurs pour la conduite de l'examen de la distinction, de l'homogénéité et de la stabilité des caractères du quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) et admis par l'UPOV (Union internationale pour la Protection des Obtentions Végétales) (**Tableau 3.1**). Dans notre étude, la caractérisation s'est basée sur 07 caractères morphologiques (**Tableau 3.1**)

3.2.1.2. Les paramètres étudiés

- **Couleur des graines**
- **Couleur des graines en excluant le tégument** : À observer après que les graines ont été frottées doucement avec du papier abrasif.
- **Teneur en saponine**

La teneur en saponine de la graine est mesurée à l'aide d'un test de moussage. L'essai doit porter sur des plantes réparties en trois répétitions au moins. Méthode afrosimétrique type (**KOZIOL, 1991**)

1. Placer 0,5 g (+/- 0,2 g) de graines de quinoa dans un tube à essai (160x16 mm)
2. Ajouter 5 ml d'eau distillée et boucher le tube à essai.
3. Agiter vigoureusement le tube à essai (4 secousses par seconde) pendant 30 secondes avec des mouvements de haut en bas.
4. Laisser reposer le tube à essai pendant 30 minutes.
5. Renouveler les opérations 3 et 4.

6. Après la deuxième période de repos, agiter de nouveau le tube à essai pendant 30 secondes, secouer une dernière fois vers le bas comme un thermomètre.
7. Laisser reposer pendant 5 minutes.
8. Mesurer la hauteur de la mousse à l'aide d'une règle à $\pm 0,1$ cm. (C.F. KOZIOL, 1991).

Graine : saponine nulle ou faible	moyenne	élevée
Hauteur de la mousse	< 1 cm	1 cm - 5 cm >5cm

- **Présence de saponine**
- **Mousse produite dans des tubes après avoir agité 0,5 g d'échantillons dans 5 ml d'eau distillée**
- **Poids de mille graines (PMG. g)**
- **La densité de saponine Après 2h 30 min**

3.2.1.3. Analyses statistiques

L'évaluation de la structuration de la diversité morphologique a été faite par une analyse en composantes principales (ACP) et une classification hiérarchique ascendante (CHA). Le logiciel XL 7.1 (2015) a servi aux analyses.

Tableau 3.1 : Descripteurs morphologiques utilisés pour la caractérisation des graines de sept espèces du quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) en Algérie

Caractère	Catégorie	Q Giza (V1)	Q 102 (V2)	Q 102* (V3)	Q noir (V4)	Q 101 (V5)	Q gris (V6)	Q 105 (V7)
Graine : couleur	1 : blanchâtre ; 2 : jaune ; 3 : rouge ; 4 : marron clair ; 5 : gris ; 6 : noir	jaune		gris	noir	blanchâtre		Marron clair
Graine : couleur en excluant le tégument	1 : blanc ; 2 : jaune ; 3 : rouge ; 4 : gris	blanc						
Poids de 1000 graines	1. Très faible ; 3. faible ; 5. moyen ; 7. élevée ; 9. très élevé	très élevé		moyen	élevé	très élevé		
Graine : teneur en saponine	1. nulle/ faible ; 2. moyenne ; 3. élevée	élevée		Moyenne		élevée		moyenne
Présence de saponine	0 : absente ; 1 : présent	présent						
Mousse produite dans des tubes après avoir agité 0,5 g d'échantillons dans 5 ml d'eau distillée.	0 : aucune ; 3 : peu ; 5 : moyennes ; 7 : beaucoup	beaucoup		Peu		beaucoup		peu
La densité de saponine Après 2h 30 min	0 : absente ; 1 : présent	présent		absent		présent		

3.2.2. Analyse de la diversité génétique en fonction du stress salin de sept variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

3.2.2.1. Germination des graines

Les graines de 7 variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) sont utilisées comme matériel végétal dans cette étude.

Dix graines de chaque variété du quinoa ont été mises à germer dans une boîte de Petri contenant du papier filtre imbibé avec 2 ml d'eau distillée stérile additionnés de différentes concentrations en NaCl (0, 25, 75 et 125 mM). Ensuite, les boîtes de Petri ont été incubées à l'obscurité dans l'étuve à $25\pm 1^\circ\text{C}$. Chaque traitement a été répliqué 3 fois (30 graines par traitement) et suivi tous les 24h pendant 4 jours. Une graine a été considérée germée lorsqu'il y a eu émergence de la radicule (COME, 1970).

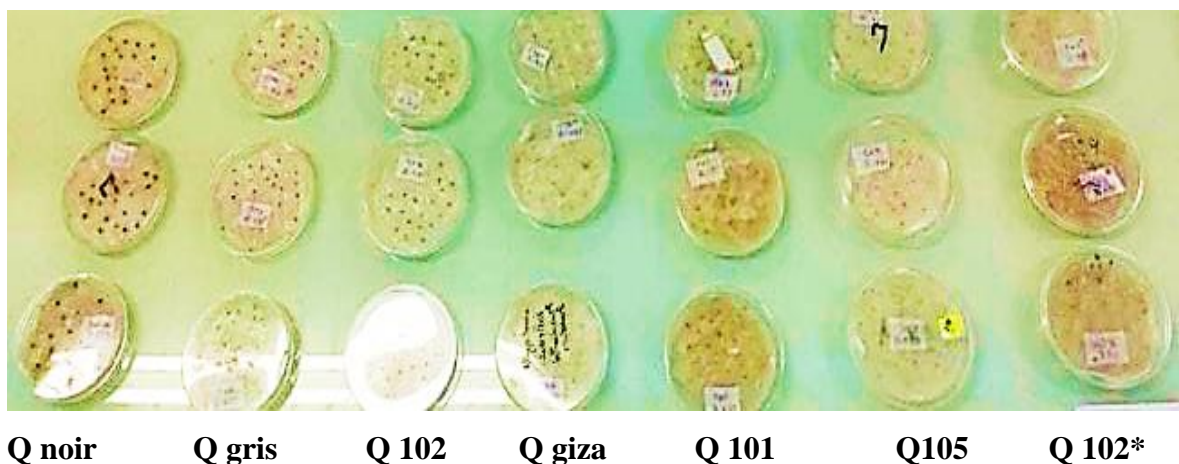


Figure 3.2. Semis des graines dans des boîtes de Pétri

3.2.2.2. Les paramètres étudiés

Les paramètres étudiés au cours de ce travail sont :

A. Temps de latence ou précocité de germination : signifie le début de la germination, est exprimé en jours.

B. Estimation du taux final de germination (TFG) : Le taux final de graines germées (TFG) ou capacité de germination exprimé en %. 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)

3.2.2.3. Dispositif expérimentale

Le dispositif expérimental adopté au cours de notre expérimentation est une randomisation totale à deux facteurs. Le premier facteur représente les quatre traitements salins (D1 : 0 mM, D2 : 25 mM, D3 : 75 mM et D4 : 125 mM NaCl) et le 2ème facteur est représenté par les sept variétés (**Q noir, Q gris, Q 102, Q giza, Q 101, Q105, Q 102***). Le nombre de répétition est de trois. Chaque répétition comporte dix graines par variété et par traitement.

3.2.2.4. Analyse statistique :

Le traitement des données obtenues s'est fait à l'aide du logiciel Stat Box et a porté sur l'analyse de la variance entre les différentes moyennes. Lorsqu'une différence significative a été observée, le test statistique de Newman-Keuls, au seuil de 5%, a été utilisé pour la comparaison des moyennes.

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSION VI

4.1. Analyse de la diversité génétique en fonction des paramètres morphologiques des graines de sept variétés du quinoa

4.1.1. Analyses en composantes principales

L'Analyse en Composante Principale (ACP) sur les variables phénotypique a pour objectif l'identification des paramètres les plus descriptifs. La connaissance de ces paramètres permettra de les utiliser comme base dans la sélection des variétés performantes (**Tableau 4.1**).

Tableau 4.1 : Valeurs propres et pourcentage de variation exprimée par les deux premiers axes à partir de sept (07) caractères analysés chez sept variétés du quinoa

	F1	F2
Eigen value	4,110	0,829
Variabilité (%)	82,191	16,581
Cumulative %	82,191	98,771

L'analyse en composantes principales (ACP), indique que les deux premiers axes expliquent 98.77 % de la variabilité (82.19 % pour le premier axe et 16.58 % pour le deuxième axe). Ces deux axes seront utilisés pour décrire la variabilité totale des variétés, soit 98.77 % de la variance.

Le premier axe exprime un important pourcentage de variation (82.19%). Cette composante se définit du côté positive par : la teneur en saponine, la mousse produite dans des tubes après avoir agité 0,5 g d'échantillons dans 5 ml d'eau distillée, et du côté négatif par : la couleur des graines

La deuxième composante décrit 16,58 % de la variation. Elle se définit du côté positive par : le poids de mille graines, et du côté négatif par la densité de saponine après 2h 30 min.

Nous constatons sur la figure 2 que les sept variétés du quinoa sont éloignées les unes des autres, car leurs caractéristiques sont différentes. Toutefois, les variétés Q gris (V6), Q 101 (V5), Q Giza (V1), Q 102 (V2) sont relativement proches. En effet, elles présentent des traits communs pour la teneur en saponine et la mousse produite dans des tubes après avoir agité 0,5 g d'échantillons dans 5 ml d'eau distillée.

Tableau 4.2 : Analyse en composante principale (ACP) sur 07 variétés du quinoa

Caractères	F1	F2
-------------------	-----------	-----------

couleur des graines	-0,475	0,217
couleur des graines en excluant le tégument	0,000	0,000
teneur en saponine	0,491	0,097
poids de 1000 graines	0,377	0,703
présence de saponine	0,000	0,000
mousse produite dans des tubes après avoir agité 0,5 g d'échantillons dans 5 ml d'eau distillée	0,491	0,097
la densité de saponine après 2h 30 min	0,388	-0,663

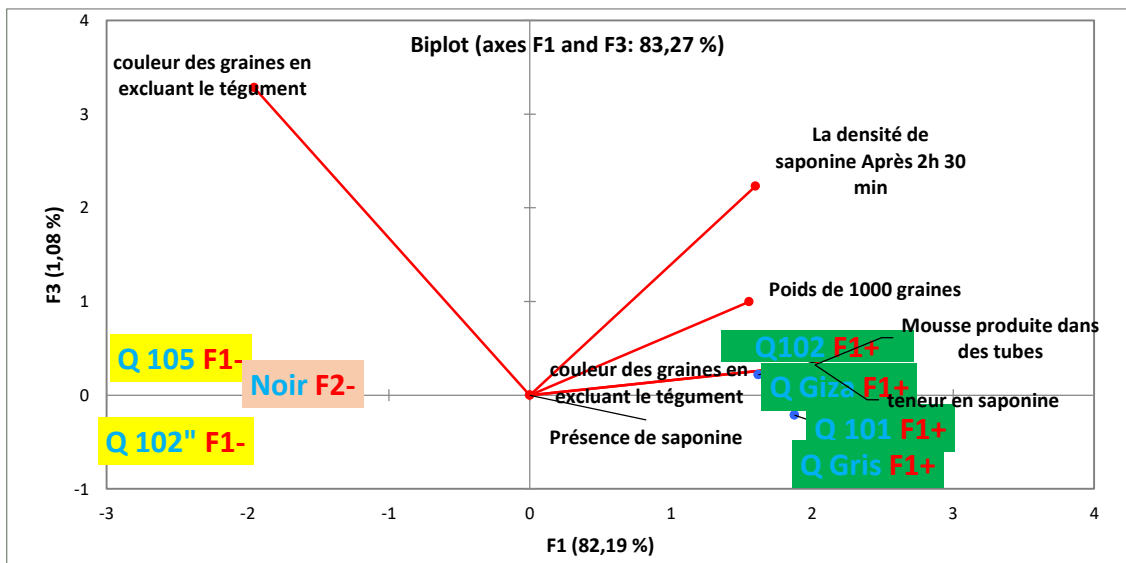


Figure 4.1. Distributions des variables et des variétés de quinoa dans le plan 1-2 révélée à partir de l'ACP

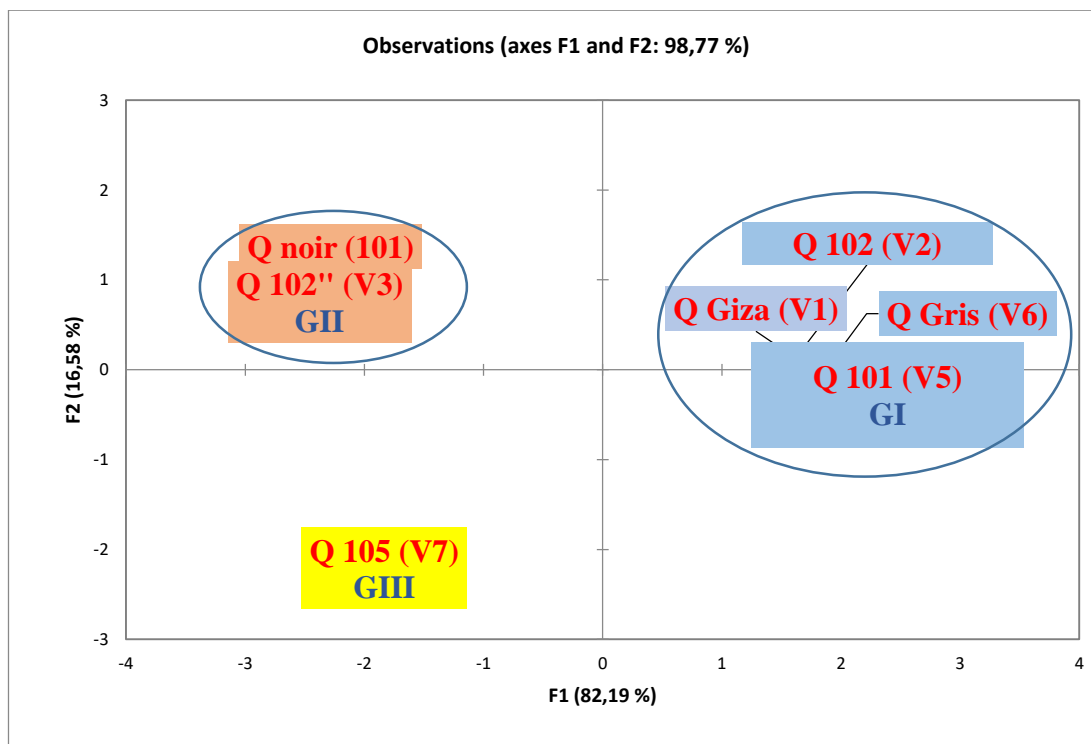


Figure 4.2. Projection des sept variétés du quinoa dans le plan 1-2 de l'ACP

La figure 4.2 montre l'existence de trois groupes d'individus dont la contribution relative à la formation des axes est importante.

L'axe 1 sépare deux groupes : **GI** et **GII**, situés respectivement du côté positif et négatif de l'axe.

Le premier groupe renferme les variétés Q Giza (V1), Q 102 (V2), Q 101 (V5) et Q 105 (V7) qui se singularisent par une teneur élevée en saponine et beaucoup de mousse produite dans des tubes après avoir agité 0,5 g d'échantillons dans 5 ml d'eau distillée.

Le deuxième groupe englobe les variétés Q 102' (V3) et Q noir (V4). Qui sont différents par un seul caractère qui est la couleur des graines. En effet, V3 de couleur « gris » et V4 de couleur « noir ».

L'axe 2 est composé de Q 105 (V7), caractérisée par la présence de la densité de saponine après 2h 30 min (**Figure 4.2**).

Au total, sur les sept (07) variables analysées, 04 descripteurs (teneur en saponine, mousse produite dans des tubes après avoir agité 0,5 g d'échantillons dans 5 ml d'eau distillée, couleur des graines, densité de saponine après 2h 30 min) ont contribué essentiellement à la révélation de la variabilité totale entre ces différentes variétés.

En vue d'avoir une vision globale, nous sommes passés à une autre analyse synthétique pour discerner les différentes variétés du quinoa pour toutes les variables retenues.

Pour mieux apprécier la diversité phénotypique entre les sept variétés du quinoa étudiées, nous avons procédé à une Classification Ascendante Hiérarchique sur la base de tous les paramètres étudiée précédemment.

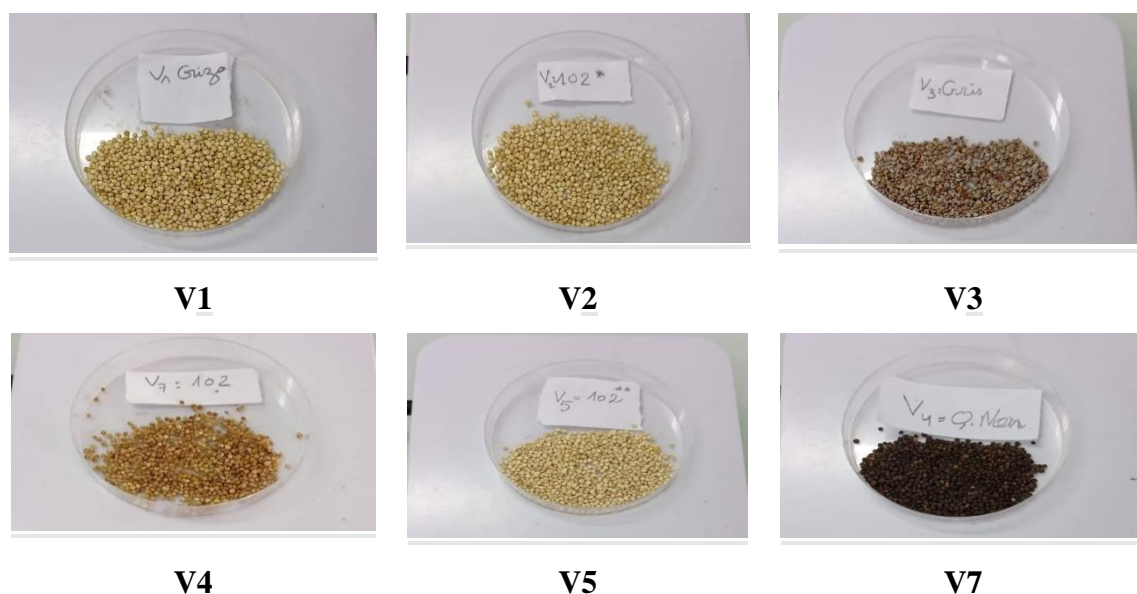


Figure 4.3. Couleur et forme des graines de sept variétés du quinoa



Figure 4.4. Mousse produite dans des tubes après avoir agité 0.5 g d'échantillons dans 5 ml d'eau distillé

4.1.2. Analyse de la diversité par la classification Hiérarchique Ascendante

Le dendrogramme obtenu par la méthode UPGMA (Unweighed Pair-Group Method with arithmétique Average) montre une nette séparation des variétés et structure la diversité en deux classes (**Figure 4.5**).

La première classe regroupe deux sous groups :

Sous-groupe 1 : comprend deux variétés Q Giza (V1) et Q102 (V2). Ces deux variétés sont identiques pour un seul caractère qui est la couleur jaune des graines (**Figure 4.5**). .

Sous-groupe 2 : comprend deux variétés Q 101 (V5) et Q gris (V6). Ces deux variétés sont identiques pour un seul caractère qui est la couleur blanchâtre des graines (**Figure 4.5**)..

La deuxième classe regroupe trois (3) variétés : Q noir (V4), Q 102'(V3) et Q 105 (V7). Ces trois variétés sont identiques pour deux caractères qui sont : la teneur moyenne en saponine et un peu de mousse produite dans des tubes après avoir agité 0,5 g d'échantillons dans 5 ml d'eau distillée (**Figure 4.5**).

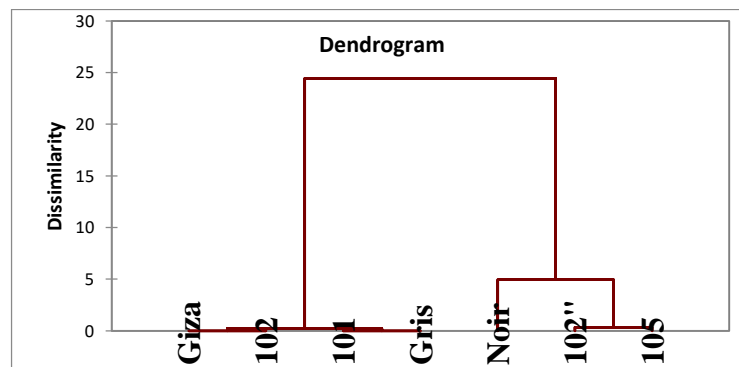


Figure 4.5. Classification hiérarchique de sept (07) variétés du quinoa (CAH)

4.1.3. Analyse de la matrice des corrélations (Pearson (n))

Le traitement des données par l'analyse en composante principale (ACP) nous a fourni la matrice des coefficients de corrélation entre les différents paramètres morphologiques analysés (**Tableau 4.3**).

Des corrélations significatives ont été décelées entre différents paramètres étudiés. Ce qui peut être très avantageux pour les travaux de sélection.

. L'épaisseur de la mousse est corrélée à la teneur en saponine ($r^2 = 1$), le poids de mille graines est corrélé à l'épaisseur de la mousse ($r^2 = 0,816$) (**Tableau 4.3**).

Tableau 4.3 : Matrice des corrélations (Pearson (n))

couleur des {	1		-0,935	-0,600		-0,935	-0,854
couleur des graines en excluant le tégument							
teneur en sa	-0,935		1	0,816		1,000	0,730
Poids de 100	-0,600		0,816	1		0,816	0,224
Présence de saponine							
Mousse proc	-0,935		1,000	0,816		1	0,730
La densité de	-0,854		0,730	0,224		0,730	1

4.2. Analyse de la diversité génétique en fonction du stress salin de sept variétés du quinoa

Le suivi quotidien des essais de germination des graines de sept variétés du quinoa nous a permis de percevoir le processus de germination (Figure 4.6) et d'obtenir les résultats présentés ci-dessous.

L'examen des résultats mentionnés dans le tableau 4.1.1 et figure 4.1.1 montre que les graines de sept variétés du quinoa, en absence de sel ont presque le même temps de latence qui est de 12 heure. En moyenne des quatre concentrations salines étudiées, le taux de germination de la variété V6 (Q gris) est de 98,75 % suivi par la variété V5 (Q 101) (78.75%) contre 68.75.3%, 58.75%, 56.25%, 56.25%, 56.25% pour les variétés V7 (Q 105), V1 (Q giza), V3 (Q 102*), V4 (Q noir) et V2 (Q 102). Ces résultats suggèrent que la variété V6 (Q gris), en moyenne, est relativement plus résistante que les autres variétés au stress salin.

Globalement l'ensemble des graines testées ont germé avec un taux supérieur à 50 % pour les doses de 25 et 75 et 125mM en NaCl pour les variétés V5 (Q101), V6 (Q gris) et V7 (Q 105). Cependant à partir de la concentration de 75 mM, ce taux est inférieur à 46 % pour les variétés V2 (Q 102), V4 (Q noir) et V3 (Q 102*), alors que pour les variétés V1 (Q giza), V2 (Q102), V3 (Q102*), V4 (Q noir), le taux de germination est totalement inhibé (0%) (Tableau 4.6). L'apparition d'interaction très hautement significative entre traitement salin et variété pour ce paramètre, montre bien l'intérêt de

ce caractère dans les programmes d'amélioration et de sélection des variétés tolérantes à la salinité (Figure 4.6).

La figure 4.7 montre l'effet très hautement significatif de l'interaction dose de NaCl x variétés sur le taux de germination ($p = 0$). Le taux de germination le plus élevé a été obtenu avec D2 (25 mM), D3 (75 mM) et D4 (125mM) pour une moyenne de 100 ± 0 % chez V6 (Q gris). Le taux le moins élevé de germination ($P=0$) a été enregistré avec la dose D4 chez V1 (Q giza), V2 (Q 102), V3 (Q 102*) et V4 (Q noir), en moyenne de 0 ± 0 %.

Les résultats obtenus montrent que la variété V6 (Q gris) est significativement la meilleure, comparativement aux autres variétés. Suivi par V5 (Q 101) et V7 (Q 105). Les variétés V1 (Q giza), V2 (Q 102), V3 (Q102*) et V4 (Q noir), quant à elles, elles se montrent les plus sensibles au stress salin (Figure 4.7).

Tableau 4.4 : D'analyse de la variance T20°C

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	96096,34	83	1157,787				
Var. Facteur 1	18728,59	6	3121,432	7283,342	0		
Var. Facteur 2	43636,63	3	14545,54	33939,6	0		
Var. Inter F1*2	33707,12	18	1872,618	4369,441	0		
Var. Résiduelle 1	24	56	0,429			0,655	0,97%

Tableau 4.5 : moyenne de germination de sept variétés du quinoa sous différentes concentrations salines

Variétés	Moyenne de germination	Groupes homogènes				
V6 (Q gris)	98,75	A				
V5 (Q 101)	78,75		B			
V7 (Q 105)	68,75			C		
V1 (Q giza)	58,75				D	
V3 (Q 102*)	56,25					E
V4 (Q noir)	56,25					E
V2 (Q 102)	56,25					E

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 4.6 : Interaction NaCl variété

Interaction variété dose de NaCl	Moyenne \pm écart type	Groupes homogènes	Signification
V6 x D3	100 \pm 0	A	Test F est très hautement significatif « P=0 »
V6 x D4	100 \pm 0		
V6 x D2	100 \pm 0		
V5 x D2	95 \pm 1	B	
V1 x D3	95 \pm 0		
V5 x D1	95 \pm 0		
V4 x D3	95 \pm 0		
V2 x D1	95 \pm 1		
V6 x D1	95 \pm 1		
V2 x D3	95 \pm 0		
V3 x D1	90 \pm 2	C	
V3 x D3	90 \pm 1		
V1 x D1	90 \pm 1		
V4 x D1	90 \pm 0		
V7 x D2	80 \pm 0	D	
V7 x D1	75 \pm 0	E	
V5 x D3	70 \pm 1	F	
V7 x D4	70 \pm 1		
V5 x D4	55 \pm 0	G	
V1 x D2	50 \pm 1	H	
V7 x D3	50 \pm 0		
V3 x D2	45 \pm 0	I	
V4 x D2	40 \pm 1		
V2 x D2	35 \pm 2	K	
V4 x D4	0 \pm 0	L	
V2 x D4	0 \pm 0		
V3 x D4	0 \pm 0		
V1 x D4	0 \pm 0		

V1 : Giza ; V2 : 102 ; V3 : 102* ; V4 : noir ; V5 : 101 ; V6 : Gris ; V7 : 105 ; D1 : Témoin = 0 mM ; D2 : 1,46 g/L = 25 mM ; D3 : 4,39 g/L = 75 mM ; D4 : 7,31 g/L=125 mM

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.

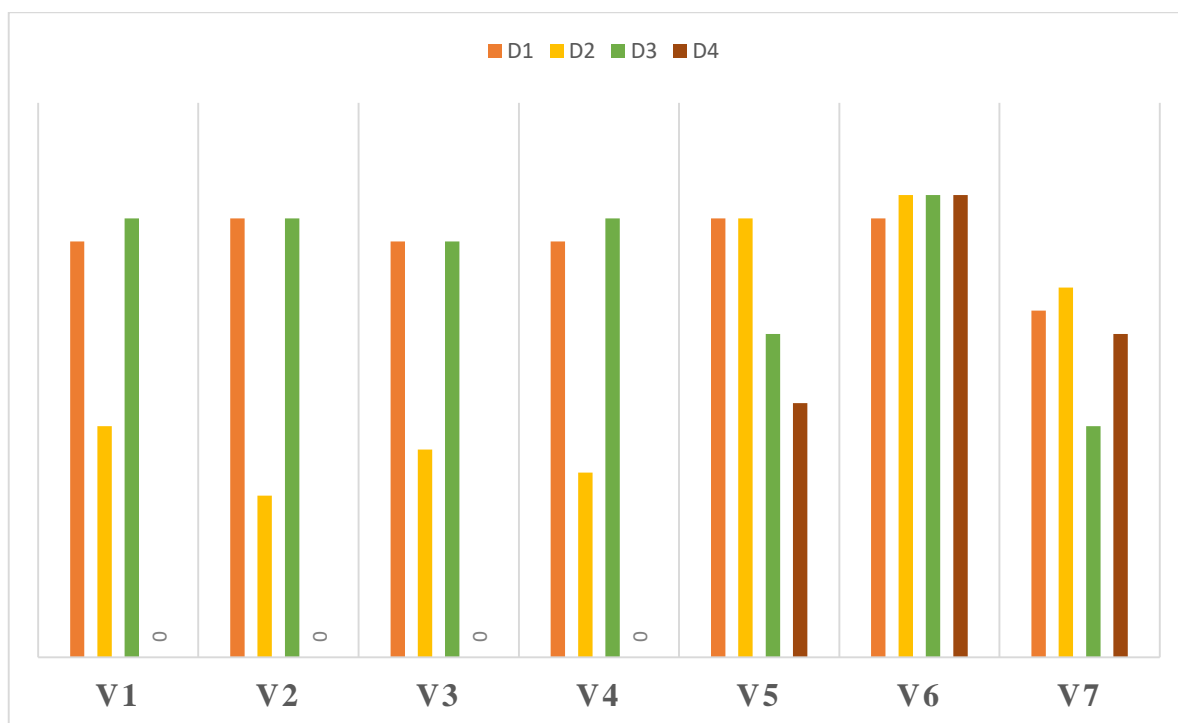
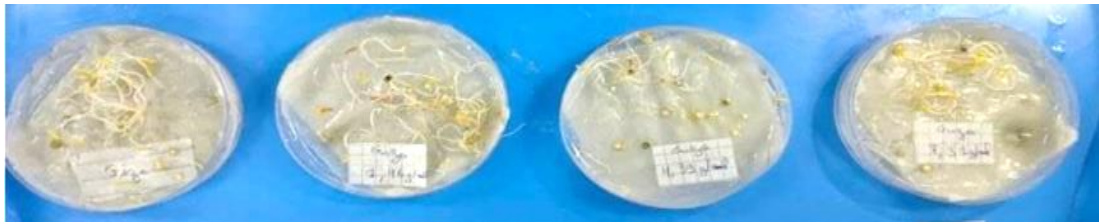


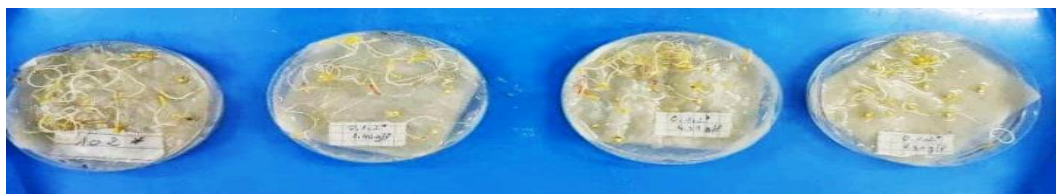
Figure 4.6. Taux de germination de sept variétés du quinoa en fonction des différentes doses de NaCl



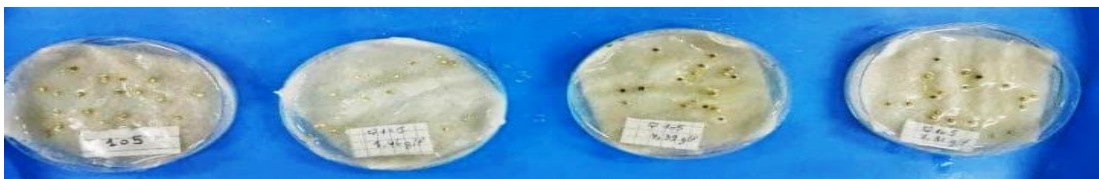
Giza



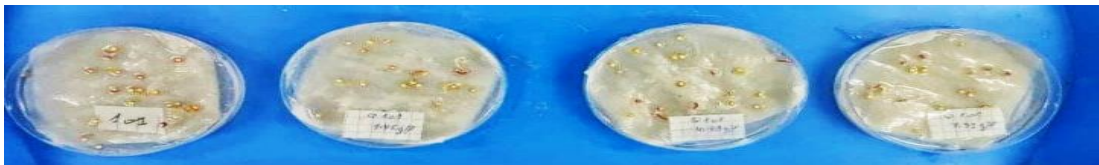
Q.102*



Q. 102



Q. 105



Q. 101



Q. gris



Q. noir

Figure 4.7. Taux de germination de sept variétés du quinoa en fonction de NaCl

DISCUSSION

L'analyse de la diversité génétique des différentes variétés du quinoa à l'aide des paramètres morphologiques rapportant aux « couleur des graine, couleur des graine en excluant le tégument, teneur en saponine, poids de mille graines, présence de saponine, mousse produite dans des tubes après avoir agité 0.5 g d'échantillons dans 5 ml d'eau distillée et la densité de saponine après 2h 30 min », permis d'apprécier la variabilité intra-spécifique, d'estimer les distances phénotypiques et de dresser un dendrogramme des relations phylogéniques. Cette diversité phénotypique a été structurée en trois groupes qui se différencient par 04 descripteurs.

L'étude discriminante à montrer que la teneur en saponine, la mousse produite dans des tubes après avoir agité 0,5 g d'échantillons dans 5 ml d'eau distillée, la couleur des graines, la densité de saponine après 2h 30 min contribuent à discriminer les sept variétés du quinoa. Ces descripteurs sont donc les plus discriminant pour l'explication de la variabilité.

Les résultats préliminaires sur la diversité et la structuration morphologique des variétés du quinoa montrent clairement que ces variétés analysés présentant une variation pour l'ensemble des caractères utilisés, en particulier ceux liés aux saponines et couleur des graines. Cette variabilité génétique observée entre les variétés constitue un atout pour les travaux de sélection.

La présente étude fournit des informations pouvant aider à déterminer les variétés du quinoa qui ont une haute tolérance au stress salin. Les résultats obtenus dans cet essai montrent que les graines du quinoa peuvent germer en présence de NaCl. Dans une étude similaire, **BOUKHALAT et CHELLALI , (2021)** , ont montré que les graines de ces espèces arrivent à germer en présence d'une contrainte saline.

L'étude réalisée montre aussi que plus de 80 % des graines des différentes variétés du quinoa ont germé dans les premiers 12 heures en condition de témoin contre 20 % en condition de stress salin dans la même période. L'augmentation de la concentration de NaCl dans la solution d'irrigation a provoqué chez les graines du quinoa, un allongement de la période de germination. D'après **BEN MILED et al. (1986)**, ce retard s'expliquerait

par le temps nécessaire à la graine pour mettre en place des mécanismes permettant d'ajuster sa pression osmotique. . **GHRIB et al., 1995** ajoutent que ce retard pourrait être dû à l'altération des hormones et des enzymes qui se trouvent dans la graine.

Le taux de germination baisse également de 100 % à 95% en présence de stress salin. Le NaCl ralentirait et diminuerait ainsi la germination des graines. **D'après PRADO et al. (2000)** la diminution du taux de germination des graines soumises à un stress salin serait due à un processus de dormance osmotique développé sous ces conditions de stress, représentant ainsi une stratégie d'adaptation à l'égard des contraintes environnementales.

MUJICA et al., (2001), montrent que quelques jours (six à sept) après l'ensemencement, les graines du quinoa des variétés tolérantes au sel germent à plus de 75 % à des concentrations salines de 0,6 M de NaCl ($57 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$), ce qui indiquerait que le sel ne provoque pas la mort de l'embryon mais retarde seulement les mécanismes physiologiques et biochimiques impliqués dans l'étape initiale de la germination. **BOSQUE et al., (2003)** ajoutent que chez la plupart des cultivars du quinoa, la production est plus élevée dans des conditions modérément salines que dans des conditions non salines, ce qui fait du quinoa un halophyte facultatif.

Globalement l'ensemble des graines des différentes variétés du quinoa testées ont germé avec un taux supérieur à 70 % pour les doses de 25mM, 75Mm, et 125mM en NaCl pour les variétés V6 et V7 (Q 105). Cependant à partir de la concentration de 125 mM, ce taux est totalement inhibé pour les variétés V1, V2, V3 et V4 (Q noir).

Cette réduction du taux de germination montre que la salinité a un effet inhibiteur dans le processus de germination des graines de quelques variétés du quinoa.

A l'issue du travail réalisé sur les sept variétés du quinoa, nous pouvons conclure que sur la base de taux de germination, la variété V6 (Q gris) suivi par V5 (101) et V7 (Q 105) » semble mieux supporter la contrainte saline que les autres variétés. Cependant, il est difficile de déterminer avec certitude des paramètres pertinents de tolérance vu que la capacité des plantes à survivre et à se développer en situation de stress abiotique est un

caractère complexe et polygénique, ayant pour origine de nombreux processus agissant de façon additive et synergique.

CONCLUSION

Notre travail comporte deux parties.

Dans la première partie, nous avons étudié 07 caractères morphologiques. Les résultats préliminaires sur la diversité et la structuration morphologique des différentes variétés du quinoa cultivée en Algérie montrent clairement que les variétés analysées présentent une variation pour l'ensemble des caractères utilisés, en particulier ceux liés aux, teneur en saponine, mousse produite dans des tubes après avoir agité 0,5 g d'échantillons dans 5 ml d'eau distillée, couleur des graines et densité de saponine après 2h 30 min. Cette variabilité a été structurée en trois groupes par la classification ascendante hiérarchique. Chaque groupe constitue une source potentielle de caractères intéressants pour la sélection et l'amélioration du quinoa. Il est important d'associer aux caractères morphologiques des techniques moléculaires telles que les microsatellites qui permettront de mieux caractériser les variétés à l'intérieur du premier groupe.

Dans la deuxième partie, nous avons étudié le taux de germination en fonction du stress salin, dans la but de sélectionnée et montré la variabilité de la réponse au sel des différentes variétés du quinoa étudiées.

Ces résultats nous ont permis de classer les variétés étudiées en cinq groupes significativement différents, en comparant leur taux de germination. Le premier groupe comprend une seule variété « V6 (Q gris) qui est la variété la plus tolérante au sel. Le deuxième groupe contient une variété variétés qui est moyennement tolérante (Q 101 « V5 »), suivi par Q 105 (V7) et Q giza (V1). Enfin, le dernier groupe regroupe trois variétés « Q 102 (V2), Q noir (V4), Q 102* (V3) qui sont les plus sensible au stress salin.

En se basant sur l'analyse de taux de germination, on conclut que Q gris (V6) est la variété la plus résistante au stress salin comparé avec les autres variétés, tandis que Q 101, Q 105 et Q giza ont été trouvée modérément tolérantes. Q 102, Q noir et Q 102* sont très sensible sous stress salin sévère (125 mM) et cette forte sensibilité traduite par l'apparition des symptômes de jaunissement, de chlorose et de nécrose allant jusqu'à la mort des plants

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] A. Samira *et al.*, “Intitulé Etude de contribution à l ’ introduction de la culture de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) dans la région du Hodna,” 2021.
- [2] M. D. E. F. I. N. D. Etude, “Contribution à l ’ étude de l ’ introduction de l ’ espèce de Quinoa dans la wilaya d ’ El Oued,” 2019.
- [3] O. Guendouzen, H. K. B, B. Lallouche, and N. Torchit, “Intitulé Effet du stress salin sur le comportement des plants de quelques variétés du piment cultivés dans la région de M ’ sila .,” p. 24, 2020.
- [4] S. Navruz-Varli and N. Sanlier, “Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.),” *J. Cereal Sci.*, vol. 69, pp. 371–376, 2016.
- [5] D. Bazile, S.-E. Jacobsen, and A. Verniau, “The global expansion of quinoa: trends and limits,” *Front. Plant Sci.*, vol. 7, p. 622, 2016.
- [6] D. E. V. Huanca, M. Boada, L. Araca, W. Vargas, and R. Vargas, “Agricultural biodiversity and economy quinoa (*Chenopodium quinoa*) in aymara communities of the titicaca watershed,” *Idesia*, vol. 33, no. 4, pp. 81–88, 2015.
- [7] K. Maamri, O. Djerroudi-Zidane, A. Chaabena, and D. Bazile, “Preliminary evaluation of Quinoa genotypes introduced in the Saharan zone of Algeria, case of Ouargla,” 2021.
- [8] P. J. Maughan, A. Bonifacio, C. E. Coleman, E. N. Jellen, and M. R. Stevens, “Pulses, Sugar and Tuber Crops,” *Pulses, Sugar Tuber Crop.*, no. January, 2007, doi: 10.1007/978-3-540-34516-9.
- [9] D. Singh, *Quinoa (Chenopodium Quinoa Willd)*. Scientific Publishers, 2019.
- [10] C. R. C. N. fdi:010045398 Del Castillo Gutierrez, “Spécial semis direct Diversité génétique et réponse aux contraintes du climat : une étude de cas à partir de la biologie des populations de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) de Bolivie,” *Terre Malgache = Tany Malagasy*, no. 26, p. 179, 2008, [Online]. Available: <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010057905>
<http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010045398>.
- [11] M. Herbillon, “Le quinoa : intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques To cite this version : HAL Id : dumas-01172250 Le Quinoa : Intérêt nutritionnel et

- perspectives pharmaceutiques,” *Book*, p. 127, 2015, [Online]. Available: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01172250/document>.
- [12] S.-E. Jacobsen and O. Stølen, “Quinoa - Morphology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe,” *Eur. J. Agron.*, vol. 2, no. 1, pp. 19–29, 1993, doi: 10.1016/s1161-0301(14)80148-2.
- [13] P. Perre, A. Koubaa, and A. Cloutier, “THÈSE pour obtenir le grade de Docteur 1^{er} Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l’ Environnement (Agro Paris Tech) Spécialité : Sciences de l’ Environnement Hassine BOUAFIF,” 2009.
- [14] D. Bazile and S. Tania, *Report on quinoa around the world in 2013*. 2013.
- [15] C. Del Castillo, G. Mahy, and T. Winkel, “La quinoa en Bolivie: Une culture ancestrale devenue culture de rente ‘bio-équitable,’” *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, vol. 12, no. 4, pp. 445–454, 2008.
- [16] Sohail, M., Afrouzi, H. N., Ahmed, J., Mehranzamir, K., Tabassum, M., & Siddique, M. B. M. (2022). A comprehensive scientometric analysis on hybrid renewable energy systems in developing regions of the world. *Results in Engineering*, 100481.
- [17] X. Liang, C. W. Rogers, A. Rashed, K. Schroeder, and P. J. S. Hutchinson, “Adopting quinoa in southeastern Idaho,” *Univ. Idaho Extension*. Available at(*accessed 17 Febr. 2020*), 2016.
- [18] Bosque-Sendra, J. M., Almansa-López, E., GARCÍA-CAMPAÑA, M., & Cuadros-Rodríguez, L. (2003). Data analysis in the determination of stoichiometries and stability constants of complexes. *Analytical sciences*, 19(10), 1431-1439.
- [19] Ben Miled, D., Boussaid, M., Abdelkefi, A., & Cherif, A. (1986). Tolérance au sel d’espèces annuelles du genre *Medicago* au cours de la germination. *Séminaire international sur les végétaux en milieu aride*, 8, 586-593.
- [20] Ghrib, F., & Tinawi, R. (1995). An application of damage mechanics for seismic analysis of concrete gravity dams. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 24(2), 157-173.
- [21] Prado, D. E. (2000). Seasonally dry forests of tropical South America: from forgotten ecosystems to a new phytogeographic unit. *Edinburgh Journal of Botany*, 57(3), 437-461.
- [22] Jacobsen, E. S., & Mujica, A. (2001). Genetic resources and breeding of the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Submitted Plant Genetic Resources Newsletter*.

