

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

N° 38/DSA/2021



DOMAINE : SNV

FILIERE : Sciences agronomiques

OPTION : Production végétale

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : AZIZI SAMIRA
AZZOUZ KHADIDJA
BEN AHCENE MERIEM

Intitulé

Etude de contribution à l'introduction de la culture de
Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) dans la région du
Hodna

Soutenu devant le jury composé de:

M ^{me} HAFFAF S.	Université de M'sila MCA	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 ZEDAM A.	Université de M'sila MCA	Examineur

Année universitaire :2020 /2021

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 : **M^{me} HAFFAF S., MCA.** au département des Sciences Agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila et **M^r ZEDAM A., MCA** 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 **BENYAHIA** 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 mon cher père AZIZI Ahmed et ma chère mère CHERIAT Khadidja.

A ma chère grand-mère BELAKHNACHE THLIDJA

A mon deuxième papa AZIZI Taher

A ma deuxième maman CHERIAT Akila

A mes chers frères : Youcef, Adel, Abdealbaset, Mohamed et mes sœurs : CHAIMA et Wafa.

A toute ma famille : AZIZI et CHERIAT.

A mes chers professeurs : BOUSBAA Said, LIA Abelkader, MADASSE Djmoui,

A mes collègues : AZZOUZ Khadidja, BEN AHCENE Meriem, BOUKHALAT Marwa, CHELALI Oussama.

A mes belles sœurs B. Nadjat, B. Hadjer.

A mes nièces : Aridje, Adam, Zahra, Yacine, Ahmed

A tous mes amis : DAOULA Hayat, MEDASSE Souad, TAIBI Sara, BOUKHATALA Sara, AZZOUZ Wissam, OTHMANI Souhila.

A tous ceux qui me sont chers



AZIZI SAMIRA

Dédicaces

*A mes chers parents pour leur soutien et
leurs prières*

A mes sœurs et mes frères

A ma grande famille

A tous ceux qui me sont chers



BEN AHCENE MERIEM

Dédicaces

A mes chers parents pour leur soutien et leurs prières

A mes sœurs et mes frères

A mon marié

A ma grande famille

A tous ceux qui me sont chers



AZZOUZ KHADIDJA

ملخص

تهدف الدراسة الحالية في المقام الأول إلى اختبار القدرات الإنباتية لبعض أصناف الكينوا (*Chenopodium Quinoa Wild.*) تم اختبار أربعة أنواع من الكينوا المزروعة والمُسوّقة في الجزائر. ثم درسنا التنوع الظاهري وهيكله على أساس عشرة متغيرات. تهدف التجربة الأولى إلى مقارنة سلوك إنبات أربعة أنواع من الكينوا (*Chenopodium Quinoa Wild.*) ، في ظل ظروف معملية. تتعلق القياسات التي تم إجراؤها بمعدل الإنبات النهائي ووقت الكمون. تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أن قدرة الإنبات أفضل (100٪) ويتم الحصول عليها لمدة 12 ساعة تقريباً، أسرع وأكثر تجانساً في الأنواع المختلفة من الكينوا المدروسة. تبحث التجربة التالية في التباين الظاهري لأربعة أصناف من الكنوا، زرعت في المحطة التجريبية بقسم الزراعة باستخدام 10 واصفات، بهدف التحقق من أي من الواصفات العشرة يمكن استخدامها كمقدرات قوية للتنوع المظهري داخل الكينوا. لخص تحليل المكونات الرئيسية المعلومات الواردة في المتغيرات العشرة إلى 3 مكونات تعيد 100٪ من إجمالي التباين. أتاح التصنيف الهرمي التصاعدي التمييز بين فئتين. أظهر تحليل المكون الرئيسي أن 8 متغيرات) وزن 1000 بذرة (PD1000G)، لون أوراق الشجر (FC) ، لون القلب مقابل لون القشرة (RCDCPRALCDC) ، محتوى الصابونين (GTS) ، زرق أوراق الشجر (FG) ، حجم الورقة (FT) ، الوقت من الإزهار (EDF) ووقت النضج ((PEDM)، تساهم أكثر في التمييز بين الطبقات المختلفة. يمكن أن تشكل هذه السمات معايير أساسية للتمييز بين أصناف الكينوا في الجزائر. يمكن أن تعمل الطبقات المختلفة كأبء في إنشاء أصناف محسنة.

الكلمات الأساسية: الكينوا (*Chenopodium quinoa Wild.*) ، معدل الإنبات ، زمن الكمون ، التنوع

الظاهري.

RESUME

La présente étude vise tout d'abord à tester les capacités germinatives de quelques variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.). Quatre variétés de quinoa cultivées et commercialisées en Algérie ont été testées. Ensuite nous avons étudié la diversité phénotypique et sa structuration sur la base de dix variables. La première expérience vise à comparer le comportement germinatif de quatre variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.), dans des conditions de laboratoire. Les mesures effectuées ont concerné le taux de germinations finales et le temps de latence. Les résultats obtenus suggèrent que la capacité germinative est meilleure (100 %) est obtenu pour une durée d'environ 12h, plus rapide et homogène chez les différentes variétés du quinoa étudiées. L'expérience suivante étudie la variation phénotypique de quatre variétés du quinoa, semis dans la station expérimentale au département d'agronomie en utilisant 10 descripteurs, en vue de rechercher lequel des 10 descripteurs peuvent être utilisés comme de puissants estimateurs de la diversité phénotypique au sein des variétés du quinoa. L'analyse des composantes principales a résumé l'information contenue dans les dix variables en 3 composantes qui restituent 100 % de la variance totale. La classification ascendante hiérarchique a permis de distinguer 2 classes. L'analyse en composantes principale a montré que 8 variables (Poids de 1000 graines (PD1000G), couleur du feuillage (FC), couleur du cœur par rapport à la couleur du cortex (RCDCPRALCDC), teneur en saponine (GTS), glaucescence de feuillage (FG), taille de feuille (FT), époque de floraison (EDF) et époque de maturité (PEDM)), contribuent le plus à discriminer les différentes classes. Ces caractères peuvent constituer des critères de base pour différencier les variétés du quinoa en Algérie. Les différentes classes peuvent servir de géniteurs dans la création de variétés améliorées.

Mots clé : Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.), taux de germination, temps de latence, diversité phénotypique.

ABSTRACT

The present study aims first to test the germination capacities of some varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.). Four varieties of quinoa cultivated and marketed in Algeria were tested. Then we studied the phenotypic diversity and its structure based on ten variables. The first experiment aims to compare the germination behavior of four varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.), under laboratory conditions. The measurements carried out concerned the rate of final germinations and the latency time. The results obtained suggest that the germination capacity is better (100%) is obtained for a period of approximately 12 hours, faster and more homogeneous in the different varieties of quinoa studied. The following experiment studies the phenotypic variation of four varieties of quinoa, sown in the experimental station at the agronomy department using 10 descriptors, with a view to investigating which of the 10 descriptors can be used as powerful estimators of the phenotypic diversity within. Varieties of quinoa. The principal components analysis summarized the information contained in the ten variables into three components, which return 100% of the total variance. The ascending hierarchical classification made it possible to distinguish two classes. Principal component analysis showed that 8 variables (1000 seed weight (PD1000G), foliage color (FC), heart color versus cortex color (RCDCPRALCDC), saponin content (GTS), glaucosity of foliage (FG), leaf size (FT), time of flowering (EDF) and time of maturity (PEDM)), contribute the most to discriminating between different classes. These characters can constitute basic criteria to differentiate the varieties of quinoa in Algeria. The different classes can serve as parents in the creation of improved varieties.

Key words: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.), germination rate, latency time, phenotypic diversity.

TABLE DES MATIERES

RESUME	
TABLE DE MATIERE	
LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX	
INTRODUCTION	13
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE QUINOA	15
1.1. Origine et distribution géographique du Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd).	15
1.1.1. Origine	15
1.1.2. La domestication	15
1.1.3. Diversification	17
1.2. Classification botanique et morphologique	18
1.2.1. Classification botanique	18
1.2.2. Classification morphologies	18
1.3. Physiologie du quinoa	24
1.3.1 Phénologie du quinoa	24
1.3.2. Tolérance à la salinité	25
1.3.3. Résistance à la sécheresse	26
1.3.4. Résistance au froid	27
1.3.5. Résistance aux parasites, maladies et ravageurs	27
1.4. Exigences et technique culturale	28
1.4.1. Exigence cultural	28
1.4.2. Technique culturale	29
CHAPITRE 2 : DESCRIPTION PHENOTYPIQUE, GENETIQUE et INTERET NUTRITIONNEL DU QUINOA	
2.1. Description phénotypique	32
2.2. Ressources génétiques	33
2.3. Description génétiques	34
2.4. Le quinoa : intérêt nutritionnel	36

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

3.1. Objectif	39
3.2. Méthode d'étude	39
3.3. Première partie : Test de germination de quatre variétés du quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Wild.)	40
3.3.1. Germination des graines	40
3.3.2. Les paramètres étudiés	40
3.3.3. Dispositif expérimentale	41
3.3.4. Analyse statistique	41
Deuxième partie : Caractérisation phénotypique de quatre variétés du quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Wild.) cultivée dans la région de M'sila	42
3.4.1. Etude de milieu	42
3.4.2. Conditions et mode de culture	46
3.4.3. Echantillonnage et paramètres mesurés	46
3.4.4. Analyses statistiques	46

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Première partie : Test de pré-germination des graines de quatre variétés du quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Wild.) dans des conditions de laboratoire	48
4.1.1. Description de la germination	48
Discussion	50
4.2. Deuxième Partie : Caractérisation phénotypique de quelques variétés du quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Wild.) cultivée dans la région de M'sila	52
4.2.1. Analyses en composantes principales	52
4.2.1.1. Représentations des variables et des individus	53
4.2.1.2. Analyse de la matrice des corrélations (Pearson (n))	57
4.2.2. Analyse de la diversité par la classification Hiérarchique Ascendante	57
Discussion	
CONCLUSION	61
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1 : Racine du quinoa (personnel, 2021)	19
Figure 1.2 : Plantes du quinoa (personnel, 2021)	19
Figure 1.3 : feuilles du quinoa (personnel, 2021)	20
Figure 1.4 : Panicule du quinoa (personnel, 2021)	21
Figure 1.5 : Fleurs du quinoa (personnel, 2021)	22
Figure 1.6 : Fruit du quinoa (personnel, 2021)	22
Figure 1.7 : Graine du quinoa (personnel, 2021)	23
Figure 3.1 : Morphologie des graines étudiées « quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Wild.) »	39
Figure 3.2 : Semis des graines dans des Boite de Pétri	40
Figure 4. 1. Différents stades de germination des graines des différentes variétés du quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Wild.) étudiées.	49
Figure 4. 2 : Temps de latence et taux de germination des différentes variétés du quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Wild.)	49
Figure 4.3. : Distribution des variables et des variétés de quinoa dans le plan 1-2 révélée à partir de l'ACP.	53
Figure 4.4 : Répartition des 4 variétés de quinoa dans le plan 1-2 de l'ACP	54
Figure 4.5 : Feuillage : couleur (FC), Feuille : taille (FT), Feuille : dentelure (FD),	54
Figure 4.6 : Panicule : époque de maturité (PEDM)	55
Figure 4.7 : Aspect morphologique des différentes variétés du Quinoa étudiées	55
Figure 4.8 : Classification hiérarchique des différentes variétés de quinoa (CAH)	56
Tableau 1.1 : Phases phénologiques et les étapes morpho-anatomiques pour le quinoa (Espindola, 1992)	24
Tableau 1.2 : Mécanisme de résistance du quinoa a la sécheresse (Mujica et al., 2001)	25
Tableau 1.3 : Mécanismes de résistance du quinoa au froid (Mujica et al., 2001)	26
Tableau 2.1 : Banques de gènes du quinoa en Amérique du Sud (Rojas, 1998).	34

Tableau 2.2 : Valeur nutritionnelle moyenne de quinoa pour 100g (Souci et <i>al.</i> , 2008) Souci, S. W., Fachmann, W., Scherz, H., Kraut, H., & Senser, F. (2000). <i>Composition Des Aliments, Tableaux Des Valeurs Nutritives</i> . Medpharm.	37
Tableau 3.1 : Température mensuelle moyenne, minimale et maximale (°C)	42
Tableau 3.2 : Pluviométrie mensuelle (mm)	43
Tableau 3.3 : Normes d'interprétation de taux de la matière organique	44
Tableau 3.4 : Teneur en matière organique	44
Tableau 3.5 : Normes d'interprétation du calcaire total	44
Tableau 3.6 : Teneur en calcaire totale et active	45
Tableau 3.7 : Caractéristiques physico-chimiques du sol	45
Tableau 3.8 : Descripteurs morphologiques et phénologiques utilisés pour la caractérisation des espèces de <i>quinoa</i> (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en Algérie	47
Tableau 4.1 : Valeurs propres et pourcentage de variation exprimée par les trois premiers axes à partir de 10 caractères analysés chez quatre variétés de quinoa	52
Tableau 4.2 : Corrélation des variables avec les composantes	52
Tableau 4.3 : Matrice des corrélations (Pearson (n))	58

INTRODUCTION

Chenopodium quinoa Wild. est une plante herbacée annuelle originaire de la région andine de l'Amérique du Sud, elle a été domestiquée par les peuples autochtones il y a plusieurs milliers d'années. L'espèce est historiquement cultivée sur les hauts plateaux de la Cordillère des Andes et ses piedmonts du niveau de la mer aux environs de 4000 m d'altitude, la plante s'est progressivement adaptée aux conditions écologiques extrêmes et à la pauvreté des sols. Principalement cultivé pour la consommation de ses graines.

Du fait que quinoa a été cultivée dans des milieux aussi divers que le littoral du Pacifique, les vallées subtropicales des Andes ou l'Altiplano central, et maintenant disséminée à travers plus de cinquante pays dans le monde (**Wilson, 1988b**). Entre 3.000 et 4.000 m d'altitude, sous des climats arides, venteux et froids, sur des sols salins et pauvres, cette espèce s'est diversifiée en plusieurs dizaines de variétés locales. Ses qualités nutritionnelles exceptionnelles et sa rusticité justifient d'étudier ses mécanismes d'adaptation aux stress multiple. La compréhension des bases physiologiques et biochimiques de cette rusticité peut orienter l'amélioration du quinoa lui-même, mais aussi d'autres productions végétales vers la recherche d'une réduction des besoins en intrants et d'une plus grande tolérance à des conditions écologiques extrêmes (**Wilson, 1988b**). Le quinoa présente une large distribution mondiale et dont le nombre d'espèces n'a cessé d'évoluer au cours du processus de domestication (interaction génotype et environnement, sélection de nouvelles variétés, manipulations génie génétiques...). Un nombre de 250 espèces a été annoncé il y a une quarantaine d'années (**Giusti, 1970**), on peut aujourd'hui estimer ce chiffre à près d'un millier d'espèces.

A cet égard, des programmes de conservation des ressources génétiques du quinoa ont été développés en Algérie dans l'objectif de développer une nouvelle espèce végétale, adaptée au milieu aride en vue d'assurer la sécurité alimentaire (**ITELV, 2015**), cette espèce introduite en Algérie en 2014 au titre d'un projet de coopération entre le ministère de l'Agriculture, du Développement rural et de la Pêche, et l'Organisation des Nations-unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). En Algérie, le quinoa reste peu étudiée,

aussi bien sous ses aspects de fonctionnement agrophysiologique et agronomique, que de diversité biogéographique.

L'objectif du présent travail était la caractérisation de la variabilité génétique en termes de traits morphologiques et phénologiques de 4 variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.).

La diversité génétique de ces variétés va être caractérisée à l'aide d'un descripteur de l'espèce quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) (UPOV), ensuite évaluée et analysée par un outil statistique afin de classées les variétés les plus intéressantes qui serviront au programme de sélection et d'amélioration.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE QUINOA

1.1. Origine et distribution géographique du Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*).

1.1.1. Origine

L'origine du quinoa reste controversée et plusieurs hypothèses ont été formulées. Après avoir envisagé la possibilité d'une origine nord-américaine (**Wilson, 1976, Mujica et al., 2001**), **Wilson (1990)** considère que le quinoa proviendrait de *Chenopodium hircinum* Schrad., une espèce sauvage tétraploïde (4n), présente dans les terres basses de la région andine. Cet ancêtre tétraploïde proviendrait à son tour d'espèces diploïdes (2n) communes dans les Andes comme *Chenopodium carnosolum* Moq., *Chenopodium pallidicaule* Aellen ou *Chenopodium petiolare* Kunth.

1.1.2. La domestication

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

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE QUINOA

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**). Ce processus global s'est différencié localement en cinq écotypes qui persistent encore dans les cinq espaces suivants (**Bazile, 2015 ; Fuentes et al. 2012**) :

Écotype (a) Les vallées inter-andines arides ou humides en Colombie, en Équateur, au Pérou et en Bolivie : entre 2000 et 4000 m ; précipitations de 700 à 1500 mm ; température minimale de 3°C ;

Écotype (b) Les Yungas ou terres tièdes de Bolivie tropicale : 1500 à 2000 m ; précipitations de 1000 à 2000 mm ; température minimale de 11°C ;

Écotype (c) Les hautes terres froides du Pérou, de Bolivie et de l'Argentine : 3500 à 4000 m ; précipitations de 400-800 mm ; température minimale 0°C ;

Écotype (d) Les Salares qui sont des sols salés de Bolivie, du Chili et de l'Argentine : tolérance au sel ; 3500 à 3800 m ; précipitations de 250 à 400 mm ; température minimale de -1°C ;

Écotype (e) Les basses terres côtières du Chili généralement à des latitudes au sud du 30° de latitude Sud : adaptation aux jours longs ; souvent moins de 500 m ; précipitations de 800 à 1500 mm ; température minimale de 5°C.

Ces cinq 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; Tapia, 1996**)

1.1.3. Diversification

Une première hypothèse de diversification du quinoa après le processus de domestication montre que les germoplasmes dans chacun des cinq centres de diversité du quinoa associés aux cinq écotypes seraient les descendants d'un pool génétique central de variétés locales domestiquées dans le bassin du lac Titicaca (**Risi et Galwey, 1984**). Une autre hypothèse propose un centre secondaire de diversification, qui prend en compte l'écotype (e) des quinoas au niveau de la mer et de basse altitude, du fait qu'il y a une grande distance génétique entre l'écotype (e) et les quatre autres écotypes (**Bazile, 2015**). Enfin, une nouvelle hypothèse, basée sur des approches moléculaires (marqueurs de type microsatellites SSR, Simple Séquence Repeats) indique que le centre de la diversité génétique du quinoa serait la région montagneuse de l'Altiplano entre le Pérou et la Bolivie, avec un ensemble d'espèces adventices apparentées associées (**Christensen et al., (2007)**). **Christensen et al., (2007)** pensent que le quinoa cultivé a pour origine des espèces diploïdes qui se sont hybridées dont les espèces candidatent comprendraient *Chenopodium pallidicaule* Aellen, *Chenopodium petiolare* Kunth, et *Chenopodium carnosolum* Moq., ainsi que des espèces adventices apparentées tétraploïdes comme *Chenopodium hircinum* Schrad. et *Chenopodium quinoa* spp. *melanospermum* Hunz. (**Mujica et Jacobsen, 2001**).

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.

1.2. Classification botanique et morphologique

1.2.1. Classification botanique

Dans la classification de Cronquist (**Cronquist, 1981**), le quinoa se trouve dans la famille des Chénopodiacées (aujourd'hui invalide). Depuis 2009, une nouvelle classification phylogénétique ((Family: Amaranthaceae – **APG classification III, 2009**) classe le quinoa dans la famille des Amaranthaceae.

Classification de Cronquist (1981)

Règne Plantae

Division Magnoliophyta

Classe Magnoliopsidae

Sous-classe Caryophyllidae

Ordre Caryophyllales

Famille Chenopodiaceae

Genre Chenopodium

Classification APG III (2009)

Ordre Caryophyllales

Famille Amaranthaceae

Nom binomial

Chenopodium quinoa Willd., 1798

1.2.2. Classification morphologies

1.2.2.1. 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**). **Pacheco et Morlon, (1978)** ajoutent que la profondeur de la racine est liée à la hauteur de la plante. Des plantes de 1,70 m avec une racine de 1,50 m et d'autres de 90 cm de hauteur avec une racine de 80 cm ont été référencées



Figure 1.1 : Racine du quinoa (personnel, 2021)

1.2.2.2. La tige

La tige peut être unique ou bien présenter de nombreuses ramifications. Elle est cylindrique au niveau du collet puis devient plus anguleuse à partir des ramifications avec une position alterne des feuilles le long de chacune des quatre faces. sa hauteur varie entre 50 cm et 2 m, son diamètre varie entre 1 et 8 cm selon les variétés et les conditions de culture (**Mujica et al., 2001**). Sa couleur est également très variable. Elle peut être uniformément verte, verte avec des stries violettes ou rouges, verte avec des aisselles colorées (surtout rouges), ou bien uniformément rouge. A l'intérieur de la tige, on trouve une moelle blanche à crème, de texture molle chez les jeunes plants puis devenant spongieuse et aérée à l'approche de la maturité (**Gandarillas, 1979**) (**Figure 1.2**).



Figure 1.2 : Plantes du quinoa (personnel, 2021)

1.2.2.3. Les feuille

Toutes les feuilles sont alternes se composent d'un pétiole et d'un limbe. Les pétioles sont longs, cannelés et fins sur la face supérieure et de longueur variable au sein de la même plante. Les limbes sont plans mais ils peuvent parfois être ondulés. les feuilles supérieures sont petites, d'environ 10 X2 mm, lancéolées ou triangulaires, tandis que les feuilles inférieures sont grandes, jusqu'à 15 x 12 cm, rhomboïdales (en forme de losange) ou triangulaires (**Mujica et al., 2001**) (**Figure 1.3**).

La couleur des feuilles varie en fonction des variétés, elles sont généralement vertes lorsqu'elles sont jeunes (présence de pigments végétaux bétaxanthines) puis elles virent au jaune, rouge ou violet (présence de pigments végétaux bétacyanines) (**Gallardo et al., 1996**) (**Figure 1.4**).



Figure 1.3 : Feuilles du quinoa (personnel, 2021)

1.2.2.4. Les ramifications

Les ramifications naissent sur la tige à l'aisselle de chaque feuille. Leur longueur varie selon les génotypes et les conditions environnementales (climat, type du sol...), allant de quelques centimètres jusqu'à une longueur équivalente à celle de la tige principale (**Jacobsen et Stolen, 1993**). Il existe des variétés très ramifiées (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 variétés intermédiaires (**Mujica et al., 2001**) (**Figure 1.4**).

1.2.2.5. L'inflorescence

L'inflorescence sous forme d'une panicule typique, c'est-à-dire une inflorescence composée d'un axe principal d'où émergent des axes secondaires et tertiaires (**Risi et Galwey, 1984**) (**Figure 1.4**).



Figure 1.4 : Panicule du quinoa (personnel, 2021)

La longueur de la panicule varie selon les génotypes et l'environnement. Elle peut atteindre 30 à 80 cm de long pour 5 à 30 cm de diamètre. Le nombre de glomérules par panicule varie entre 80 et 120 et le nombre de graines par panicule entre 1000 et 3000 (**Mujica et al., 2001**).

1.2.2.6. Les fleurs

Une caractéristique importante chez le quinoa est la présence de fleurs hermaphrodites localisées à l'extrémité proximale et de fleurs femelles localisées à l'extrémité distale d'un groupe (**Hunziker, 1943 ; Valencia-Chamorro, 2003**).

La fleur femelle se compose d'un péricône et d'un gynécée. La fleur hermaphrodite est constituée de cinq sépales, d'un pistil avec un ovaire ellipsoïdal et deux ou trois stigmates entourés par l'androcée, lui-même composé de cinq étamines courtes et recourbées (**Gandarillas, 1979**) (**Figure 1.5**).



Figure 1.5 : Fleurs du quinoa (personnel, 2021)

1.2.2.7. Le fruit

Le fruit est un akène comprenant plusieurs couches, à savoir de l'extérieur vers l'intérieur : péricarpe, périsperme et épisperme. Chaque fruit contient une seule graine dont la couleur, la forme et la taille sont variables (**Risi et Galwey, 1984**) (**Figure 1.6**).

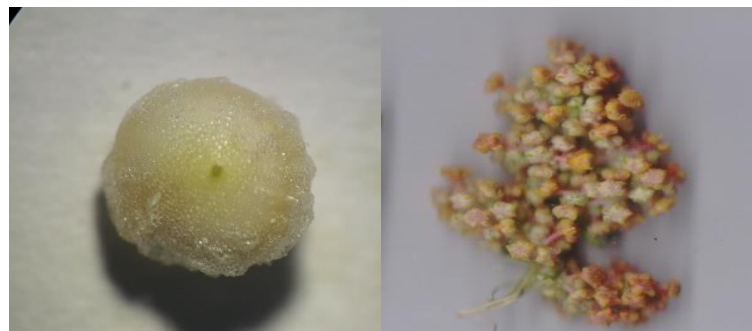


Figure 1.6 : Fruit du quinoa (personnel, 2021)

1.2.2.8. Graine

Il existe trois formes de graines : cylindrique, conique et ellipsoïdale ; qui pourraient être réparties dans trois catégories de taille : petite taille (< 1,8 mm), taille moyenne (1,8 à 2,1 mm) et grande taille (2,2 à 2,6 mm) (**Quispe et al., 1976**).

Le péricarpe se détache facilement à maturation, par lavage ou par frottement à l'état sec bien que, dans certains cas, il peut rester attaché à la graine même après battage (**Gandarillas, 1979 ; Mujica et al., 2001**). Le péricarpe entoure la graine. L'embryon

consiste en un axe hypocotyle-radicule et deux cotylédons. L'endosperme est présent dans la région micropylaire (**Mujica et al., 2001**) (**Figure 1.7**).



Figure 1.7 : Graine du quinoa (personnel, 2021)

1.3. Physiologie du quinoa

Le quinoa est tolérante à diverses contraintes abiotiques comme la salinité des sols, la sécheresse, les radiations UV et le gel (**Schlick et al., 1996**).

1.3.1 Phénologie du quinoa

Selon Tapia et al. (1979), le cycle de croissance du quinoa peut être différencié en cinq périodes :

- 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.

Différents auteurs ont proposé des échelles pour décrire le développement phénologique du quinoa. **Espindola (1986)** considère les phases phénologiques suivantes (Tableau):

D'autre part, **Espindola (1992)** distingue 9 étapes morpho-anatomiques pour la quinoa, qui sont (**Tableau 1.1**) :

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE QUINOA

Tableau 1.1 : Phases phénologiques et les étapes morpho-anatomiques pour le quinoa (Espindola, 1992)

phases phénologiques du quinoa	étapes morpho-anatomiques pour le quinoa
<ul style="list-style-type: none">– émergence,– deux feuilles véritables,– quatre feuilles véritables,– six feuilles véritables,– ramification,– début de formation de la panicule,– formation de la panicule,– début de la floraison,– floraison ou anthèse,– grain laiteux,– grain pâteux,– maturité physiologique.	<ul style="list-style-type: none">– 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).

1.3.2. Tolérance à la salinité

Mujica *et al.*, (2001), montrent que Six à sept jours après l'ensemencement, les graines de génotypes 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 seulement les mécanismes physiologiques et biochimiques impliqués dans l'étape initiale 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 (Bosque *et al.*, 2003).

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

- Une meilleure rétention du potassium,

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE QUINOA

- 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,

1.3.3. Résistance à la sécheresse

La résistance à la sécheresse met en jeu différents mécanismes phénologiques, morphologiques, anatomiques et biochimiques et les principaux traits relatifs à la tolérance a la sécheresse sont les suivants (Mujica et al., 2001) (Tableau 1.2) :

Tableau 1.2 : Mécanisme de résistance du quinoa a la sécheresse (Mujica et al., 2001)

Type de mécanismes	Caractéristique
Phénologiques	-Développement phénologique plus rapide -Raccourcissement de la phase de floraison -Développement racinaire plus rapide dans les premières étapes de croissance -Asynchronisme dans la phase de floraison
Morphologiques	-Repli des feuilles sur la panicule -Réduction de la surface foliaire par perte de feuilles -Plasticité du développement et de la croissance -Réduction de la taille des plantes entière ou des feuilles
Physiologiques	-Plus grande tolérance au sel et plus grande résistance stomatique -Plus grande vitesse d'absorption d'eau -Faible taux de transpiration et récupération rapide des capacités photosynthétiques après une période de sécheresse
Anatomiques	-Plus grand développement racinaire (en densité et profondeur) -Réduction du nombre et de la taille des stomates
Biochimiques	-Translocation des ions K et Ca des cellules stomatiques durant les périodes de sécheresse -Plus grande production d'acide abscissique (ABA)

1.3.4. Résistance au froid

Le **tableau 1.3** présente les principaux traits relatifs à la tolérance au froid rencontré chez le quinoa (**Mujica et al., 2001**):

Tableau 1.3 : Mécanismes de résistance du quinoa au froid (Mujica et al., 2001)

Type de mécanismes	Caractéristique
phénologiques	Phase phénologiques plus tolérantes au froid, prolongation ou raccourcissement des phases phénologiques
Morphologiques	-Chute de feuilles -Réduction de la taille de la plante -Réduction de la taille des feuilles
Physiologiques	-Mouvement 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
Biochimiques	-Accumulation de métabolites (sucres solubles, proline et protéines)

1.3.5. Résistance aux parasites, maladies et ravageurs

Mildiou : une maladie causée par un champignon appelé *Peronospora farinosa*. Elle est caractérisée par la présence de lésions chlorotiques sur les surfaces supérieures des feuilles, avec un mycélium blanc ou pourpre sur les surfaces inférieures (**Valencia-Chamorro, 2003**). Le mildiou est constitué une contrainte importante à la production du quinoa puisqu'il entraîne une baisse de rendement significative.

La fonte des semis (*Rhizoctonia*),

CHAPITRE I: : GENERALITES SUR LE QUINOA

La fusariose (*Fusarium*) ;

La pourriture des semences et la fonte des semis (*Sclerotium rolfsii*, *Pythium zingiberum*) ;

Les tâches foliaires (*Ascochyta hyalospora*) ;

La pourriture brune de la tige (*Phoma exigua* var. *Foveata*) (**Danielsen et al., 2003**) ;

Kcona kcona (*Scrobipalpula* sp.) : petit insecte de l'ordre des lépidoptères (papillons), est probablement le ravageur le plus grave du quinoa. Lorsque les périodes de sécheresse et des températures élevées sont présents. Les larves détruisent d'abord les feuilles et l'inflorescence. Plus tard, lorsque les plantes sont matures, les larves détruisent la panicule et les graines (**Valencia-Chamorro, 2003**) ;

Les oiseaux et les parasites : les graines de quinoa contiennent une forte teneur en saponine, un composant qui les rend moins sensibles à ces attaques grâce à son goût amer et à sa toxicité pour les animaux de petite taille (**Tapia, 2000**).

1.4. Exigences et technique culturale

1.4.1. Exigence cultural

Sol : Le quinoa pousse bien sur des sols limono-sableux a sablo-limoneux et peut être cultivé sur des sols marginaux peu fertiles. En rotation avec la pomme de terre, le quinoa se satisfait de l'engrais organique résiduel de la culture précédente (**Alegria et al., 1999 ; Auza, 2003**). Le quinoa tolère une large gamme de pH du sol, depuis les 27 sols alcalins de la région des salars boliviens (pH 9) jusqu'aux sols acides (pH 4,5) de la région de Cajamarca (Pérou). Il existe des génotypes adéquats pour chacune des conditions extrêmes de pH (**Mujica, 1979**).

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE QUINOA

Climat : désertique, chaud et sec, froid et sec, tempéré et pluvieux, chaud avec une forte humidité relative, et les régions de la puna et des zones de la Cordillère de haute altitude ; à chaque climat correspondent diverses variétés et écotypes

Eau : La quantité optimale d'eau varie de 200 à 400 mm, en fonction de type de sol et des conditions météorologiques. **Valencia-Chamorro, (2003); Martínez et al., (2009)**, montrent que la culture de quinoa tolère le stress hydrique et s'adapte bien aux régions où la pluviométrie annuelle avec irrigation se situe entre 250 - 400 mm sur des sols limono-sableux ou sablolimoneux).

Température : Le quinoa est une plante hautement résistante à la sécheresse puisqu'elle tolère des températures élevées allant jusqu'à 35°C (**Oelke et al., 1992**). Il est admis que la température minimale limite de croissance pour le quinoa est de -5°C (**Bois et al., 2006**) ; certaines variétés du quinoa toléreraient jusqu'à -18°C durant les premiers stades de croissance (**Catacora et Canahua, 1992**). **Lebonvallet (2008)**, montre que le quinoa est très sensible aux fortes températures au stade floraison ; celles supérieures à 35°C peuvent conduire à la dormance et la stérilité du pollen.

Rayonnements solaires : supporte des rayonnements extrêmes, ce qui lui permet d'emmagasiner les heures de chaleur nécessaires pour mener à bien sa phase végétative et productive

Photopériode : Il existe des variétés ou écotypes à jours courts, à jours longs ou indifférents à la photopériode

Altitude : Cultivée depuis le niveau de la mer jusqu'à près de 4000 m d'altitude (**Risi et Galwey, 1989**).

1.4.2. Technique culturale

Choix des variétés : Deux critères sont à prendre en compte : - la sensibilité à la longueur du jour - la teneur en saponine. Les variétés capables de s'adapter chez nous sont celles qui sont peu ou pas sensibles à la longueur du jour. Choisir une variété avec

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE QUINOA

peu ou pas de saponine dans le cas contraire, la graine doit être désaponifiée avant consommation (rinçages successifs).

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). La manière de semer varie selon les régions de production, se faisant par poquets dans les régions méridionales arides et sur des sillons ou à la volée dans les régions mieux arrosées (**Del Castillo et al., 2008**).

Cycle de culture : Le cycle de culture dure entre 150 et 200 jours selon les régions et les variétés (**Mujica et al., 2001**).

Densité de semis : La densité de semis varie de 5 à 10 kg.ha⁻¹ (100 à 250 plantes par m²) (**Mujica et al., 2001**) avec une profondeur alentours de 3 cm (**Mujica et al., 2001**).

Récolte : La récolte se fait de mars à mai lorsque les plantes ont atteint la maturité physiologique et que le grain est très sec. Si le potentiel de rendement de quinoa atteint 11 t.ha⁻¹, la production maximale obtenue en conditions optimales est d'environ 6 t.ha⁻¹ (**Mujica et al., 2001**), et sur l'Altiplano elle n'est en moyenne que de 0,6 t.ha⁻¹ (**Laguna, 2002**).

Indice de récolte : L'indice de récolte peut être compris entre 0,20 et 0,45, et le poids de 1 000 grains moyen est de 2,30 g (**Felix, 2004**).

1.4.2.1. Système de culture manuel traditionnel

La défriche : en juin et juillet de la première année à lieu la défriche des parcelles qui seront semées l'année suivante. Après la défriche, le terrain repose pendant 6 mois au cours desquels la matière organique va s'incorporer lentement au complexe argilo-humique.

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

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE QUINOA

Le semis : à la fin août de la deuxième année, commence le semis sur les parcelles de pente, mais les dates de semis varient en fonction du climat car le terrain doit être suffisamment humide pour permettre la germination de la graine.

Le contrôle des adventices et des ravageurs : Les jeunes plantules peuvent être recouvertes d'herbes sèches pour limiter l'érosion éolienne et pour empêcher les rongeurs de les manger.

La récolte : une fois que le grain est mûr, en avril-mai, les pieds de quinoa sont coupés ou arrachés 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.

Le rendement : Les rendements sont de 0,4 à 2 t.ha⁻¹ selon les conditions climatiques.

1.4.2.2. Système de culture mécanisé

Les parcelles cultivées à l'aide de tracteurs. Les sols en plaine sont sableux et profonds, leur mise à nu et leur retournement avec une charrue à disque par les tracteurs entraînent, année après année, une grande fragilité face à l'érosion éolienne et une perte importante de fertilité. L'itinéraire technique (rotation jachère - quinoa) s'effectue le plus souvent sur deux années (**Felix, 2004**).

Le labour : 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.

Le contrôle des adventices et des ravageurs : les populations de coléoptères et de lépidoptères situés dans les plaines ont augmenté considérablement depuis l'extension des cultures. Les plaines sont tout aussi sujettes aux attaques des rongeurs que les montagnes car même si leur habitat est plutôt dans les zones pierreuses, les très grands blocs de parcelle et la même culture une année sur deux favorisent l'accroissement des ravageurs.

La récolte : elle est identique au système manuel.

**CHAPITRE II : DESCRIPTION PHENOTYPIQUE, GENETIQUE et
INTERET NUTRITIONNEL DU QUINOA**

2.1. Description phénotypique

La culture de quinoa présente une grande variabilité phénotypique, concernant les feuilles, les panicules et les graines (**Tapia et al., 1979, Pinto, 2002**). Les caractères phénotypiques de port de la plante (ramification), forme de l'inflorescence (glomériforme ou amarantiforme), de la feuille et du grain sont les plus constants pour sa classification taxonomique. En revanche, la hauteur et la couleur de la plante, la couleur du grain, sont des caractéristiques beaucoup plus variables et, par conséquent, peuvent provoquer des erreurs dans la classification de variétés (**Tapia et al., 1979**). Le quinoa cultivée présente ainsi une grande diversité génétique qui se traduit par une variabilité de forme et de taille des inflorescences, de couleur des tiges, des graines et des inflorescences, de contenu en saponine, de teneur en protéines et dans la présence ou non de cristaux d'oxalate de calcium sur les feuilles (**Del Castillo et al., 2008**).

La tige principale peut être ramifiée ou non, selon l'écotype, la race, la densité de semis et les conditions de culture.

L'inflorescence est une panicule dont l'axe principal, plus développé, porte des axes secondaires est totalement différenciée du reste de la plante, et souvent de forme massive, et dans quelques cas tertiaires, dans ce cas, il n'existe pas une différenciation claire parce que l'axe principal a des ramifications relativement longues qui donnent à la panicule une forme conique et effilée, parfois assez lâche, et souvent plus étroite que celles des panicules définies.

La du cycle végétatif du quinoa varie entre 90 jours pour les variétés les plus précoces, à 180 jours pour les variétés les plus tardives et à 140 jours environ pour les variétés intermédiaires (**Herencia et al., 1999 ; Izquierdo et al., 2001**). Des quinoas andines précoces ont vu leur cycle végétatif allongé de 30 jours lorsqu'elles se trouvaient

CHAPITRE II : DESCRIPTION PHENOTYPIQUE, GENETIQUE et INTERET NUTRITIONNEL DU QUINOA

cultivées en Espagne (longs jours), alors que le cycle de quinoas intermédiaires ou tardives n'était pas affecté par le changement de latitude (**Herencia et al., 1999**). **Izquierdo et al., (2001)**, signale que la durée entre l'anthèse et la maturité physiologique (période reproductive) varie entre 15 et 40 jours environ, la durée même de la floraison au sein d'une panicule allant de 12 à 15 jours.

Le fruit est un akène qui contient un grain. Généralement le classement de taille des grains se fait en trois catégories : ceux de petits (inférieurs à 1.8 mm), les grande taille (2.2 à 2.6 mm de diamètre), les grains moyens (1.8 à 2.2 mm) (**Bonifacio et al., 2001**).

L'indice de récolte est un critère de l'investissement et, par conséquent, un indicateur important de sélection par les agriculteurs. Sa valeur, qui dépend des cultivars (**Herencia et al., 1999 ; Izquierdo et al., 2001**).

2.2. Ressources génétiques

La biodiversité se réfère à la variabilité existante entre espèces ou de la variation génétique intra-population et intra-spécifique (**Wood et Lenné 1999**). Les ressources génétiques végétales sont une réserve de gènes pour l'obtention de nouvelles variétés et sont particulièrement importantes pour les sociétés humaines parce qu'elles fournissent la matière première de l'agriculture. La biodiversité est le résultat d'un processus évolutif dans lequel la sélection et la mutation déterminent les caractéristiques et la quantité de diversité biologique qui existe en un lieu et à un moment donnés. Les ressources génétiques végétales sont des ressources naturelles limitées qui constituent la matière première d'où sont tirés certains gènes utilisés et combinés par les techniciens en amélioration génétique et en biologie moléculaire. Ces gènes sont dispersés dans les populations naturelles de plantes et dans des populations cultivées locales, sélectionnées au cours de milliers d'années par les agriculteurs et par la nature pour leurs facultés d'adaptation, de productivité et de résistance. Les hautes terres des pays andins ont été et sont l'habitat naturel de nombreuses espèces et cultivars naturels (natifs) qui constituent le plus important centre de variabilité génétique du quinoa. Les ressources génétiques intègrent aussi, en plus des formes primitives, des formes sauvages et des cultivées, les matériaux conservés dans les banques de gènes (**Bonifacio, 1999**).

2.3. Description génétiques

La quantification des chromosomes de différents cultivars de quinoa de Pérou, Chili et Bolivie donne un nombre de 36 chromosomes somatiques, composés de deux lots diploïdes de $2x = 4n$, avec $n = 9$ chromosomes, faisant du quinoa une espèce allotétraploïde (Catacora, 1977 ; Tapia et al., 1979 ; Gandarillas, 1979b ; Izquierdo et al., 2001).

Les ressources génétiques des espèces apparentées au quinoa offrent une série de caractéristiques intéressantes pour l'amélioration génétique de la culture *Chenopodium carnosolum* est une source génétique pour la rusticité et la précocité *C. hircinum*, *C. petiolare* et *C. berlandieri* Moq. subsp. *nuttalliae* (Saff.) H.D.Wilson and Heiser hébergent des gènes résistants au mildiou (*Peronospora farinosa* (Fr.) Fr.) (Bonifacio, 2001). La résistance de quinoa au froid viendrait de *Chenopodium pallidicaule* qui croît aux très hautes altitudes, la tolérance de quinoa à la salinité vient de *C. carnosolum* qui pousse dans des zones de forte concentration saline et la morphologie de quinoa viendrait de *C. petiolare* (Gandarillas, 1984). Plusieurs banques de gènes conservent de nombreuses accessions (Tableau 2.1).

Les résultats de différents types de croisements montrent que le quinoa présente une hérédité mono-génique pour la couleur rouge des feuilles, cette dernière dominant sur le vert et le pourpre, et le pourpre dominant le vert. La couleur au niveau des aisselles des feuilles est un caractère dominant (Tapia et al., 1979 ; Izquierdo et al., 2001). Pour la forme de l'inflorescence, on observe une disjonction de 3 glomériformes pour 1 amaranthiforme. La stérilité mâle est nucléocytoplasmique, avec une descendance de 3 fertiles et 1 stérile dans le croisement avec un parent fertile mâle (Izquierdo et al., 2001).

L'hérédité de la couleur des graines suit un processus différent chez les graines marron, blanches, noires et jaunes. Les graines blanches sont l'expression de

**CHAPITRE II : DESCRIPTION PHENOTYPIQUE, GENETIQUE et
INTERET NUTRITIONNEL DU QUINOA**

l'homozygotie récessive, ce qui rend plus facile leur sélection dans l'amélioration (Tapia *et al.*, 1979).

Tableau 2.1 : Banques de gènes du quinoa en Amérique du Sud (Rojas, 1998).

Pays	Lieu	Nombre accessions
Pérou	Estación Experimental Baños del INCA, Cajamarca	236
	Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima	1.276
	Estación Experimental Andenes, Cuzco	50
	Estación Experimental Illpa, Pun	104
	Universidad Nacional del Altiplano, Puno	1.144
Argentine	Facultad de Agronomía, UBA, en custodia del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), Buenos Aires	450
Bolivie	Fundación para la Promoción de Investigación de Productos Andino, PROINPA, La Paz	2.511
	Facultad de Agronomía, UMSA, La Paz	1.500
	Facultad de Agronomía, UTO, Oruro	1.400
Équateur	Estación Experimental Santa Catalina	400
Brésil	Centro de Pesquisa Agropecuaria EMBRAPA	800
Colombie	Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogota	300
Chili	Centro regional de investigación Intihuasi, Banco Base de INIA	73

La couleur noire est dominante sur les autres: celle des grains marrons de type “ C ” avec les allèles C, cc et c et celle des grains jaunes “ A ” avec les allèles A, ac, acc, a et probablement ar, dont la combinaison des deux allèles dominants à chacun des loci A-C- donne des graines noires, tandis que les autres combinaisons se traduisent par des

CHAPITRE II : DESCRIPTION PHENOTYPIQUE, GENETIQUE et INTERET NUTRITIONNEL DU QUINOA

couleurs différentes (blanc, marron, jaune, etc.). Par ailleurs, on a remarqué chez le quinoa une disjonction spontanée de graines blanches et noires à partir de graines blanches en conditions naturelles, peut être le résultat des hybridations spontanées avec des parents sauvages (**Izquierdo et al., 2001**).

2.4. Le quinoa : intérêt nutritionnel

1. Valeur nutritive

1.1. Lipides

Le quinoa a une teneur en matière grasse comprise entre 2,0 et 9,5%, riche en acides gras essentiels (les acides linoléique et α -linoléique), et contient de fortes concentrations d'antioxydants (l' α et le γ tocophérol).

L'acide palmitique est le principal acide gras saturé présent dans le quinoa environ 10% du total des acides gras présents, Les acides gras insaturés sont les acides oléique (19,7 à 29,5%), linoléique (49,0 à 56,4%) et linoléique (8,7 à 11,7%), qui constituent 87,2 à 87,8% du total des acides gras présents dans l'huile de quinoa (**Maradini et al., 2015**).

1.2. Protéine

Le quinoa contient tous les acides aminés, y compris les acides essentiels (**FAO, 2011**), il a une valeur biologique élevée (73%) supérieure à celles du blé (49%), du riz blanc (56%) et du maïs (36%), et similaire à celle du bœuf (74%) (**Bastidas et al., 2016**).

Les graines du quinoa sont riches en albumines (2S) et les globulines (11S) (**Maradini et al., 2015**). Par ailleurs, les protéines du quinoa contiennent très peu, de prolamines (gliadine du blé ou l'hordénine de l'orge, sont collectivement appelées « gluten ») qui sont les principales protéines de réserve des céréales conventionnelles (**Herbillon, 2015**). Il a également été remarqué que les feuilles de quinoa ont une teneur élevée en protéines de qualité (**FAO, 2011**)

1.3. Vitamines

Le quinoa contient de nombreuses vitamines, dans 100 g contiennent : 0,61 mg d'acide pantothénique, 78,1 mg d'acide folique, 0,4 mg de thiamine, 0,20 mg de vitamine B6, 1,4 mg de vitamine C. Des isoformes de tocophérol ont été découvertes dans les graine : β - et δ tocophérol ($<5 \mu\text{m} / \text{g}$), α -tocophérol (17-26 $\mu\text{g} / \text{g}$), γ -tocophérol (47-53 $\mu\text{g} / \text{g}$). Sa teneur en vitamine E varie de 37,49 à 59,82 $\mu\text{g} / \text{g}$ (**Gordillo Bastidas et al., 2016**).

1.4. Fibres

Les graines de quinoa contiennent environ 10 et 14% de fibres alimentaires totales qui sont principalement retrouvés dans l'embryon (80% de fibres insolubles et de 20% de fibres solubles) (**Herbillon, 2015**).

1.5. Carbohydrates (Les glucides, La teneur en amidon)

Les glucides sont les composants majeurs retrouvés dans les graines du quinoa, leur teneur variant entre 67% et 74% de la matière sèche (**Herbillon, 2015**).

Le composé d'amidon est situé dans le péricarpe de la graine. Sa teneur varie entre 52 et 60%. La teneur en amylose est d'environ 11% (**Valencia-Chamorro, 2004**), le quinoa a une teneur faible en glucose et en fructose et a une teneur élevée en maltose et en D-xylose.

1.6. Les minéraux

Le quinoa offre un contenu en minéraux très supérieur à celui des céréales classiques, en particulier en phosphore, magnésium, potassium et fer (**Tableau 2.1**).

**CHAPITRE II : DESCRIPTION PHENOTYPIQUE, GENETIQUE et
INTERET NUTRITIONNEL DU QUINOA**

Tableau 2.2 : Valeur nutritionnelle moyenne de quinoa pour 100g (Souci et al., 2008)
Souci, S. W., Fachmann, W., Scherz, H., Kraut, H., & Senser, F. (2000). *Composition Des Aliments, Tableaux Des Valeurs Nutritives*. Medpharm.

Apport énergétique	Joules 1415 KJ Calories 334 kcals
Principaux composants	Cendres totales 3.33 g ; Fibres alimentaires 6.64 g ; Glucides 58.5 g ; Eau 12.7 g Oméga-3 200 mg ; Oméga-6 2430 mg Oméga-9 1300 mg; Protides 14.8 g Saturés 505.7 mg
Macro et microéléments (oligoéléments)	-Cobalt 0.0031 mg ; Calcium 80 mg Chlore 105 mg ; Phosphore 328 mg Cuivre 1.787 mg ; Sodium 9.6 mg Fer 8.0 g ;Magnésium 275 mg Zinc 505 mg ; Manganèse 2.8mg Potassium 804 mg ; Bore 0.800 mg
Vitamines	Vitamine B1 0.170 mg Vitamine B3 (ou PP) 0.450 mg Vitamine E 4.0 mg

2. Composés bioactifs

2.1. Les polyphénols

Le quinoa contient au moins 23 composés phénoliques, il contient plus de phénols que l'ensemble des céréales, y compris le blé, l'orge, le millet, le riz et le sarrasin (Gordillo Bastidas et al., 2016).

2.2. Saponines (triterpénoïde glycosides) (Les saponines)

Les saponines sont les principaux facteurs antinutritionnels présents dans l'épisperme de quinoa, ils sont des composés glycosidiques se présentent en deux groupes

CHAPITRE II : DESCRIPTION PHENOTYPIQUE, GENETIQUE et INTERET NUTRITIONNEL DU QUINOA

(sapogénines sont des stéroïdes (C27) ou des triterpénoïdes (C30)) (**Jancurová et al., 2009**).

La teneur en saponine diffère selon les stades de croissance, une faible saponine est trouvée dans le stade de ramification et élevée dans le stade de floraison la teneur en saponine est affectée également par le déficit sol-eau, un déficit hydrique élevé réduisant le contenu en saponine (**Bhargava, 2006**). Sa teneur en saponine dans les graines des variétés sucrés varie de 0,2 à 0,4 g / kg de matière sèche et dans les variétés amers de 4,7 à 11,3 g / kg de matière sèche (**Jancurová et al., 2009**).

2.3. Acide phytique

L'acide phytique présent dans les couches extérieures du grain de quinoa et distribué uniformément dans l'endosperme (**Maradini et al., 2015**). Il a été montré que la concentration moyenne en acide phytique était de 1,18 g / 100 g chez cinq variétés de quinoa (**Jancurová et al., 2009**).

2.4. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes prédominants dans la graine de quinoa sont la lutéine et la zéaxanthine La teneur totale de ces caroténoïdes dans les graines de quinoa est en moyenne de 14,8 µg/g, avec des variations selon les variétés (**Herbillon, 2015**).

2.5. Les tanins

Les tanins sont présents en faible teneur dans les graines de quinoa (0,53%) (**Maradini et al., 2015**).

CHAPITRE III
MATERIEL ET METHODES

3.1. Objectif

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'aptitude de germination ou la faculté germinative suivi par une caractérisation morphologique de quatre variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa Wild.*).

3.2. Méthode d'étude

Les expériences sont réalisées selon deux méthodes distinctes. Une première expérience a portée sur la germination des graines de quatre variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa Wild.*) (**Figure 3.1**) : Giza, Q101, Q102 et 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 plantes de quatre variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa Wild.*) réalisée dans une parcelle située au département des sciences agronomiques à l'université de Mohammed Boudiaf, M'sila.

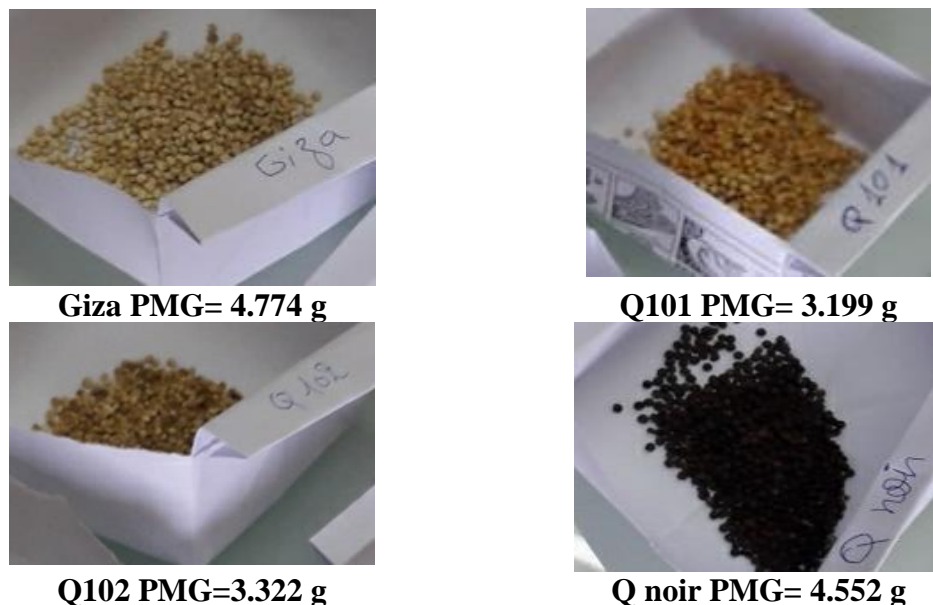


Figure 3.1 : Morphologie des graines étudiées « quinoa (*Chenopodium quinoa Wild.*) »

3.3. Première partie : Test de germination de quatre variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.)

3.3.1. Germination des graines

Les graines de 4 variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) sont utilisées comme matériel végétal dans cette étude.

Les graines des différentes variétés sont traitées à l'eau de javel à 0,5% pendant 3 min puis rincées rigoureusement trois fois avec de l'eau distillée afin éliminer toute trace de l'eau de javel. De chaque variété, 10 graines sont semés dans des Boite de Pétri en verre de 10 cm de diamètre, tapissées de deux couche de papier filtre humidifié de 10 ml d'eau distillée. Les Boites étiquetées sont ensuite placée dans l'étuve à 25 C°. Chaque traitement est répété 3 fois (**Figure 3.2**).

Le nombre de graines germées est noté quotidiennement pendant une période de 15 jours. La graine est considérée germée à l'apparition de la racicule (**Côme, 1970**).

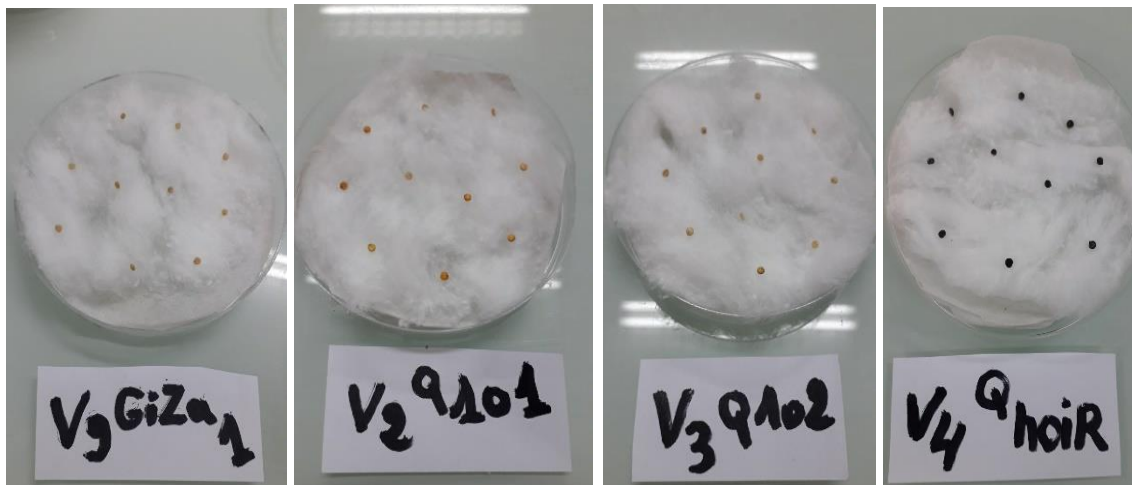


Figure 3.2 : Semis des graines dans des Boite de Pétri

3.3.2. 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 (N_i) selon la relation :

$$\text{TFG} = N_i \times 100 / N_t$$

N_i = nombre de graines germées

N_t = nombre total de graines utilisées (N_t)

3.3.3. Dispositif expérimentale

Le dispositif expérimental adopté au cours de notre expérimentation est une randomisation totale à un facteur étudié qui est : facteur variétés avec quatre variantes (Giza, Q101, Q102 et Noir). Chaque essai porte sur 30 graines, soit 3 répétition et chaque répétition comprend 10 graines.

3.3.4. 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.

3.4. Deuxième partie : Caractérisation phénotypique de quatre variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa Wild.*) cultivée dans la région de M’sila

3.4.1. Etude de milieu

3.4.1.1. Présentation de la station expérimentale

L’essai est réalisé dans une parcelle située au département des sciences agronomiques à l’université de Mohammed Boudiaf, M’sila. Se localisent entre 35° 74’ N et 04° 55’ E ; avec 512 m d’altitude.

3.4.1.2. Etude pédoclimatique

3.4.1.2.1. Données climatiques

A. Température

L’analyse des valeurs de la température de l’année 2019, montre que les températures maxima sont enregistrées durant le mois le plus chaud (Juillet) avec une valeur de : 40.4 °C (**Tableau 3.1**).

Tableau 3.1 : Température mensuelle moyenne, minimale et maximale (°C)

Moi	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou t	Sep	Oct	No v	Dec
T° Ma x	12. 3	17.8	22.4	25. 8	32. 9	37.1	40. 4	39.9	32.6	26. 5	19. 0	14. 1
T° Min	2.8	6.3	7.7	11. 6	18. 1	22.0	24. 6	25.7	18.5	12. 5	6.2	3.4
T° mo y	7.5 5	12.0 5	15.0 5	18. 7	25. 5	29.5 5	32. 5	32.8	25.5 5	19. 5	12. 6	8.7 5

(O.N.M. M’sila 2019)

B. Précipitation

Le cumul annuel moyen de la précipitation de l'année 2019 est 142.2 mm (Tableau 3.2).

Tableau 3.2 : Pluviométrie mensuelle (mm)

Moi	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Cumul
P (mm)	71.4	1.0	2.5	5.6	13.2	18.0	4.3	0.5	1.5	12.7	4.1	7.4	142.2

(O.N.M. M'sila 2019)

3.4.1.2.2. Analyse physico-chimique du sol

A. Mesure du pH

Le degré d'acidité ou de basicité du sol joue un rôle très important dans l'assimilation des éléments nutritifs du sol par la plante.

Le pH eau, Selon **BAIZE, 1988** :

pH inférieur à 3,5 →hyper-acide pH entre 3,5 et 5 →très acide

pH entre 5 et 6,5 →acide pH entre 6,5 et 7,5→neutre

pH entre 7,5 et 8,7→basique pH supérieur à 8,7 →très basique

Le pH eau du sol de notre sol d'étude est égal 6.5 et 7.5, c'est un sol neutre (Tableau 3.7).

B. Dosage de la matière organique

La matière organique est dosée par la méthode. La teneur en matière organique (MO) totale du sol s'obtient généralement en dosant la teneur en carbone (C) (**Anne, 1845**) (Tableau 3.3).

Tableau 3.3 : Normes d'interprétation de taux de la matière organique

Taux de MO %	Type du sol
<0.5 %	Très pauvre en MO
0.5-1.5 %	Pauvre en MO
1.5-2.5 %	Moyennement pauvre en MO
2.5-6 %	Riche en MO
6-15 %	Très Riche en MO

D'après le tableau ci-dessus, notre sol est moyennement pauvre en MO car il enregistre un pourcentage faible de l'ordre de 1.6 à 1.7% % (**Tableau 3.3**).

D'après ces normes, notre sol est moyennement pauvre en MO car il enregistre un pourcentage moyennement faible de l'ordre (**Tableau 3.4**) :

Tableau 3.4 : Teneur en matière organique

Teneur en MO	E2	E3	E4
MO %	1.66%	1.75%	1.66%

A. Dosage du calcaire total (calcimètre de Bernard) (Bernard, 1990)

Tableau 3.5 : Normes d'interprétation du calcaire total

Calcaire total	Sol
<1 %	Non calcaire
1-5 %	Peu calcaire
5-25 %	Modérément calcaire
25-50 %	Fortement calcaire
50-80 %	Très Fortement calcaire
>80 %	Excessivement calcaire

D'après l'analyse de sol, le taux de calcaire total est compris entre 29.6 e %t 31.6, et selon les normes de tableau ci-dessus, on peut classer notre sol comme sol fortement calcaire (**Tableau 3.6**).

Tableau 3.6 : Teneur en calcaire totale et active

Teneur en calcaire	E2	E3	E4
CaCO3 totale	29.6 %	29.7 %	31.6 %
CaCO3 active	15 %	22.5 %	23.5 %

B. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique du sol consiste à classer les éléments du sol d'après leur grosseur et à déterminer le pourcentage de chaque fraction (sable, limon et argile) afin de définir la texture d'un sol.

Le **quinoa** pousse bien sur des **sols** limono-sableux à sablo-limoneux. En Amérique du Sud, le **quinoa** est cultivé sur des **sols** peu ou trop drainés, de faible fertilité, très acides (pH 4,8) ou alcalins (pH 8,5). Dans notre cas, on trouve que le sol à une texture argilo-sableuse (**Tableau 3.7**).

Les résultats des analyses physico-chimiques d'un échantillon de sol au niveau du laboratoire des sciences agronomiques, université Mohamed Boudiaf, M'sila sont récapitulés dans le tableau 3.7.

Tableau 3.7 : Caractéristiques physico-chimiques du sol

Analyse de sol	Résultats
PH	6.5 à 7.5
Conductivité électrique (CE) ms/cm	0.261
Calcaire totale %	29 % à 31%
Matière organique %	1.75
Texture	argilo-sableuse

3.4.2. Conditions et mode de culture

Le semis a été réalisé le 11 décembre 2021 en suivant un dispositif en randomisation totale à un facteur avec 3 répétitions. Le semis était effectué en lignes, espacées de 100 cm avec un inter-plant de 10 cm pour faciliter les travaux d'entretien et de suivi. Chaque parcelle élémentaire était constituée par une ligne de culture.

3.4.3. 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 (Pernès, 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 3.8). Dans notre étude, la caractérisation s'est basée sur 10 caractères morphologiques et phénologiques (Tableau 3.8)

3.4.4. 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 3.8 : Descripteurs morphologiques et phénologiques utilisés pour la caractérisation des espèces de *quinoa* (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Algérie

Descripteurs	Code	Catégorie	V1 Giza 1	V2 Q102	V3Q101	V4 Noir
Graine : teneur en saponine	GTS	1 : nulle ou faible ; 2 : Moyenne ; 3 : élevée	2 : moyenne	2 : moyenne	moyenne	2 : moyenne
Feuillage : glaucescence	FG	1 : absente ou faible ; 3 : moyenne ; 5 : forte	3 : moyenne	5 : forte	5 : forte	3 : moyenne
Feuille : taille	FT	3 : petite ; 5 : moyenne ; 7 : grande	3 : petite	5 : moyenne	5 : moyenne	3 : petite
Feuille : dentelure	FD	1 : absente ou faible ; 3 : moyenne ; 5 : forte	3 : moyenne	5 : forte	3 : moyenne	3 : moyenne
Époque de floraison	EDF	3 : précoce ; 5 : moyenne ; 7 : tardive	3 : précoce	5 : moyenne	7 : tardive	3 : précoce
Plante : hauteur	PT	3 : basse ; 5 : moyenne ; 7 : haute	7 : haute	7 : haute	7 : haute	3 : basse
Panicule : Époque de maturité	PEDM	3 : précoce ; 5 : moyenne ; 7 : tardive	3 : précoce	5 : moyenne	7 : tardive	3 : précoce
poids de 1000 graines	PD1000G	1 : très faible ; 3 : très faible ; 5 : moyenne ; 7 : élevé ; 9 : très élevé	9 : très élevé	7 : élevé	7 : élevé	9 : très élevé
Racine : couleur du cœur par rapport à la couleur du cortex	RCDCPRALCDC	1 : plus claire ; 2 : même couleur ; 3 : plus foncée	1 : plus claire	1 : plus claire	1 : plus claire	1 : plus claire
Feuillage : couleur	FC	1 : vert clair ; 2 : vert moyen ; 3 : vert foncé ; 4 : Rouge ; 5 : pourpre	3 : vert foncé	3 : vert foncé	2 : vert clair	3 : vert foncé

**CHAPITRE IV
RESULTATS ET DISCUSSIONS**

4.1. Première partie : Test de pré-germination des graines de quatre variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) dans des conditions de laboratoire

4.1.1. Description de la germination

Les tests de de pré- germination sur les graines serviront à détecter d'éventuelles dormances du matériel végétal qu'il faut lever grâce à certains traitements et procédés (gibbérelline, refroidissement,...). Les essais de germination ont trois objectifs : s'assurer de la viabilité d'un lot de semence, définir le comportement germinatif d'une espèce et la production de plants. Enfin, la création de ces banques de semences pour les plantes endémiques ou rares en Algérie est plus que souhaitable.

La germination est la reprise du métabolisme d'un embryon, jusqu'à ce qu'il devienne une jeune plante autotrophe, elle est exprimée d'abord par le gonflement des graines jusqu'elles deviennent de jeunes plantules.

4.1.1.1. Temps de latence (TL)

Le temps de latence qui correspond au temps compris entre le début du test de germination et le moment où la première semence a germé.

L'analyse de la variance ne révèle pas un effet significatif entre les différentes variétés sur le temps de latence. La germination commence dès le 1^{er} jour (après 12 heures) pour toutes les variétés testées (**Figure 4.1 et 4.2**).

4.1.1.2. Capacité de germination

La capacité de germination elle représente le pourcentage de germinations maximales, ou taux de germination maximal, obtenu dans des conditions expérimentales

bien définies. Sa valeur dépend des conditions expérimentales et des traitements préalablement subis par les semences.

L'analyse de la variance ne révèle pas un effet significatif des différentes variétés sur le taux de germination. Le taux de germination est de 100 % chez toutes les variétés testées (**Figure 4.1 et 4 .2; Annexe 1, Tableau 1**).

Les figures 4.1 et 4.2 présentent les variations du temps de latence et le taux de germination, des différentes variétés du quinoa étudiées.

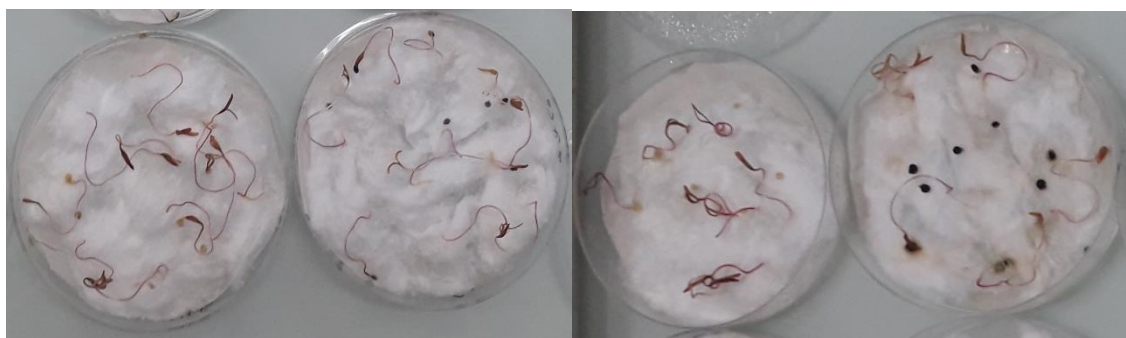


Figure 4. 1. Différents stades de germination des graines des différentes variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa Wild.*) étudiées.

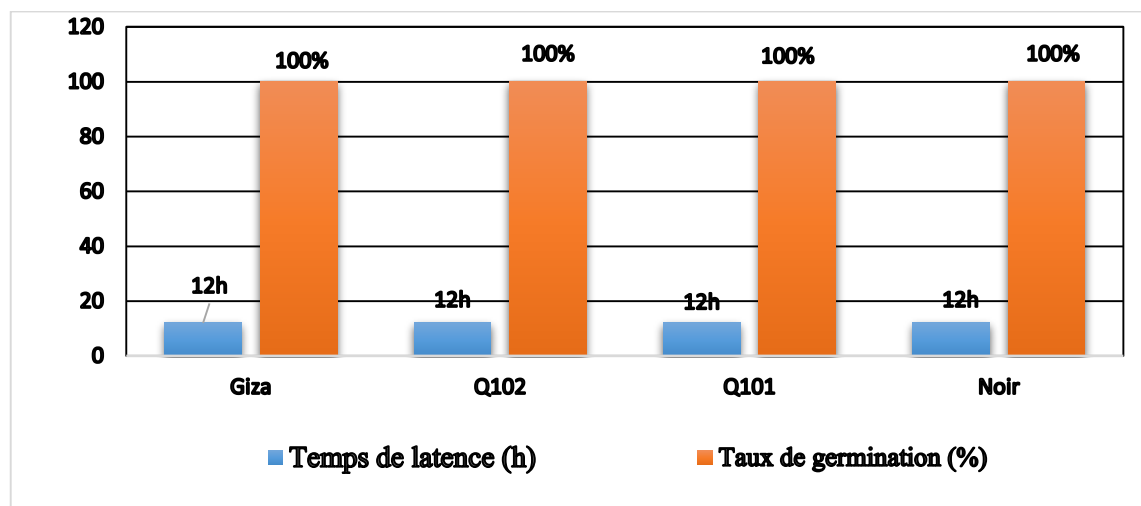


Figure 4. 2 : Temps de latence et taux de germination des différentes variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa Wild.*)

Les graines sont donc viables puisque la germination est l'un des critères de la viabilité des semences (**Bojjoli, 2009**).

Discussion

La production végétale et l'établissement de bonnes cultures agricoles dépendent étroitement de la germination des graines qui est une étape cruciale dans le cycle de vie des végétaux supérieurs (**Cheng et Bradford, 1999**).

Les tests de germination peuvent être réalisés à différents moments : soit directement après la récolte des semences, soit en cours de conservation, soit juste avant la période des semis. Il ne faut pas oublier que la graine est un être vivant qui suit des cycles biologiques selon son milieu d'origine. Certaines semences germent à tout moment, d'autres ont besoin d'une période de dormance.

Des différents mécanismes physiologiques qui entrent en jeu dans le processus de germination, c'est la phase de germination stricto sensu qui est la plus importante car elle conditionne la croissance ultérieure. Lors des tests de germination, il est néanmoins difficile de savoir à quel moment cette phase est terminée. **Jordan et Haferkamp (1989)** considèrent, par exemple, que la semence a germé lorsque la radicule fait au moins 1 mm de long.

Le quinoa est très sensible aux conditions défavorables pendant la phase de germination, en raison de la petite taille de ses graines (**Jacobsen et al., 1994 ; Sigstad et Prado, 1999**). Des problèmes de germination ont ainsi été observés autant en conditions andines qu'en conditions européennes. Le problème vient également fréquemment de la qualité des graines, beaucoup présentant une capacité germinative très faible.

Les études microcalorimétriques de **Sigstad et Prado (1999)** ont déterminé une température optimale de germination du quinoa de 25°C. Des différences de taux de germination entre cultivars à cette température ont été mises en évidence. Le zéro de germination a été déterminé entre des températures de -0.7°C (**Bois et al., 2006**) et +3°C (**Jacobsen, 1998**). A 20°C le taux de germination moyen est de 99% (**Jacobsen et al., 1999**).

D'après la présente étude, nous constatons que la germination est meilleure (100%) est obtenu pour une durée d'environ 12h, plus rapide et homogène chez les différentes variétés du quinoa étudiées. Ce meilleur pourcentage de germination pourrait s'expliquer, par le fait que les semences des différentes variétés du quinoa étudiées sont toutes dans le même état physiologique donc elles germeront en même temps.

4.2. Deuxième Partie : Caractérisation phénotypique de quelques variétés du quinoa (*Chenopodium quinoa Wild.*) cultivée dans la région de M'sila

4.2.1. 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**).

Le tableau 4.1 donne une estimation de la variabilité représentée par chaque axe. Trois axes ayant une valeur propre supérieure à 1 ont été obtenus, permettant d'expliquer 100 % de la variance présente dans les variables. Ces trois axes seront utilisés pour décrire la variabilité totale des accessions, soit 100 % de la variance. Le premier axe exprime un important pourcentage de variation (72,796 %). Cette composante se définit du côté positive par couleur du cœur de racine par rapport à la couleur du cortex (RCDCPRALCDC), teneur en saponine (GTS), forte glaucescence de feuillage (FG), taille de feuille (FT), époque de floraison (EDF), époque de maturité du panicule (PEDM), et du côté négative par poids de 1000 graines (PD1000G) et la couleur du feuillage (FC) (**Tableau 4.1 et 4.2**).

La deuxième composante décrit 19,493 % de la variation. Elle se définit du côté positive par dentelure de feuille (FD) (**Tableau 4.1 et 4.2**).

Un caractère contribue significativement à la formation de la composante 3 : Plante la hauteur de la plante (PT). Cette composante rassemble 7,712 % de la variabilité totale et apporte une information complémentaire à l'axe 1 (**Tableau 4.1 et 4.2**).

Tableau 4.1 : Valeurs propres et pourcentage de variation exprimée par les trois premiers axes à partir de 10 caractères analysés chez quatre variétés de quinoa

	F1	F2	F3
Valeur propre	5,824	1,559	0,617
Variabilité (%)	72,796	19,493	7,712
Cumulative %	72,796	92,288	100,000

Tableau 4.2 : Corrélation des variables avec les composantes

Paramètres	Code	F1	F2	F3
Graine : teneur en saponine	GTS	0,000*	0,000	0,000
Feuillage : glaucescence	FG	0,979*	0,175	-0,105
Feuille : taille	FT	0,979*	0,175	-0,105
Feuille : dentelure	FD	0,416	0,901*	-0,121
Époque de floraison	EDF	0,964*	-0,260	-0,063
Plante : hauteur	PT	0,638	0,176	0,749*
Panicule : Époque de maturité	PEDM	0,964*	-0,260	-0,063
poids de 1000 graines	PD1000G	-0,979*	-0,175	0,105
Racine : couleur du cœur par rapport à la couleur du cortex	RCDCPRALCDC	0,000*	0,000	0,000
Feuillage : couleur	FC	-0,715*	0,699	-0,001

4.2.1.1. Représentations des variables et des individus

La figure 4.3 présente la projection des variétés sur le plan formé par les axes 1 et 2 en fonction de leur contribution. L'examen de la figure permet de distinguer 3 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 groupe **I** (GI) comprend la variété **Q101**, dont la plante est caractérisée par : forte glaucescence du feuillage (FG), taille de feuille moyenne (FT), époque de floraison tardive (EDF), époque de maturité de la panicule tardive (PEDM)

(Figure 4.3; 4.4 ; 4.5 ; 4.6 et 4.7) et le groupe II (GII) comprend les variétés : **Giza et Q noire**, caractérisés par : poids de 1000 graines très élevé (PD1000G) et couleur du feuillage vert foncé (FC) (Figure 4.3; 4.4 ; 4.5 ; 4.6 et 4.7).

L'axe 2 est composé de **Q102 (GIII)**. La plante est caractérisée par une forte dentelure au niveau de feuille (Figure 4.3 ; 4.4 ; 4.5 ; 4.6 et 4.7).

Au total, sur les 10 variables analysées, 08 descripteurs ont contribué essentiellement à la révélation de la variabilité totale.

En vue d'avoir une vision globale, nous sommes passés à une autre analyse synthétique pour discerner les différents génotypes pour toutes les variables retenues.

Pour mieux apprécier la diversité morphologique des quatre variétés de quinoa étudiées, nous avons procédé à une Classification Ascendante Hiérarchique sur la base de tous les variables étudiée précédemment (10 descripteurs).

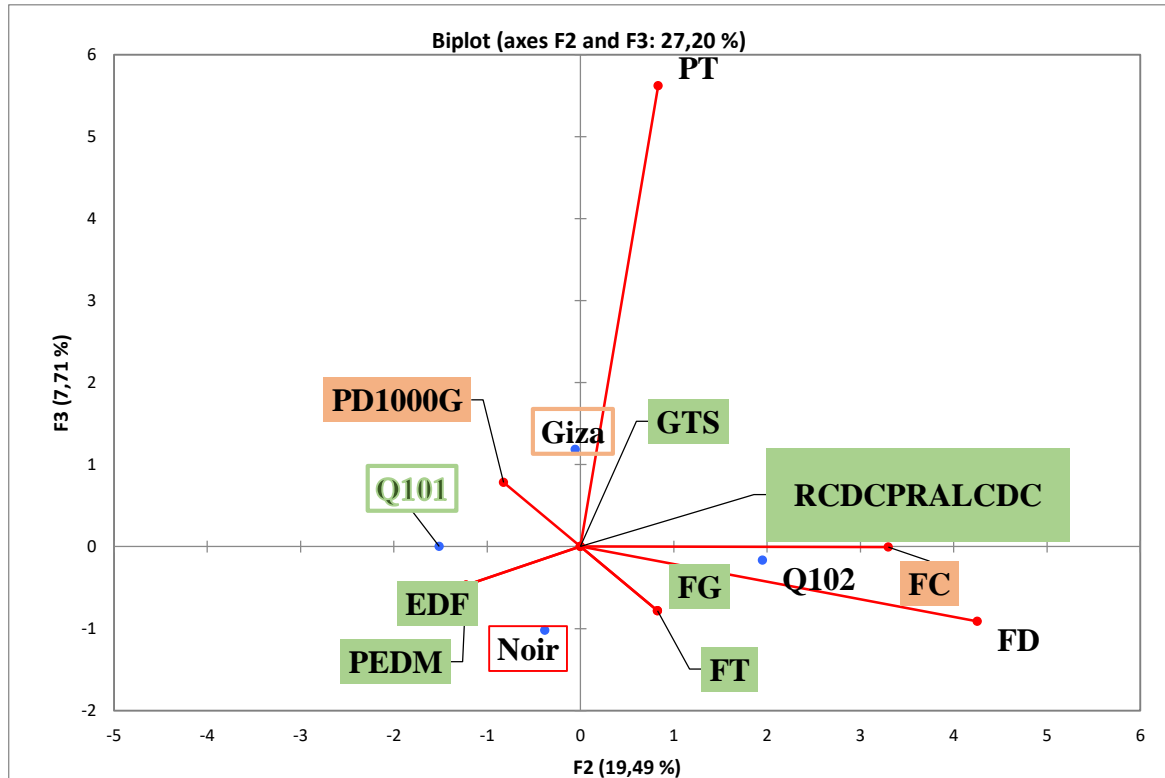


Figure 4.3. : Distribution des variables et des variétés de quinoa dans le plan 1-2 révélée à partir de l'ACP.

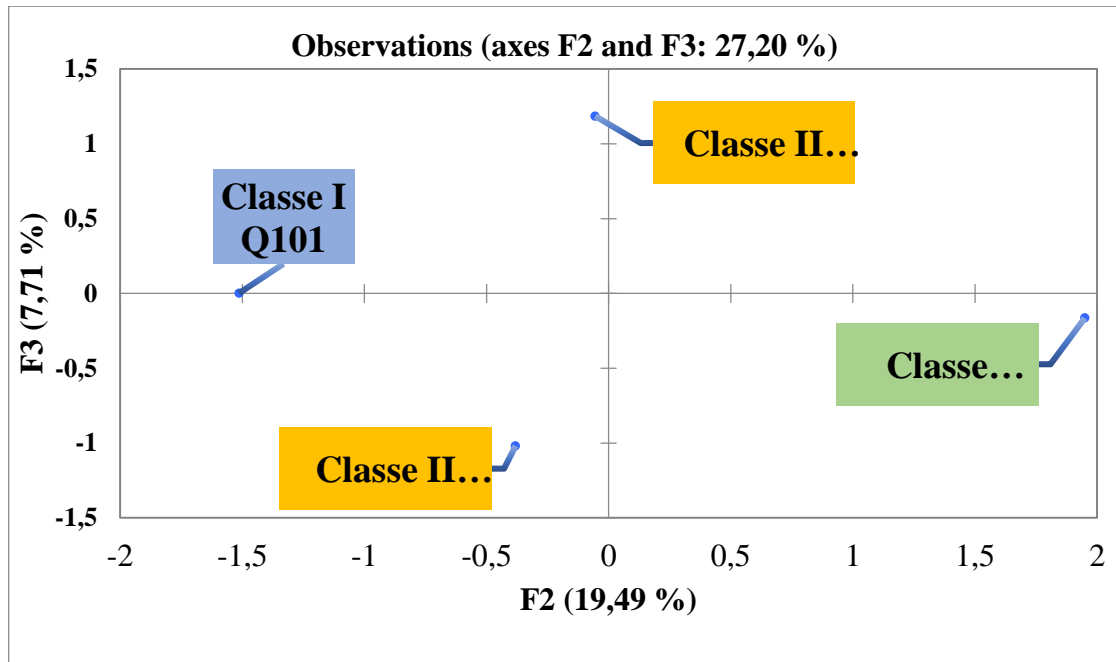


Figure 4.4 : Répartition des 4 variétés de quinoa dans le plan 1-2 de l'ACP

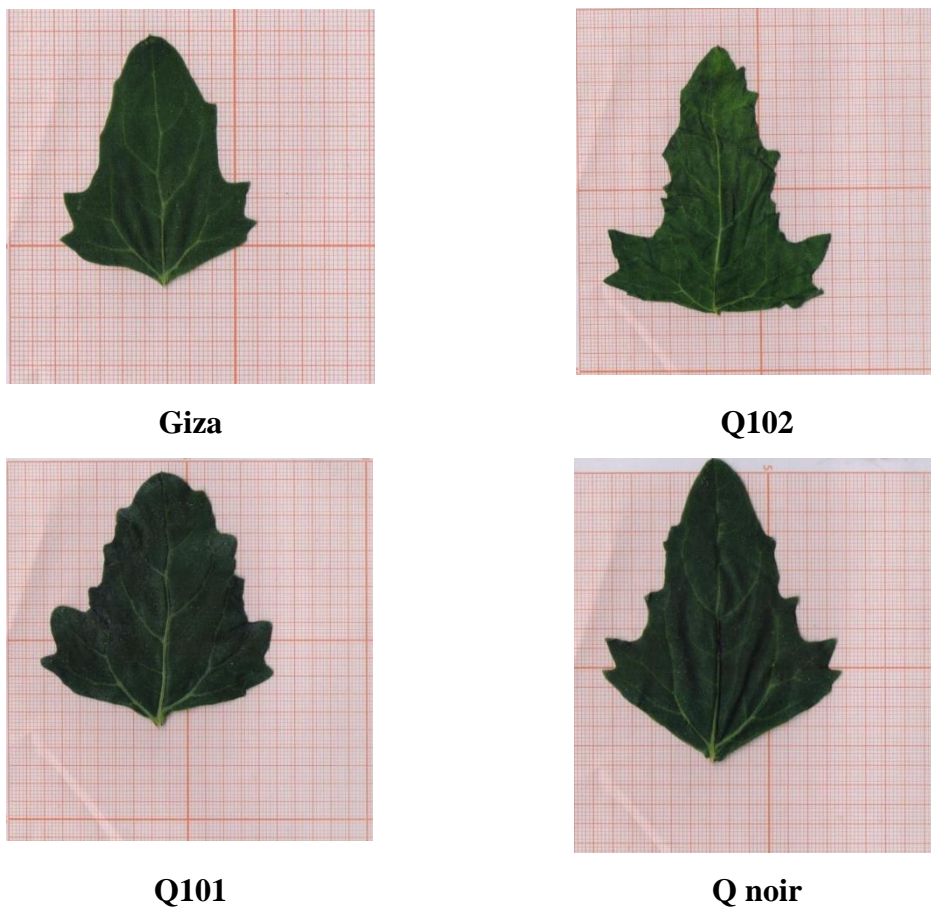


Figure 4.5 : Feuillage : couleur (FC), Feuille : taille (FT), Feuille : dentelure (FD),

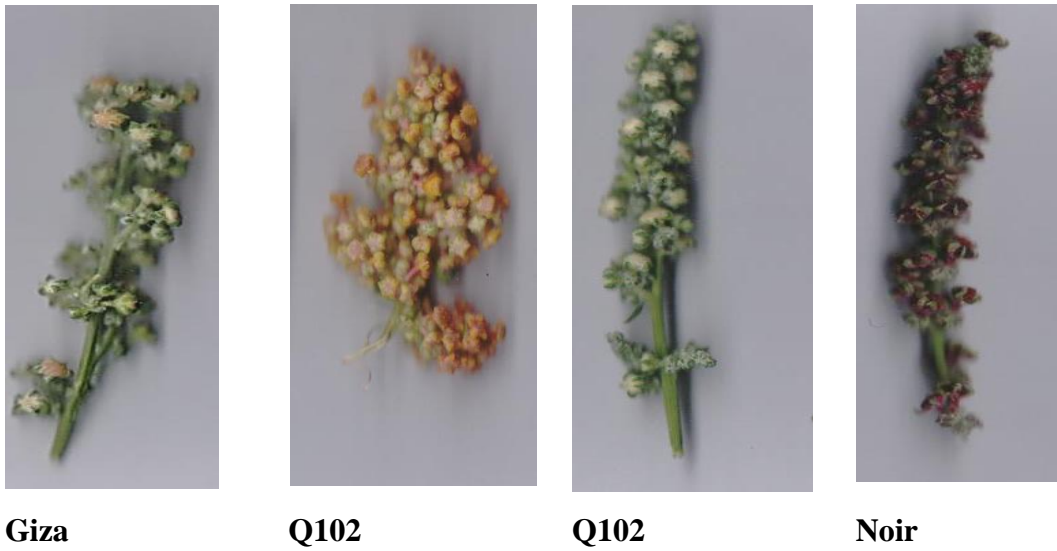


Figure 4.6 : Panicule : époque de maturité (PEDM)

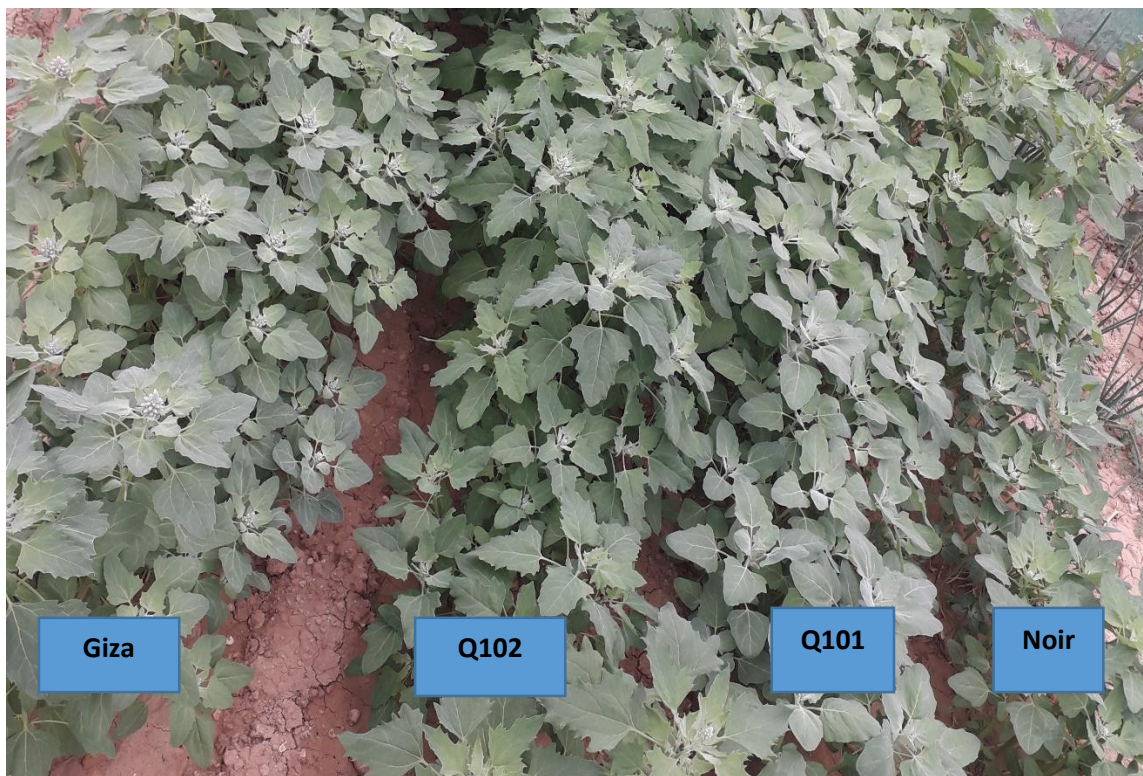


Figure 4.7 : Aspect morphologique des différentes variétés du Quinoa étudiées

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

Le traitement des données par l'ACP nous a fourni la matrice des coefficients de corrélation entre les différents caractères morphologiques (**Tableau 4.3**). L'analyse de cette matrice montre une forte corrélation positive entre plusieurs couples de variables. Taille de feuille (FT) est corrélée à la glaucescence de feuillage (FG) et l'époque de maturité de panicule PEDM est corrélée à l'époque de floraison (EDF) ($r^2 = 1$) (**Tableau 4.3**).

4.2.2. Analyse de la diversité par la classification Hiérarchique Ascendante

Le dendrogramme obtenu par la méthode UPGMA (Unweighted Pair-Group Method with arithmétique Average) montre une nette séparation des variétés et structure la diversité en deux classes (**Figure 4.8**).

La première classe comprend deux variétés « **Giza** et **noire** », caractérisée par poids de 1000 graines (PD1000G) très élevé et couleur du feuillage (FC) vert foncé (**Figure 4.8**).

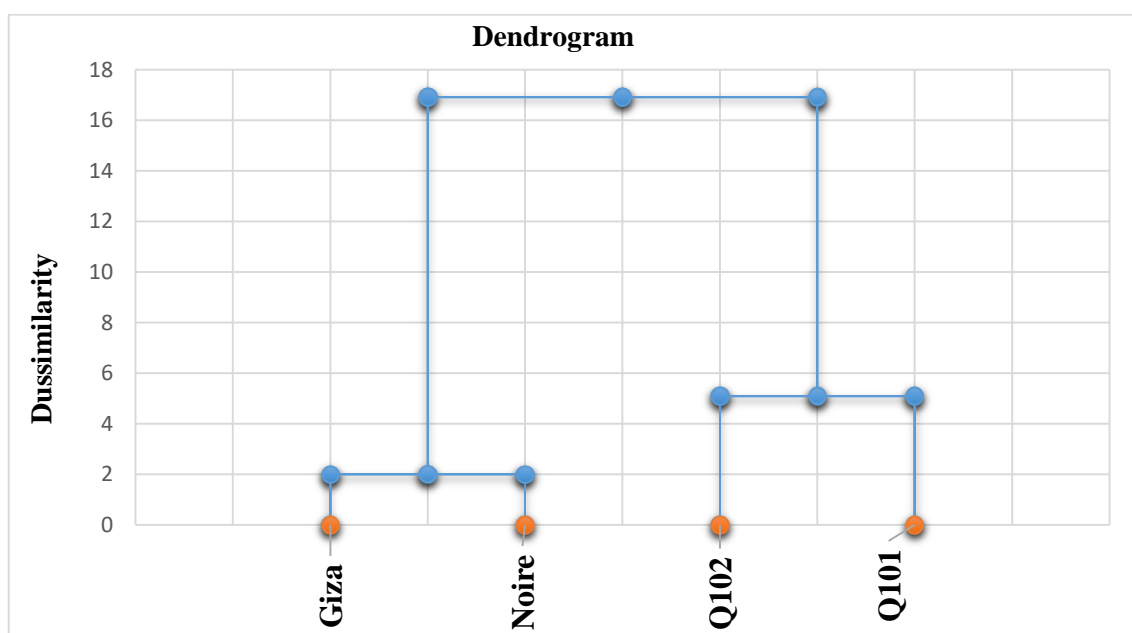


Figure 4.8 : Classification hiérarchique des différentes variétés de quinoa (CAH)

La seconde classe regroupe deux (2) variétés **Q101** et **Q102**. Ces deux variétés sont caractérisées par couleur du cœur de racine plus claire par rapport à la couleur du cortex (RCDCPRALCDC), teneur moyenne en saponine (GTS), forte glaucescence de feuillage (FG), taille de feuille moyenne (FT), époque de floraison (EDF) et époque de maturité (PEDM) moyenne chez Q102 et tardive chez Q101(**Figure 4.8**).

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

Paramètres	Code	GTS	FG	FT	FD	EDF	PT	PEDM	PD1000 G	RCDP RALCD C	FC
Graine : teneur en saponine	GTS	1									
Feuillage : glaucescence	FG	-0,905	1								
Feuille : taille	FT	0,522	1,000***	1							
Feuille : dentelure	FD	0,174	0,577	0,577	1						
Époque de floraison	EDF	0,333	0,905	0,905	0,174	1					
Plante : hauteur	PT	-0,577	0,577	0,577	0,333	0,522	1				
Panicule : Époque de maturité	PEDM	-0,870	0,905	0,905	0,174	1,00***	0,522	1			
poinds de 1000 graines	PD1000G	0,577	- 1,000***	- 1,000***	-0,577	-0,905	-0,577	-0,905	1		
Racine : couleur du cœur par rapport à la couleur du cortex	RDCPR ALCDC	-0,870	-0,577	0,174	-0,905	-0,870	-0,333	-0,870	0,577	1	
Feuillage : couleur	FC	0,333	-0,870	-0,577	0,333	0,905	-0,577	-0,333	0,577	-0,905	1

***= forte corrélation positive

Discussion

La caractérisation phénotypique est une des étapes importantes dans la description et la classification du germoplasme des plantes cultivées (**Manzano et al., 2001 ; Hadjkouider et al., 2017 ; Lallouche et al., 2020**). En effet, tout programme d'amélioration s'appuie nécessairement sur la diversité morpho-phenologique (**Smith et al., 1991**). Elle permet de mettre à la disposition des sélectionneurs des informations capitales, nécessaires pour leurs travaux de sélection et d'amélioration (**Fraleigh, 1987**). Dans ce contexte quatre (4) variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa Wild.*) semis dans la station expérimentale au département d'agronomie de l'université de M'sila a été étudiée en utilisant dix (10) paramètres morphologiques.

L'analyse de la diversité génétique de quatre (4) variétés de quinoa à l'aide de descripteurs morphologiques rapportant aux plantes, feuilles, panicule et graines sa permis d'apprécier la diversité génétique intra-spécifique, d'estimer les distances morphologiques et de dresser un dendrogramme des relations phylogéniques révélées entre ces différentes variétés de quinoa. Cette variabilité phénotypique a été structurée en deux groupes qui se différencient par huit (08) descripteurs.

L'analyse discriminante à montrer que les paramètres des feuilles, et de panicule contribuent à discriminer les variétés. Ces descripteurs sont donc les plus discriminant pour l'explication de la variabilité. Poids de 1000 graines (PD1000G), couleur du feuillage (FC), couleur du cœur par rapport à la couleur du cortex (RCDCPRALCDC), teneur en saponine (GTS), glaucescence de feuillage (FG), taille de feuille (FT), époque de floraison (EDF), ainsi que l'époque de maturité (PEDM) sont des variables qui ont servis à décrire la variabilité des variétés du quinoa en Algérie. La structuration de la variabilité morphologique observée pourrait résulter de la sélection phénotypique paysanne qui prend en compte principalement les caractéristiques de la feuille et de la panicule. Chaque année, les agriculteurs choisissent pour reconduire leur culture les graines issues des plantes les plus beaux et les plus grosses. Cette sélection phénotypique à favoriser une classification des variétés en plusieurs groupes mis en évidence dans la présente étude.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

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

CONCLUSION

La germination est le phénomène par lequel l'embryon contenu dans la graine reprend vie et se développe grâce aux réserves de la graine. Ce passage met en jeu des mécanismes physiologiques complexes aboutissant à l'émergence de la radicule. Ce stade de développement est considéré comme une étape critique dans l'établissement des semis et ainsi la détermination d'une production agricole réussie. Les résultats de cette étude montrent que toutes les variétés du quinoa étudiées ont un fort taux de germination (100%) et un court temps de latence qui est environ 12h.

Les résultats préliminaires sur la variabilité et la structuration phénotypique du quinoa cultivé en Algérie montrent clairement que les variétés testées présentent une variation pour l'ensemble des caractères utilisés, en particulier ceux liés aux feuilles et aux panicules. Cette variabilité a été structurée en deux groupes par la classification ascendante hiérarchique. Chaque groupe constitue une source potentielle de caractères intéressants pour l'amélioration du quinoa. Il est important d'associer aux caractères phénotypiques des techniques d'amélioration moderne « technique de biologie moléculaires » telles que les microsatellites qui permettront de mieux caractériser les variétés à l'intérieur des groupes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Adolf, V. I., Jacobsen, S. E., & Shabala, S. (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, 92, 43-54.

Alegria, S., Espindola, G., & Jacobsen, S. E. (1999). Fertilización nitrogenada de la quinoa en dos épocas y dos espaciamientos de siembra en el Altiplano. *Primer curso internacional sobre fisiología de la resistencia a sequía en quinua*.

Auza Camacho, J. I. (2003). *Curvas de crecimiento de quinua (Chenopodium quinoa Willd) y avena (Avena sativa) condiciones diferenciadas de alimentaci= n hfdrica y nutrici= n nitrogeada en la Estaci= n Experimental de Choquenaira* (No. CIDAB-T-SB191. Q2-A81c). Universidad Mayor de San AndrTs, La Paz (Bolivia). Facultad de Agronomfa..

Baize, D. (1988). A guide to standard pedological analyses. *A guide to standard pedological analyses*.

Bastidas, E. G., Roura, R., Rizzolo, D. A. D., Massanés, T., & Gomis, R. (2016). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), from nutritional value to potential health benefits: An integrative review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 2016, vol. 6, num. 3.

Bazile, D. (2015). *Le quinoa, les enjeux d'une conquête*. Editions Quae.

Bazile, D., & Baudron, F. (2015). The dynamics of the global expansion of quinoa growing in view of its high biodiversity.

Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2006). *Chenopodium quinoa*—an Indian perspective. *Industrial crops and products*, 23(1), 73-87.

Boijoli, C. (2009). Critères de qualité d'une semence. *Agriculture tropical*.

Bois J.F., Winkel T., Lhomme J.P., Raffailac J.P., Rocheteau A., 2006. Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy*. 25:299-308.

Bois, J. F., Winkel, T., Lhomme, J. P., Raffailac, J. P., & Rocheteau, A. (2006). Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy*, 25(4), 299-308.

Bonifacio, A., Mujica, A., Alvarez, A., & Roca, W. (2001). Mejoramiento genético, germoplasma y producción de semilla. *FAO, Quinoa*.

Bosque Sanchez, H., Lemeur, R., Van Damme, P., Jacobsen, S.E., 2003. Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Rev. Int.* 19, 111–119.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cardozo, A., Gandarillas, S. A., & Tapia, M. (1979). *La Quinoa y la Kañiwa, Cultivos Andinos* (No. CD-IBTA-: SB191. Q2-T3q). Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID).
- Catacora Ccama, P., & Canahua Murillo, A. (1992). *Avances de investigación sobre la tecnología de waru waru Producción de quinoa (Chenopodium quinoa Wild) y cañihua (Chenopodium pillidicaule) en el agrosistema de camellones* (No. P36 P7a). Programa Interinstitucional de Waru Waru, Lima (Peru); Cooperación Técnica del Gobierno Suizo, Lima (Peru).
- Catacora, G. A. (1977). *Determinación del cariotipo de 05 líneas de quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)* (Doctoral dissertation, Thesis: Universidad Nacional del Altiplano, Puno (Perú)).
- Cheng, Z., & Bradford, K. J. (1999). Hydrothermal time analysis of tomato seed germination responses to priming treatments. *Journal of Experimental Botany*, 50(330), 89-99.
- Christensen, S. A., Pratt, D. B., Pratt, C., Nelson, P. T., Stevens, M. R., Jellen, E. N., ... & Maughan, P. J. (2007). Assessment of genetic diversity in the USDA and CIP-FAO international nursery collections of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) using microsatellite markers. *Plant Genetic Resources*, 5(2), 82-95.
- Côme, D. (1970). Obstacles to germination. *Obstacles to germination.*, (6).
- Cronquist, A., & Takhtadzhian, A. L. (1981). *An integrated system of classification of flowering plants*. Columbia university press.
- Danielsen, S., Bonifacio, A., & Ames, T. (2003). Diseases of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Reviews International*, 19(1-2), 43-59.
- Del Castillo, C., Mahy, G., & Winkel, T. (2008). La quinoa en Bolivia: une culture ancestrale devenue culture de rente" bio-équitable". *BASE*.
- Espindola, G. (1992). Proyecto de fortalecimiento y modernización. IBTA-BM. *Informe anual 1992. Programa quinoa*, 37-42.
- FAO, 2011: Quinoa: An ancient crop to contribute to world food security. 55 pages.
- Felix, D. (2004). Diagnostic agraire de la Province Daniel campos, Bolivie. Le développement de la filière quinoa et ses conséquences sur l'équilibre du système agraire des Aymaras de la marca Llica-Tahua. *Agronomie tropicale. Montpellier, CNEARC-ENSAM. Ingénieur agronome*, 113.
- Fraleigh, B. (1987). Importance des banques de ressources phytogénétiques. *Amélioration et protection des plantes vivrières tropicales*, (Eds) Saint Pierre CA., Demaly Y., AUPELF-UREF, Québec, Canada, 13-18.
- Fuentes, F. F., Bazile, D., Bhargava, A., & Martinez, E. A. (2012). Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. *The Journal of Agricultural Science*, 150(6), 702-716.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Gallardo, M., Jackson, L. E., Schulbach, K., Snyder, R. L., Thompson, R. B., & Wyland, L. J. (1996). Production and water use in lettuces under variable water supply. *Irrigation Science*, 16(3), 125-137.
- Galwey, N. W., Leakey, C. L. A., Price, K. R., & Fenwick, G. R. (1990). Chemical composition and nutritional characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food sciences and nutrition*, 42(4), 245-261.
- Gandarillas, H. (1979a). Genética y origen. *Quinoa y Kañiwa, cultivos andinos. Bogota, Colombia, CIID, Oficina Regional para América Latina*, 45-64.
- Gandarillas, H. (1979b). Genética y origen. *Quinoa y Kañiwa, cultivos andinos. Bogota, Colombia, CIID, Oficina Regional para América Latina*, 45-64.
- Gandarillas, H. (1984). Obtención experimental de *Chenopodium quinoa* Willd. *MACA IBTA. La Paz, Bolivia*.
- GIUSTI, L. (1970). El género *Chenopodium* en Argentina: I. Números de cromosomas. *Darwiniana*, 98-105.
- Hadjkouider, B., Boutekrabt, A., Lallouche, B., Lamine, S., & Zoghalmi, N. (2017). Polymorphism analysis in some Algerian *Opuntia* species using morphological and phenological UPOV descriptors. *Botanical Sciences*, 95(3), 391-400.
- Herbillon, M. (2015). Le quinoa: intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques.
- Herencia, L. I., Alía, M., González, J. A., & Urbano, P. (1999). Cultivo de la quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) en la región Centro. *Vida Rural (España) 15 Mayo*, 28-33.
- Hunziker, A. T. (1943). Las especies alimenticias de *Amaranthus* y *Chenopodium* cultivadas por los indios de América. *Revista Argentina de Agronomía t. 10, no. 4*.
- ITLEV, (2015). Compte rendu de la journée de démonstration sur le Quinoa Biskra, Le 16 décembre 2015) *Chenopodium quinoa* Willd.)
- Izquierdo Fernández, J. I. (2001). Cultivos andinos, Version 1.0.[CD-ROM]. Santiago: FAO.
- Jacobsen S.E., 1998. The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Seed Sci. & Technol.* 26:515-523.
- Jacobsen S.E., 1999. Effect of harvest time, drying technique, temperature and light on the germination of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Seed Sci. & Technol.* 27:937-944.
- Jacobsen S.E., Jørgensen I., Stølen O. 1994. Cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under temperate climatic conditions in Denmark. *Journal of Agricultural Science.* 122:47-52.
- Jacobsen, S. E., & 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.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Jancurová, M., Minarovičová, L., & Dandar, A. (2009). Quinoa—a review. *Czech Journal of Food Sciences*, 27(2), 71-79.
- Jordon, G. L., & Haferkamp, M. R. (1989). Temperature responses and calculated heat units for germination of several range grasses and shrubs. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 42(1), 41-45.
- Laguna, P. (2002). Competitividad, externalidades e internalidades: un reto para las organizaciones económicas campesinas. *Debate agrario*, (34), 95.
- Lallouche, B., Hadjkouider, B., Belouadah, A., Ben Madani, R., & Boutekrabt A. (2020). Phenotypic characterization of some lettuce cultivars (*lactuca sativa* L.) cultivated in algeria. *Revue Agrobiologia*, 10 (1), 1787-96
- Lebonvallet, S. (2008). Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l’altiplano bolivien. *Agro Paris Tech, Paris & INRA, Avignon, France*.
- Lefort-Buson, M., & Damerval, C. (1988). Les outils d'évaluation de la diversité génétique et phénotypique. *Agronomie*, 8(3), 173-178.
- Manzano, A. R., Nodals, A. A. R., Gutiérrez, M. I. R., Mayor, Z. F., & Alfonso, L. C. (2001). Morphological and isoenzyme variability of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) germplasm in Cuba. *Plant genetic resources newsletter*, 31-40.
- Maradini Filho, A.M., M.R. Pirozi, J.T. Da Silva Borges, H.M. Pinheiro Sant'Ana, J.B. Paes Chaves, and J.S. Dos Reis Coimbra. 2015. Quinoa: nutritional, functional and antinutritional aspects. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 57:1618–1630
- Martínez, E. A., Veas, E., Jorquera, C., San Martín, R., & Jara, P. (2009). Re-introduction of quinoa into Arid Chile: Cultivation of two lowland races under extremely low irrigation. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(1), 1-10.
- Mujica A., Izquierdo J., Marathee J.P. (2001). Origen y descripción de la quinua. In : Mujica A., Jacobsen S. E., Izquierdo J., Marathee J. P. y FAO, editors. *Quinua (Chenopodium quinoa Willd.): ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*. CIP, UNAP. FAO, CD Cultivos Andinos, version 1.0. Santiago, Chile
- Mujica A., 1979. Practicas agronómicas. In: Tapia M.E. et al., eds. *La Quinua y la Kañiwa cultivos andinos*. Bogota: CIID-IICA, 91-92.
- Mujica, A. (2001). Resultados de la Prueba Americana y Europea de la Quinua. In ‘Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro’.(Eds A Mujica, SE Jacobsen, J Izquierdo, JP Marathee) p. 51.
- O.N.M. M’sila
- Oelke, E. A., Putnam, D. H., Teynor, T. M., & 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*.)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Pacheco, A., & Morlon, P. (1978). *Los sistemas radiculares de las plantas de interés económico en el Altiplano de Perú*. Mimeo. Puno, Perú.
- Pernès, J. (1984). *Gestion des ressources genetiques des plantes*; v. 1: monographies.-v. 2: manuel.
- Pinto Porcel, M. V. (2002). Analysis of genetic variability of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germ plasm around Lake Titicaca.
- Quispe, J. I., Fernandez, C., & Cortes, G. (1976). Contribucion al estudio morfologico del grano de quinua. In *Segunda Convencion Internacional de Quenopodidceas, Potosi, Bolivia*.
- Risi C, J., & Galwey, N. W. (1984). Chenopodium grains of the Andes: Inca crops for modern agriculture. *Advances in applied biology*.
- Rojas, W. (1998). *Análisis de la diversidad genética del germoplasma de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) de Bolivia, mediante métodos multivariados* (Doctoral dissertation, Thesis: Escuela de Graduados, Universidad Austral de Chile, Valdivia (Chile)).
- Schlick G, Bubenheim DL (1996). Quinoa: Candidate crop for NASA's Controlled Ecological Life Support Systems, p 632- 640. In: Janick J (Ed.). *Progress in New Crops*, ASHS Press: Arlington, USA.
- Sigstad E.E., Prado F.E., 1999. A microcalorimetric study of *Chenopodium quinoa* Willd. seed germination. *Thermochimica Acta*. 326:159-164.
- Smith, S. E., Al-Doss, A., & Warburton, M. (1991). Morphological and agronomic variation in North African and Arabian alfalfas. *Crop Science*, 31(5), 1159-1163.
- Souci, S. W., Fachmann, W., Scherz, H., Kraut, H., & Senser, F. (2000). *Composition Des Aliments, Tableaux Des Valeurs Nutritives*. Medpharm.
- Tapia, M. (2000). Capitulo III: Agronomia de los cultivos andinos. Granos andinos: quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) En: *Cultivos andinos subexplotados su aporte a la alimentación*. C. Moron (Ed). Cultivos andinos 1.0/FAO.
- Tapia, M., Canahua, A., & Ignacio, S. (2014). Las Razas de Quinuas en el Perú. *Asociación Nacional de Productos Ecológicos (Anpe) y Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Concytec)*.
- Valencia-Chamorro, S. A. (2003). Quinoa. In *Encyclopedia of Food Science and Nutrition*.
- Valencia-Chamorro, S. A. (2004). Quinoa. In *Encyclopedia of Grain Science*.
- Wilson, H. D. (1976). Genetic control and distribution of leucine aminopeptidase in the cultivated chenopods (*Chenopodium*) and related weed taxa. *Biochemical genetics*, 14(11-12), 913-919.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Wilson, H. D. (1988). Quinoa biosystematics I: Domesticated populations. *Economic Botany*, 42(4), 461-477.

Wilson, H. D. (1990). Quinoa and relatives (Chenopodium sect. Chenopodium subsect. Celluloid). *Economic Botany*, 44(3), 92-110.

Wood, D., & Lenné, J. M. (1999). *Why agrobiodiversity?* (pp. 1-13). CABI Publishing.

ANNEXE

Tableau 1 : Analyse de variance « taux de germination)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2,667	11	0,242				
VAR.FACTEUR 1	0	3	0	0	0,99		
VAR.RESIDUELLE 1	2,667	8	0,333			0,577	0,58%