



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de Recherche Scientifique

Université des frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de biologie végétale

جامعة الإخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم البيولوجيا النباتية

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master

Domaine : science de la nature et la vie

Filière : Science biologique

Spécialité : Biodiversité et physiologie végétale

Intitulé :

La culture de quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild) dans la Wilaya de Constantine

Présenté et soutenu par:

LEDRA Ahmed Dia Eddine

Le : 10/09/2020

Jury d'évaluation:

-Président : Dr CHOUGUI	Saida	Prof .Université Constantine 1
-Encadrant : Dr BOUCHARB	Radia	MCA. Université Constantine 1
-Examineurs : Dr MOUELLEF	Adra	MCB .Université Constantine 1

Année universitaire : 2019_2020

Dédicaces

C'est avec une grande émotion, Je dédie ce modeste travail de fin d'étude aux êtres les plus chères :

Mon père et ma mère qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui et qui ont veillé à guider mes pas durant toute ma vie par leurs aides, leur grande émotion et leur sacrifice.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé.

A toute Ma famille, Et mes amis.

Ledra Ahmed Dia Eddine

Remerciements

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

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

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

Nous tenons à remercier aussi l'ensemble des enseignants et responsables du département de biologie végétale, qui ont contribué à mener à bien notre formation par leur aide et leurs conseils.

Enfin, nous tenons également à remercier tous nos enseignants de l'université Frères Mentouri Constantine 1.

Liste des Abréviations

FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
ITDAS	Institut technique pour le développement agricole de la saharienne
INRAA	Institut national de recherche agronomique d'Algérie
ITGC	Institut Technique des Grandes Cultures
INRF	Institut national de recherche forestière
USDA	United States Department of Agriculture
Qx	Quintaux
µg	Micro Gramme
µm	Micro Mètre
°C	Dégréé Celsius

Liste des figures

N°	titre	page
1	Distribution géographique de la culture traditionnelle du quinoa en Amérique du Sud (la densité de gris reflète l'importance relative de la culture)	4
2	Système racinaire de quinoa	7
3	Forme des feuilles	8
4	L'inflorescence des quinoas	9
5	Les formes d'inflorescences du quinoa	9
6	Fleurs hermaphrodites et femelles du quinoa	10
7	Vue ventrale du fruit du quinoa au microscope électronique de balayage	11
8	Structure interne de la graine (Section médiane longitudinale)	11
9	Structure du squalène	22
10	Structure des principaux phytostérols	22
11	Structure des principaux acides phénoliques	25
12	Structure des principaux flavonoïdes	26
13	Luténine et zéaxanthine	27
14	Structure des principales bétacyanines	28
15	Différentes variétés de quinoa	30
16	Production de quinoa dans les sols salins	32
17	Quelques facteurs abiotiques et biotiques affectant la culture de quinoa dans l'altiplano.	32
18	Carte géographique de la zone El khroub.	36

19	Les étapes d'extraction des protéines.	40
20	La migration des protéines sur le gel polyacrylamide.	42
21	La coloration de gel avec le bleu de Coomasse	43
22	Les caractères phénologiques des génotypes de <i>chenopodium quinoa</i>	44
23	La hauteur de la plante	45
24	Le profile électro phorétique	47

Liste des tableaux

N°	titre	page
01	Les stades phrénologiques de quinoa	12
02	Comparaison de la composition en acides aminés et de la teneur en protéines de la graine de quinoa avec d'autres céréales et légumineuses (mg/100g).	16
03	Composition lipidique dans la graine de quinoa (en %).	18
04	Comparaison de la composition en acides gras de la fraction lipidique des graines de quinoa, du blé et du maïs (g/100g).	19
05	Comparaison de la teneur moyenne en minéraux du quinoa avec d'autres céréales (mg/100g).	20
06	Comparaison de la teneur en vitamines de la graine de quinoa avec d'autres céréales (µg/g).	21
07	Teneur en squalène et phytostérols dans les graines de quinoa et comparaison avec d'autres céréales et légumineuses (mg/100g)	23
08	Teneur moyenne en acides phénoliques dans les graines de quinoa (mg/100g)	25
09	Teneur moyenne en flavonoïdes dans les graines de quinoa (mg/100g)	26
10	Comparaison des teneurs totales en caroténoïdes et en caroténoïdes prédominants dans les graines de quinoa et dans une sélection de céréales (µg/g)	28
11	Caractéristiques des variétés utilisées dans l'essai	34
12	Données climatiques à Constantine	37
13	Observation de quelques caractères morphologiques de la plante.	46

Table des matières

Dédicace	
Remerciements	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	
Partie 1: Bibliographie	
1. Histoire et origine du quinoa	03
2. Distribution géographique	03
3. Importance de la culture du Quinoa	04
3.1. Dans le monde	04
3.2. En Algérie	04
4. Classification des quinoas	05
4.1. Classification scientifique	05
4.1.1. Classification botanique de Cronquist (1981)	05
4.1.2. Classification APG III (2009)	06
4.2. Classification morphologique	06

5. Description botanique	06
5.1. Appareil végétative	07
5.1.1. Racines	07
5.1.2. Tige	07
5.1.3. Ramifications	07
5.1.4. Feuilles	08
5.2. Appareil reproductive	08
5.2.1. Inflorescence	08
5.2.2. Fleurs	09
5.2.3. Fruits et graines	10
A. Fruits	10
B. Graines	11
6. Cycle de vie	12
7. Composition nutritionnelle	14
7.1. Organe de Métabolisme primaire	15
7.1.1. Protéines	15
A. Protéines de stockage	15
B. Acides aminés	15
7.1.2. Glucides	16

A. Amidon	16
B. Fibres alimentaires	17
C. Sucres simples	17
7.1.3. Lipides et composés lipidiques	17
7.1.4. Minéraux	20
7.1.5. Vitamines	20
7.2. Organe de Métabolisme secondaire	21
7.2.1. Terpènes	21
7.2.2. Saponines	23
7.2.3. Composés phénoliques	24
A. Acides phénoliques	24
B. Flavonoïdes	26
C. Tanins	26
7.2.4. Pigments	27
A. Caroténoïdes	27
B. Bétacyanines	28
8. Variétés du quinoa	29
9. Utilisations	30
10. Résistance de la plante	30

10.1. Résistance à la sécheresse	31
10.2. Résistance du quinoa au froid	31
10.3. Résistance du quinoa aux sels	31
10.4. Résistance au vent, neige et la grêle	32
10.5. Résistances aux ravageurs, parasites et maladies	33
Partie 2 : Matériels et méthodes	
1. Matériel végétal	34
2. Objectif du travail	35
3. Présentation des zones d'étude	36
3.1. Zone de Constantine et station du I.T.G.Cd'El-Khroub	36
3.2. Caractéristiques climatiques de la région	36
4. Analyse physico-chimique du sol	37
4.1. Mesure du pH	37
4.1.2. Mesure de la conductivité électrique d'un sol (CE)	38
5. Partie expérimentale	38
5.1. Dispositif expérimental	38
6. Paramètres réalisés	38

6.1. Paramètre Phéno-morphologie de la plante	38
6.1.1. Paramètre morphologique	38
6.1.2. Paramètre Phénologique	38
6.2. Caractérisation par électrophorèse des protéines par SDS-PAGE	39
6.2.1. Principe	39
6.2.2. Extraction des protéines	39
6.2.3. Préparation des gels	40
A. Gel de séparation a 12%	40
B. Gel de contraction 4%	41
6.2.4. Technique SDS-PAGE	41
6.2.5. Migration	42
6.2.6. Coloration	42
Partie 03 : Résultats et discussion	
1. Paramètres phéno-morphologique	44
1.1. Paramètres phénologiques	44
1.2. Paramètres morphologiques	44
1.2.1. Hauteur de la plante	44
1.2.2. Les caractères morphologiques	45
2. Electrophorèse des protéines	46

Conclusion générale	48
Références bibliographiques	51
Résumé	56

Introduction

Introduction :

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est une plante herbacée annuelle de la famille des Amaranthaceae. Originaires de la région andine de l'Amérique du Sud, elle a été domestiquée par les peuples autochtones il y a plusieurs milliers d'années. Cultivée depuis le niveau de la mer jusqu'après de 4000 m d'altitude sur les hauts plateaux de la Cordillère des Andes, la plante s'est progressivement adaptée à la pauvreté des sols et aux conditions écologiques extrêmes. Principalement cultivé pour la consommation de ses graines qui sont souvent confondues avec celles des céréales comme le blé, le riz ou le maïs (monocotylédones de la famille des Poaceae), le quinoa est actuellement considéré comme une « pseudo-céréale ».

Historiquement, le quinoa représentait un aliment de base pour les populations précolombiennes qui en consommaient à la fois les feuilles et les graines. Les Incas, conscients de la qualité nutritive de la graine et de ses bienfaits sur la santé, l'élevèrent au rang de « graine sacrée ». Le quinoa fut cependant délaissé par les conquistadors lors de l'invasion espagnole au profit du blé ou de l'orge. Sa culture subsista de justesse grâce aux fermes traditionnelles et ne servit alors qu'à la consommation locale. Après une longue période de déclin, la production de quinoa connaît un essor fulgurant dans les années 1970, permettant ainsi son exportation dans le Monde, en particulier vers l'Europe qui « redécouvre » cette graine oubliée. Le quinoa suscite alors un intérêt croissant en raison de la valeur nutritionnelle supérieure de ces graines par rapport aux céréales conventionnelles, notamment à cause de leur teneur élevée en protéines, mais aussi de ses effets bénéfiques probables sur la santé.

Un grand nombre de recherches a récemment émergé sur les constituants chimiques contenus dans la graine de quinoa et leurs propriétés thérapeutiques, représentant cette culture comme une ressource importante pour le développement d'aliments fonctionnels. En plus des bienfaits pour la santé humaine apportés par la consommation de la graine, certains composés bioactifs ont montré des propriétés pharmacologiques intéressantes, laissant entrevoir de possibles applications dans le domaine pharmaceutique. Par ailleurs, ne contenant pas de gluten, et pouvant donc être consommé par les personnes allergiques à cette protéine, le quinoa offre une alternative alimentaire précieuse pour les sujets souffrant de la maladie cœliaque.

Cette plante a des concentrations élevées de protéines, tous les acides aminés essentiels, les acides gras insaturés et un faible indice glycémique (GI); il contient également

vitamines, minéraux et autres composés bénéfiques, et est sans gluten par nature. Le quinoa est facile à cuisiner et polyvalent en préparation.

En effet, le quinoa est introduit depuis 2014 en Algérie à partir d'une convention a été signée entre FAO et l'Algérie dans le cadre du projet (TCP/RAB3403). Il est cultivé à titre expérimental afin d'étudier son comportement et ses potentiels de production dans 8 sites de 4 institutions ayant différentes caractéristiques agro-écologiques (**Boubaiche, 2016**). A été reconnue en Algérie et dans les pays voisins, où des sécheresses récurrentes, les ravageurs et les maladies des cultures ont eu des effets dévastateurs sur l'économie, et plus particulièrement sur le secteur agricole. En outre, la culture sur une longue période des plantes traditionnelles telles que le blé, le sorgho, le millet et l'orge ont entraîné une réduction de la productivité des terres cultivées, des rendements des cultures et des revenus des agriculteurs.

Compte tenu de cela, notre objectif de travail vise essentiellement à évaluer l'introduction de cette nouvelle culture dans un milieu semi aride, tout en étudiant l'impact des techniques culturales sur le rendement, mettant en œuvre la période opportune de semis et le degré de la réussite de la culture de quinoa dans la région semi aride.

Ce mémoire est structuré en trois parties:

- La 1ère Partie** : est consacrée à une synthèse bibliographique concernant le thème de travail.
- La 2ème partie** : concerne les matériels et les méthodes utilisées dans cet essai.
- La 3ème partie** : est articulée sur l'explication des résultats obtenus ainsi qu'une Discussion générale.
- Le présent travail est achevé par une discussion et une conclusion générale.

Partie I

Bibliographie

Partie I : Bibliographie

1. Histoire et origine du quinoa :

Le quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) a été décrit botaniquement pour la première fois en 1778 par Willdenow (botaniste et pharmacien allemand) comme une espèce originaire d'Amérique du Sud, dont le centre d'origine est situé dans les Andes (**Dharm, 2019**).

Le quinoa cultivé le plus ancien a été trouvé sur les bords du lac Titicaca depuis plus de 5000 ans avant J.-C constituait une source d'alimentation importante pour les populations précolombiennes, et parfois surnommé « graine des Incas » (**Galwey et al., 1990**), a été cultivé et consommé pendant des siècles par les populations paysannes indigènes de Colombie, Équateur, Pérou, Bolivie et Chili (**Gandarillas., 1979**).

après la conquête de la région par les Espagnols en 1532 après JC, des cultures telles que la pomme de terre, les haricots, l'avoine et le quinoa, échangées par l'orge sont reléguées au second plan (**Galwey 1995; Bhargava et al., 2006a**).

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

2. Distribution géographique:

Cette pseudo-céréale largement répandue géographiquement. Dont sa faculté d'adaptation est très grande, elle peut être cultivée depuis le niveau de la mer au Chili, jusqu'à plus de 4000 m d'altitude sur l'Altiplano boliviano-péruvien, sous des climats allant du froid aride jusqu'au tropical humide.

Depuis une quinzaine d'années et principalement en Bolivie, le quinoa est aussi devenue l'objet d'une culture d'exportation à destination des pays du Nord (Europe, États-Unis, Canada, Japon) à la recherche d'aliments à haute valeur nutritive et certifiée " agriculture biologique " (**Laguna et al., 2006**). L'acclimatation de cette culture aux pays nordiques a été tentée mais elle s'est heurtée à la sensibilité de la plupart des variétés au photopériodisme (le quinoa ne fleurit généralement pas en jours longs) et au mildiou (dont le traitement chimique ôterait le bénéfice du label " bio ") (**Jacobsen et al. 1993 ; Jacobsen, 1997**). Par ailleurs, les variétés potentiellement transférables au nord sont de qualité médiocre (grains petits et irréguliers) et d'un coût de production élevé en comparaison des produits obtenus dans les pays andins.



Figure 01 : Distribution géographique de la culture traditionnelle du quinoa en Amérique du Sud (la densité de gris reflète l'importance relative de la culture) (**National Research Council, 1989**).

3. Importance de la culture du Quinoa :

3.1. Dans le monde :

Le quinoa occupe une superficie d'environ 99.313 ha dans le monde, et la production était de 78.025 tonnes en 2010. La Bolivie et le Pérou sont les principaux producteurs. La Bolivie est la principale productrice du quinoa en terme de superficie, qui est de l'ordre de 63.010 ha avec une production d'environ 36.106 tonnes alors que le Pérou produit plus de 41.000 tonnes sur une superficie d'environ 35.313 ha (rendement plus élevé au Pérou) (**FAO 2010**).

3.2. En Algérie :

L'introduction de la culture du quinoa en Algérie s'est faite en 2014. Elle est cultivée à titre expérimental dans huit sites appartenant à quatre institutions ayant différentes caractéristiques agro-écologiques. **ITDAS**, (Biskra et El-oued), **INRAA**, (Adrar et Ghilizane), **ITGC**, (Sétif, Tiaret et Guelma) et **INRF** (Alger).

L'introduction de la culture du quinoa en Algérie ouvre de grandes perspectives de développement, en raison de l'adaptation de cette plante associée aux céréales à différents climats, ont raison de l'adaptation de cette plante associée aux céréales à différents climats, ont affirmé à Alger des experts lors d'un atelier sur le lancement du projet régional de deux jours permettra le lancement du projet régional regroupe des pays d'Afrique et du Moyen – Orient de l'Organisation mondiale pour l'alimentation et l'agriculture.

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

Selon le rapport de la (FOA 2016), la culture du quinoa en Algérie peut servir à ouvrir de grandes perspectives de développement. En effet, l'intérêt de cette plante réside dans sa capacité de résistance face à des conditions climatiques extrêmes (sécheresse, pauvreté des sols, salinité) lui conférant une grande efficacité dans la lutte contre la désertification tout en donnant des rendements acceptables.

Selon l'ITDAS (2017), le quinoa a été introduit en Algérie depuis l'année 2014, cette plante est cultivée à titre expérimental dans huit sites de quatre institutions ayant différentes caractéristiques agro-écologiques. ITDAS (Biskra et El-oued), la récolte à été effectuée de fin décembre pour se poursuivre en janvier. Au niveau des deux sites, le meilleur rendement obtenu en grain est de l'ordre de 26 qx / ha, toutes variétés confondues.

Au niveau INRAA, les essais ont été menés sur deux sites, le meilleur rendement a été enregistré à Adrar (Récolte mars 2015) avec 19.4 qx /ha, dont une irrigation d'appoint en période de sécheresse.

4. Classification des quinoas :

4.1. Classification scientifique :

4.1.1. Classification botanique de Cronquist (1981) :

- **Règne :** Plantae.
- **Sous-embr :** Tracheobionta.
- **Division :** Magnoliophyta.
- **Classe :** Magnoliopsida.
- **Groupe :** Thalamiflorae.
- **Sous-classe :** Dicotyledonae

- **Ordre** : Caryophyllale.
- **Famille** : Chenopodiaceae.
- **Genre** : Chenopodium.
- **Espèces** : Chenopodium quinoa.
- **Nom binominal** : Chenopodium quinoa Willd.

4.1.2. Classification APG III (2009) :

Une nouvelle classification dite phylogénétique (**APG III**) range le quinoa dans la famille des Amaranthaceae (**Giusti, 1970 in Herbillon, 2015**)

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

4.2. Classification morphologique:

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

5. Description botanique :

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) est une plante herbacée, autogame, annuelle. La couleur prédominante de la plante est verte mais chez les plantes adultes, les couleurs de base sont rouges, pourpre et vertes, selon le génotype (**Del Castillo et al., 2008**). Du point de vue de la classification, tous les caractères morphologiques n'ont pas la même valeur. Parmi les plus constants figurent mentionner l'habitude de la plante et les formes de l'inflorescence, la feuille et le fruit. Ils sont de bons caractères pour différencier les variétés, pas les races, car ces caractères sont impliqués dans ces dernières. Les organes du quinoa sont si petits qu'ils ont compliqué la classification (**Gandarillas .1979**).

5.1. Appareil végétative :

5.1.1. Racines :

Le quinoa possède un système racinaire pivotant, vigoureux, profond, assez ramifié et fibreux, qui pourrait lui donner résistance à la sécheresse et une bonne stabilité à la plante. Pendant la germination, la première chose qui commence à s'allonger est la radicule. Elle continue à croître et conduit à la racine, atteignant en cas de sécheresse jusqu'à 1.80 cm de profondeur. La profondeur des racines est étroitement liée à la hauteur de la **plante (Mujica, Izquierdo et al., 2001)**.



Figure02: Système racinaire de quinoa (OUCIF et al., 2018).

5.1.2. Tige :

La tige est cylindrique, sauf au niveau des ramifications où elle est angulaire, puisque les feuilles sont alternes et donnent une configuration exceptionnelle. L'épaisseur de la tige est également variable, étant plus grande à la base qu'au sommet. Ceci est généralement en fonction du génotype, de la densité de plantation et de la disponibilité des éléments nutritifs. La coloration de la tige varie du vert au rouge. Le diamètre de la tige est variable avec les génotypes, la distance de plantation, la fertilisation, les conditions de culture, variant de 1 à 8 cm de diamètre (Mujica et al., 2001).

5.1.3. Ramifications :

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

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

5.1.4. Feuilles :

Les feuilles d'une même plante sont nettement polymorphes (**Bioversity International et FAO, 2013**), les feuilles basales sont grandes et peuvent être rhomboïdales ou triangulaires (**FAO, 2011**). Les feuilles alternes, ont un limbe en forme de losange, de triangle ou lancéolé, plat ou onduleux, charnu et tendre (**Del Castillo et al. 2008**). Elles sont dentées, avec jusqu'à 43 dents sur leurs bords (**Fig. 03**). La couleur des feuilles varie du vert au rouge, en passant par le jaune et le violet, selon la nature et l'importance des pigments (**FAO, 2011**).

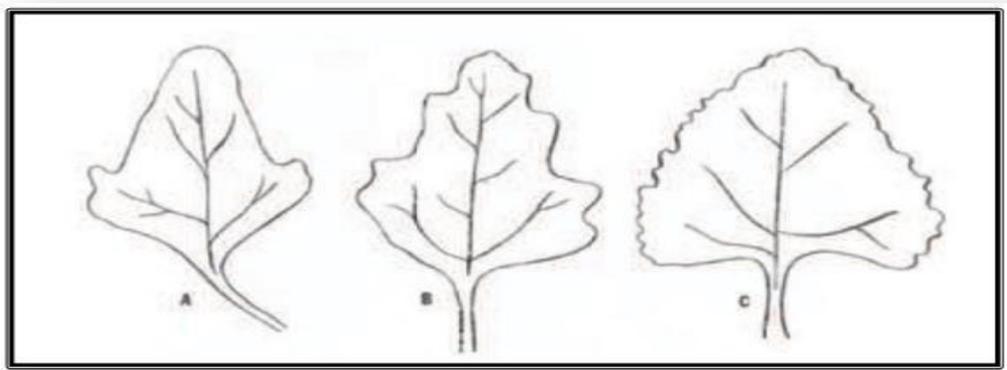


Figure 03: Forme des feuilles (**Herbillon, 2015**),

A) Race du sud du Pérou et de la Bolivie avec peu de dents. **B)** Race du centre du Pérou avec 3 à 12 dents. **C)** Race du nord du Pérou et l'Equateur avec plus de 12 dents (**Herbillon, 2015**).

5.2. Appareil reproductive :

5.2.1. Inflorescence :

L'inflorescence est une panicule typique (**Fig.04**), c'est-à-dire une inflorescence composée d'un axe principal d'où émergent des axes secondaires et tertiaires



Figure 04 : L'inflorescence des quinoas.

Il a été décrit deux types d'inflorescences chez le quinoa : glomérulaire et Amaranthiforme(**Fig.05**).

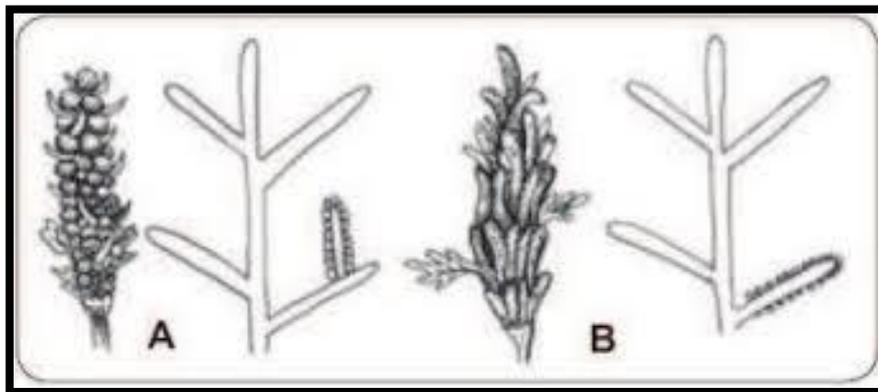


Figure 05:Les formes d'inflorescences du quinoa.

A) Glomérulaire ; B) amaranthiforme(**Tapia et Fries, 2007**).

5.2.2. Fleurs :

Tous les membres de la famille des Chénopodiacées, y compris le genre *Chenopodium*, présentent des fleurs incomplètes, sessiles et dépourvues de pétales (**Jacobsen et Stolen, 1993**).

Une caractéristique importante du quinoa est la présence de fleurs femelles unisexuées localisées à l'extrémité distale d'un groupe, et de fleurs hermaphrodites localisées l'extrémité proximale (**Hunziker, 1943 ; Valencia-Chamorro, 2003**) (**fig 06**).

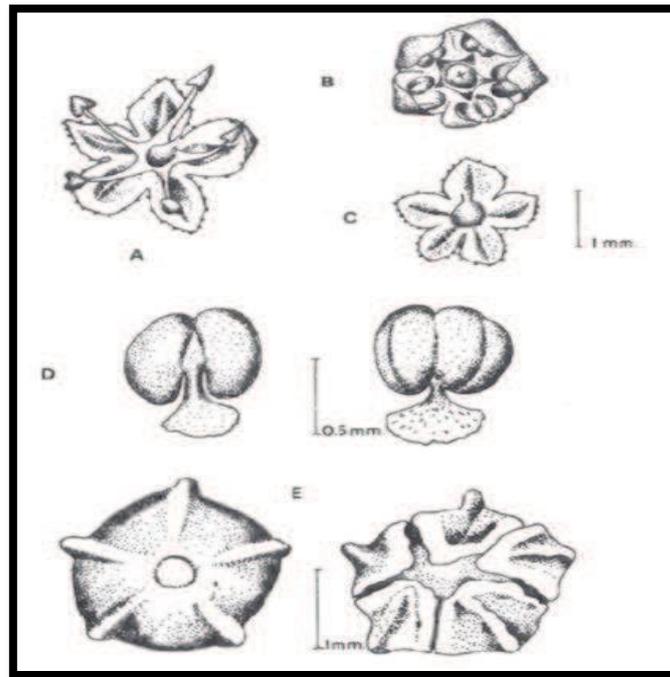


Figure 06: Fleurs hermaphrodites et femelles du quinoa (**Gandarillas, 1979**). (A : Fleur hermaphrodite en période d’anthèse, B : Fleur hermaphrodite avant l’anthèse C : Fleur femelle : Etamine avant la déhiscence, vue interne et externe, respectivement ; E : Fruit recouvert par le périgone, vue ventrale et dorsale, respectivement).

5.2.3. Fruits et graines :

A. Fruits :

C’est un akène dérivé d’un ovaire supéro-oculaire et d’une symétrie dorso-ventrale. (**Fig.07**) cylindrique-lenticulaire, légèrement élargie vers le centre, dans la zone ventrale de l’akène observer une cicatrice qui est l’insertion du fruit dans le réceptacle floral, elle est constituée par le perigonium qui enveloppe complètement la graine et contient une seule graine, de couleur variable, avec un diamètre de 1,5 à 4 mm, qui se détache facilement à maturité et dans certains cas peut rester attaché au grain même après le battage, rendant la sélection difficile, la teneur en humidité du fruit à la récolte est de 14,5% (**Gallardo, González et al., 1997**).

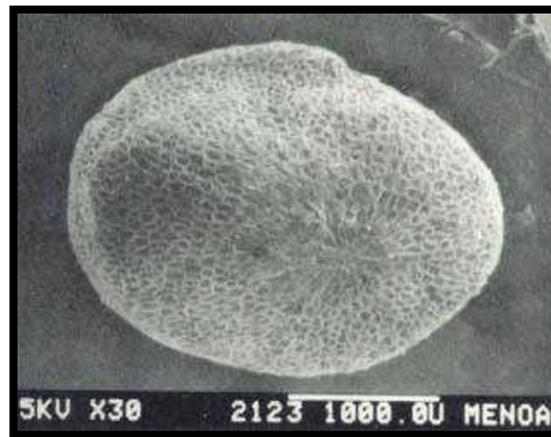


Figure 07 : Vue ventrale du fruit du quinoa au microscope électronique de balayage (Gallardo, González *et al.*, 1997).

B. Graines :

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

Il comprend trois parties bien définies (**Fig.08**): l'épisperme, l'embryon et le périsperme (**Villacorta Talavera 1976**). L'embryon périphérique entoure le périsperme central (tissus de réserve) et se trouve couvert par le péricarpe et deux assises tégumentaires (**Prego *et al.*, 1998**).

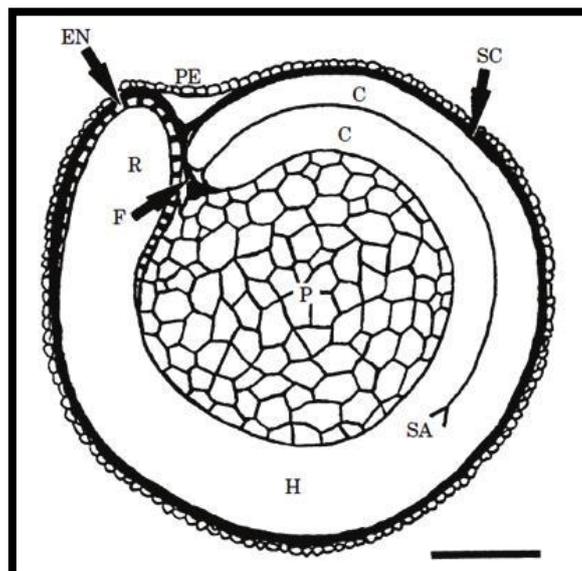


Figure 08 : Structure interne de la graine (Section médiane longitudinale) (**Prego *et al.*, 1998**). Le péricarpe (PE) entoure la graine. L'embryon consiste en un axe hypocotyle-radicule (H) et deux cotylédons (C). L'endosperme (EN) est présent dans la région

micropylaire.(F): Funicule ; (P): Périsperme ; (PE): Péricarpe ; (R): Radicule ; (SA): Apex ;
Echelle = 500 μm .

Les graines sont lisses ou avec un cuir chevelu fin avec des couleurs allant du blanc, jaune, rouge, violet, marron au noir (selon la variété) (**Lim 2013**). Dans le quinoa, le péricarpe contient des saponines qui transmettent la caractéristique du goût amer. Le principal tissu de stockage de la graine est le périsperme (**Valcárcel-Yamani et Lannes 2012**).

6. Cycle de vie :

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

Tableau01: Les stades phrénologiques de quinoa (**Mujica et Canahua, 1989**).

Les stades	Les jours après le semis	Description	Photos
Levée	7 et 10	Sortie de la plantule et au déploiement des feuilles cotylédonaires (germination épigée).	
Deux feuilles vraies	15 à 20	Conjointement à une croissance rapide des racines	
Quatre feuilles vraies	25 à 30	Les feuilles cotylédonaires sont toujours vertes. La plantule montre une bonne résistance au froid et à la sécheresse	

Six feuilles vraies	35 à 45	L'apparition de la troisième paire de feuilles vraies. les feuilles cotylédonaire commencent à se flétrir	
Ramification	45 à 50	la présence de bourgeons axillaires. Les feuilles cotylédonaire, jaunies, tombent et laissent une cicatrice sur la tige.	
Début de formation de la panicule	55 à 60	L'inflorescence commence à apparaître à l'apex de la plante. La tige s'allonge et son diamètre augmente	
Panicule	65 à 70	L'inflorescence est désormais clairement visible au-dessus des feuilles	
Début de floraison	75 à 80	Les premières fleurs s'ouvrent. La plante commence à être plus sensible au froid et à la sécheresse	

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

7. Composition nutritionnelle :

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

Les feuilles de quinoa sont mangées comme des épinards et les graines très abondantes et petites, comme chez le riz, sont consommées de différentes manières. Le quinoa a un potentiel nutritif important. Elle se caractérise par une teneur élevée en protéines : 14 à 21%

contre 7 à 12% chez la plupart des autres céréales (blé, riz, maïs, orge...etc.) (**Bhargava et al.,2006**).

7.1. Organe de Métabolisme primaire :

7.1.1. Protéines :

A. Protéines de stockage :

La grande majorité des protéines de stockage se répartissent en quatre grands groupes :

-Les globulines subdivisées en deux classes distinctes sur la base de leurs coefficients de sédimentation : Les globulines 11S et Les globulines 7S

-Les albumines.-Les prolamines. Les principales fractions de protéines du quinoa (et des autres pseudos-céréales) sont les globulines et les albumines(le type de globuline et albumine et le pourcentage %)(**Fairbanks et al. ,1989**).

Par ailleurs, les protéines du quinoa ne contiennent pas, ou très peu, de prolamines (pourcentage) qui sont les principales protéines de réserve des céréales conventionnelles. Ces prolamines, telles que la gliadine du blé ou l'hordéine de l'orge, sont collectivement appelées « gluten » et induisent des réponses auto-immunes chez les patients cœliaques .

B. Acides aminés :

Les protéines du quinoa révèlent une importante valeur nutritionnelle, qui se détermine avant tout par la balance en acides aminés essentiels (**FAO, 2011**) (**Tableau 2**), c'est-à-dire ceux que le corps ne peut synthétiser lui-même et nécessitant donc d'être fournis par le régime alimentaire.

Tableau 02 : Comparaison de la composition en acides aminés et de la teneur En protéines de la graine de quinoa avec d'autres céréales et légumineuses (mg/100g).

	Quinoa ⁽¹⁾	Blé ⁽²⁾	Orge ⁽²⁾	Riz ⁽²⁾	Maïs ⁽²⁾	Haricot ⁽²⁾
Essentiels						
Histidine	407	322	281	202	287	656
Isoleucine	504	533	456	336	337	1041
Leucine	840	934	848	657	1155	1882
Lysine	766	303	465	303	265	1618
Méthionine	309	221	240	179	197	355
Phénylalanine	593	681	700	410	463	1275
Thréonine	421	366	424	291	354	992
Tryptophane	167	176	208	101	67	279
Valine	594	594	612	466	477	1233
Semi-Essentiels						
Arginine	1091	483	625	602	470	1460
Cystine	203	286	276	96	170	256
Glycine	694	495	452	391	386	920
Proline	773	1459	1484	372	822	1000
Tyrosine	267	357	358	198	383	664
Protéines					(g/100g de graines)	
	14,1	13,7	12,5	7,9	9,4	23,6

(1)USDA, 2005. (2)USDA, 2015

(USDA) United States Department of Agriculture

7.1.2. Glucide :

Les glucides sont les composants majeurs retrouvés dans les graines du quinoa, leur teneur variant entre 67% et 74% de la matière sèche (**Jancurová et al. ,2009**). On trouve majoritairement de l'amidon, mais aussi des fibres alimentaires (solubles et insolubles) et des sucres simples.

A. Amidon :

L'amidon du quinoa est stocké principalement dans les cellules du périsperme de la graine, avec de petites quantités apparaissant dans le tégument et l'embryon (**Prego et al. ,1998**).

L'amidon du quinoa est très riche en amylopectine qui lui confère une excellente stabilité aux processus de congélation décongélation (**Berghofer et Schoenlechner, 2002**). Il s'est révélé être un meilleur agent épaississant que d'autres amidons.

Cependant, les pains et les gâteaux cuits avec de l'amidon de quinoa sont de mauvaise qualité. Les volumes sont plus faibles, le grain non uniforme avec des parois cellulaires épaisses, la texture dense et compacte. Globalement, la performance de l'amidon du quinoa dans les produits de boulangerie est similaire à celle d'autres amidons non céréaliers (amarante ou pomme de terre) (**Lorenz, 1990**).

B. Fibres alimentaires :

Ce sont des polymères complexes, de grande taille, qui ont commun leur nature polysaccharidique (à l'exception de la lignine). Ces substances résiduelles sont aujourd'hui reconnues pour leurs nombreux effets bénéfiques sur la santé humaine

Les graines de quinoa contiennent entre 10 et 14% de fibres alimentaires totales qui sont particulièrement présents dans l'embryon. Cette teneur en fibres totales est comparable à celle d'autres céréales, cependant, la composition des fibres du quinoa ressemble davantage à celle des fruits, légumes et légumineuses (**Alvarez-Jubete et al., 2009 ; Repo-Carrasco;; Lamothe et al., 2015**).

Composées d'environ 80% de fibres insolubles et de 20% de fibres solubles, les fibres alimentaires du quinoa sont représentées essentiellement par des xyloglucanes et des polysaccharides pectiques, en des quantités et des structures variables en fonction de la fraction de fibres. Les fibres insolubles se composent principalement d'acide galacturonique, de glucose, d'arabinose, de xylose et de galactose ; tandis que les fibres solubles contiennent surtout du glucose, de l'acide galacturonique et de l'arabinose (**Lamothe et al. 2015**).

C. Sucres simples :

Les graines de quinoa contiennent environ 3% de sucres individuels, avec essentiellement du maltose, suivi par le D-galactose et le D-ribose ; ainsi que de faibles niveaux de fructose et de glucose (**Ranhotra et al. ,1993 ; Oshodi et al. ,1999**).

7.1.3. Lipides et composés lipidiques :

La teneur en lipides de la graine de quinoa, en moyenne de 6%, connaît des variations en fonction des cultivars ou des méthodes de quantification utilisées (**Dini et al., 1992 ;Koziol, 1992 ; Ruales et Nair, 1993a ; Ando et al., 2002**). Cette quantité en matière grasse de la graine, bien que beaucoup plus basse que celle du soja (39,6%), est entre deux et trois fois plus élevée que dans d'autres céréales telles que le maïs (4,7%) ou le blé (2,5%) (USDA, 2015), et en fait une source potentielle pour l'extraction d'huile (**Repo-Carrasco et al. 2003**).

Les lipides sont localisés dans des corps lipidiques qui sont les éléments de stockage des cellules de l'endosperme et des tissus embryonnaires de la graine de quinoa (**Pregoet al.1998**). Les différentes fractions lipidiques isolées à partir de la graine de quinoa ont été décomposées en trois catégories : lipides neutres, polaires et acides gras libres (**Przybyski et al., 1994**) (**Tableau3**).

Tableau03: Composition lipidique dans la graine de quinoa (en %).

	Graine entière	Coque	Son	Farine
Lipides neutres	55,9	40,2	76,2	69,5
- Triglycérides	73,7	71,7	82,1	87,2
- Diglycérides	20,5	22	13	10
- Monoglycérides	3,1	4,7	1,8	1,6
- Cires	2,7	2,2	3,2	1,1
Lipides polaires	25,2	44,4	12,7	21,1
- Lysophosphatidyl éthanolamine	43,2	43,3	22,3	16,6
- Phosphatidyl éthanolamine	18,5	19,8	13,4	8,3
- Phosphatidyl choline	12,3	15,6	48,3	49
- Phosphatidyl inositol	10,5	9,6	5,8	12,8
- Phosphatidyl sérine	4	3,1	3,9	2,7
- Lysophosphatidyl choline	3,6	2,9	4,2	3,4
- Autres	3,2	2,6	0,4	0,2
- Digalactosyl diglycéride	2,8	1,9	0,9	3,9
- Monogalactosyl diglycéride	1,6	1,2	0,4	2,7
- Acide phosphatidique	1,1	0,6	0,5	0,4
Acides gras libres	18,9	15,4	11,1	9,4

L'huile de quinoa a été signalée comme étant généralement stable contre l'oxydation, ce en dépit d'une haute teneur en matières grasses et du degré d'insaturation important. Cette propriété a été attribuée à la présence naturelle de tocophérols (vitamine E) dans la fraction lipidique qui agit comme un antioxydant naturel en captant les radicaux libres et augmentent ainsi la stabilité de l'huile (**Koziol, 1992 ; Schoenlechner et al. ,2008**).

La composition en acides gras des lipides du quinoa a été caractérisée comme suit (**Tableau 04**) :

- Les acides gras saturés (14%), avec principalement de l'acide palmitique (9,7 – 11%) ;
- Les acides gras mono-insaturés (28,1%), représentés surtout par l'acide oléique (24,5 – 26,7%);

- Les acides gras polyinsaturés (57,5%), avec l'acide linoléique largement majoritaire (48,2 56%).

Tableau 04: Comparaison de la composition en acides gras de la fraction lipidique des graines de quinoa, du blé et du maïs (g/100g).

Acides gras	Symbole	Quinoa ⁽¹⁾	Blé ⁽²⁾	Maïs ⁽³⁾
Saturés		14	27,3	15,4
- Acide myristique	C14:0	0,1	-	
- Acide palmitique	C16:0	9,7 – 11,0	23,7	12,5
- Acide stéarique	C18:0	0,6 – 1,1	2,8	1,9
- Acide arachidique	C20:0	0,4 – 0,7	0,3	0,57
- Acide béhénique	C22:0	0,5 – 0,7	0,2	0,2
- Acide tétracosanoïque	C24:0	0,2 – 0,4	-	
Monoinsaturés		28,1	13,4	30,0
- Acide palmitoléique	C16:1	0,1 ⁽⁴⁾ – 0,2 ⁽⁵⁾	-	0,2
- Acide oléique	C18:1	24,5 – 26,7	13,2	29,2
- Acide eicosénoïque	C20:1	1,4	-	0,5
- Acide 9-docosénoïque	C22:1	1,2 – 1,5	-	-
- Acide tétracosénoïque	C24:1	2,4 – 2,6	-	
Polyinsaturés		57,5	59,4	54,6
- Acide linoléique	C18:2	48,2 – 56,0	55,1	53
- Acide α -linoléique	C18:3	3,8 – 8,3	3,8	1,6
- Acide eicosadiénoïque	C20:2	0,1 – 1,4	0,5	

(1) Lannes, 2012.(2)Alvarez-Jubete *et al.* 2009(3)Ryan *et al.* 2007.(4)Koziol, 1992.(5)Ruales et Nair, 1993a.

Les acides gras de la graine de quinoa forment donc une huile d'une haute qualité nutritive, mais les bienfaits ne s'arrêtent pas là. En effet, les autorités compétentes condamnent les acides gras saturés à cause de leurs nombreux effets délétères et préconisent un apport suffisant en acides gras insaturés (oméga-3 et oméga-6), dont l'effet protecteur sur le système cardio-vasculaire en particulier n'est plus à prouver. Le quinoa répond à ses recommandations avec sa haute teneur en acides gras insaturés qui représentent plus de 85% des acides gras totaux, avec seulement 14% d'acides gras saturés.

7.1.4. Minéraux :

Les graines de quinoa sont très riches en micronutriments tels que les minéraux, avec une teneur de 2,3%, soit plus élevée que dans la plupart des céréales comme le blé (1,78%), le riz (1,53%), le maïs (1,20%), et comparable à l'orge (2,29%) (USDA, 2015). (Tableau 5). La teneur minérale totale (cendres) du quinoa est fortement influencée par les conditions environnementales durant la croissance des graines, et en particulier par la disponibilité des minéraux du sol (Alvarez-Jubete, 2009).

Tableau 05: Comparaison de la teneur moyenne en minéraux du quinoa avec d'autres céréales (mg/100g).

Minéraux	Quinoa ⁽¹⁾	Blé ⁽²⁾	Riz ⁽²⁾	Maïs ⁽²⁾	Orge ⁽²⁾
Calcium (Ca)	110,93	34	23	7	33
Fer (Fe)	16,77	3,52	1,47	2,71	3,6
Magnésium (Mg)	343,80	144	143	127	133
Zinc (Zn)	2,60	4,16	2,02	2,21	2,77
Manganèse (Mn)	3,55	3,012	3,743	0,485	1,943
Potassium (K)	833,85	431	223	287	452
Cuivre (Cu)	2,90	0,553	0,277	0,314	0,498
Sodium (Na)	4,30	2	7	35	12
Phosphore (P)	228,43	508	333	210	264

1) (Koziol, 1992).

(2) USDA, 2015

7.1.5. Vitamines :

Les graines de quinoa présentent des quantités significatives de vitamines, tout particulièrement en thiamine, riboflavine, vitamine B6 et folates. Les niveaux de riboflavine et de folates sont plus élevés que dans les céréales conventionnelles telles que le blé, le riz, le maïs ou l'orge. A l'inverse, la teneur en niacine est nettement inférieure aux quantités retrouvées dans les céréales comparatives (Tableau 6)

Tableau 06 : Comparaison de la teneur en vitamines de la graine de quinoa avec d'autres céréales ($\mu\text{g/g}$).

Vitamines	Quinoa ⁽¹⁾	Blé ⁽²⁾	Riz ⁽²⁾	Maïs ⁽²⁾	Orge ⁽²⁾
Thiamine (B1)	3,6	4,19	4,01	3,85	6,46
Riboflavine (B2)	3,1	1,21	0,93	2,01	2,85
Niacine (B3)	15,2	67,38	50,91	36,27	46,04
Vitamine B6	48,7	4,19	5,09	6,22	3,18
Folate total	18,4	0,43	0,2	0,19	0,19
Vitamine E (Total)	50,8 ⁽³⁾	49,4 ⁽⁴⁾	-	-	-
Tocophérols :					
α -tocophérol	8,78 ⁽³⁾	-	5,9	4,9	5,7
β -tocophérol	0,64 ⁽³⁾	-	-	-	-
γ -tocophérol	38,8 ⁽³⁾	-	-	-	-
δ -tocophérol	1,73 ⁽³⁾	-	-	-	-
Tocotriénols :					
α -tocotriénol	0,51 ⁽³⁾	-	-	-	-
β -tocotriénol	0,82 ⁽³⁾	-	-	-	-

(1)USDA, 2005.(2)USDA, 2015.(3)Moyenne des valeurs obtenues pour trois génotypes typiques de quinoa (blanc, rouge et noir) (4)Moyenne des valeurs obtenues pour 175 génotypes de blé (Lampiet *al.*, 2008)

7.2. Organe de Métabolisme secondaire :

7.2.1. Terpènes :

Le squalène et les phytostérols sont des composés présents dans la fraction lipidique insaponifiable de l'huile de quinoa (comme les tocopherols), une fraction résiduelle qui est insoluble dans l'eau après saponification.

Le squalène, un isoprénoïde de 30C (**Fig 09**), est un des précurseurs dans la biosynthèse des stéroïdes et un intermédiaire clé dans celle du cholestérol. Environ 60 mg/100g de squalène ont été trouvés dans la fraction lipidique du quinoa, une teneur très supérieure à celle des céréales comme l'orge (0,2 mg/100g), le maïs (1,6 mg/100g) ou le seigle (0,3 mg/100g), et des légumineuses telles que les haricots et les lentilles (0,7 mg/100g) (**Tableau 07**).

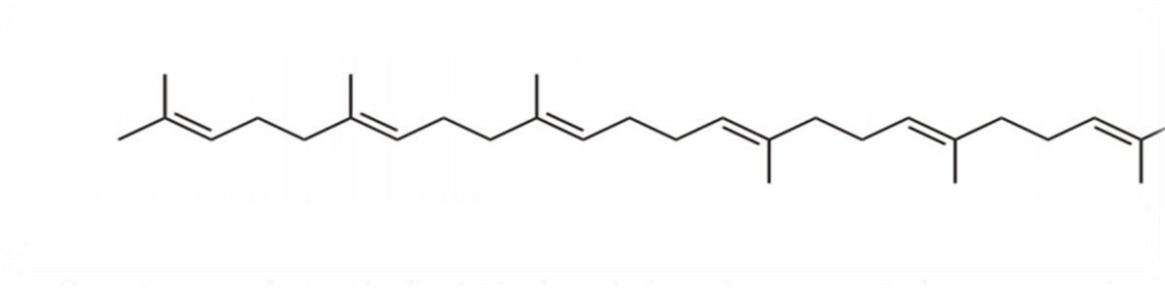


Figure 09: Structure du squalène.

Quant aux phytostérols (stérols végétaux), ce sont des composés triterpéniques constituant la base structurale des membranes végétales. Ils servent à stabiliser les bicouches de phospholipides des membranes cellulaires végétales.

Les phytostérols représentés dans les graines de quinoa sont le β -sitostérol, largement majoritaire, le campestérol et le stigmastérol (**Fig. 10**), qui sont les stérols végétaux les plus abondants. Les niveaux retrouvés dans le quinoa sont plus élevés que dans l'orge et le maïs, comparables à ceux déterminés dans le seigle. À l'inverse, les valeurs sont nettement inférieures à celles des légumineuses, en particulier concernant le β -sitostérol et le stigmastérol (**Ryan et al. 2007**).

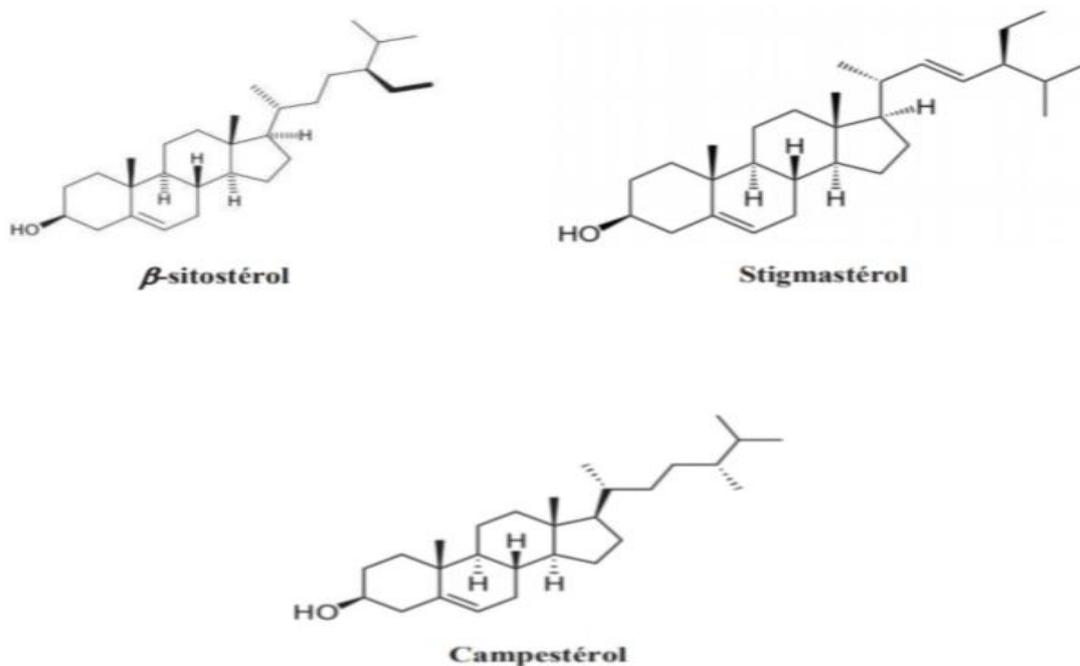


Figure 10: Structure des principaux phytostérols.

Tableau 07: Teneur en squalène et phytostérols dans les graines de quinoa et comparaison avec d'autres céréales et légumineuses (mg/100g).

	Squalène	Phytostérols			
		β -sitostérol	Campestérol	Stigmastérol	Total
Quinoa	58,4	63,7	15,6	3,2	82,5
Orge	0,2	38,1	12	0,3	50,4
Maïs	1,6	34,1	9,1	0,4	43,6
Seigle	0,3	58,4	16,8	0,7	75,9
Haricots	0,7	86,5	6,5	41,4	134,4
Lentilles	0,7	123,4	15	20	242,4

7.2.2. Saponines :

Les saponines constituent un groupe de composés glycosidiques naturels largement distribués dans le règne végétal. Elles sont signalées dans près de 500 plantes qui représentent plus de 90 familles. On les trouve notamment dans des végétaux couramment utilisés dans l'alimentation humaine et animale comme le soja, les haricots, les lentilles, les pois, l'avoine, les betteraves à sucre, les pommes de terre, les tomates, les oignons, l'ail, les cacahuètes, les concombres, les asperges ou encore les épinards

Ces composés ont en commun la propriété d'être soluble dans l'eau et de former des solutions moussantes après agitation, ces propriétés tensio-actives les distinguant des autres glycosides

En outre, la proportion en saponines varie également en fonction des conditions environnementales. Par exemple, il a été rapporté que les plants de quinoa cultivés à une altitude plus basse et donc soumis à un climat plus chaud contiennent plus de saponines que les mêmes variétés cultivées à une altitude supérieure (**Koziol, 1992**).

Les saponines du quinoa sont exclusivement triterpéniques. Ce sont des composés très polaires avec des poids moléculaires relativement grands et qui se produisent sous la forme de mélanges complexes. Bien que la présence de saponines dans les graines de quinoa soit connue depuis longtemps, peu d'études ont été menées pour déterminer leur structure chimique et les progrès réalisés dans ce domaine sont relativement récents.

7.2.3. Composés phénoliques :

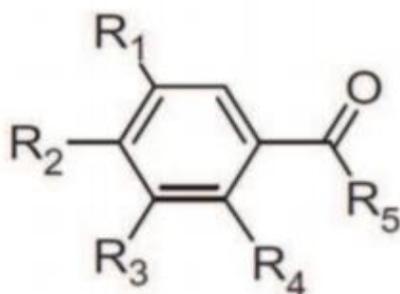
Les composés phénoliques, également appelés polyphénols, sont des métabolites secondaires bioactifs largement présents dans les aliments d'origine végétale couramment consommés.

Les trois principaux types de polyphénols sont les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tannins, qui agissent comme de puissants antioxydants *in vitro*. Dans les aliments, ils peuvent contribuer à l'amertume, l'astringence, la couleur, la saveur et à la stabilité à l'oxydation. Grâce à leurs effets bénéfiques sur la santé, les études sur les polyphénols connaissent une importance croissante. En effet, ils interviennent dans la prévention et le traitement des maladies liées au stress oxydatif tel que les cancers, le diabète, les maladies inflammatoires, cardiovasculaires et neurodégénératives.

A. Acides phénoliques :

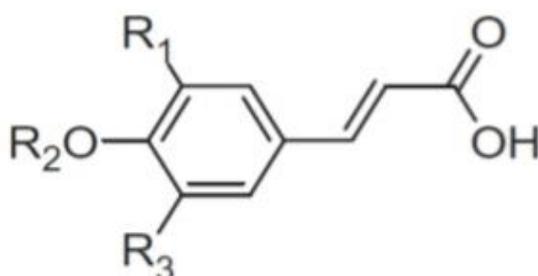
On sait aujourd'hui que les composés phénoliques existent non seulement sous forme libre, mais aussi dans des formes conjuguées. Dans les graines de quinoa, la majorité des polyphénols extractibles sont d'ailleurs sous forme conjuguée. Pour cette raison, la quantification des acides phénoliques totaux nécessite un traitement préalable par hydrolyse acide ou alcaline afin de libérer les formes conjuguées.

Les teneurs en acides phénoliques solubles (formes libres et liées) et totaux sont quantifiées comme aglycones, les principaux retrouvés dans les graines de quinoa étant représentés par l'acide vanillique et l'acide férulique (**Repo-Carrasco-Valencia et al., 2010**)(Fig. 11) (Tableau 08).



Acide vanillique, $R_1 = R_4 = H$, $R_2 = R_5 = OH$, $R_3 = OCH_3$

Acide p-hydroxybenzoïque, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = H$, $R_5 = OH$



Acide férulique, $R_1 = R_2 = H$, $R_3 = OCH_3$

Acide p-coumarique, $R_1 = R_2 = R_3 = H$

Acide caféique, $R_1 = R_2 = H$, $R_3 = OH$

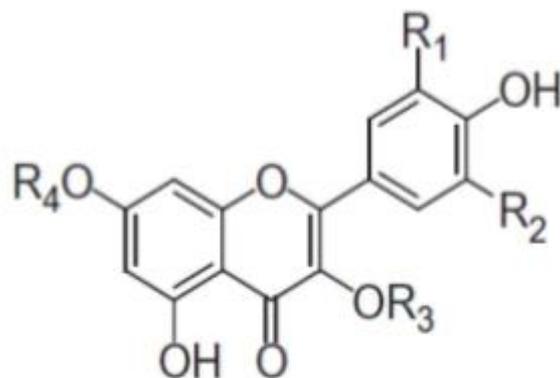
Figure 11: Structure des principaux acides phénoliques (Tang *et al.* 2015b).

Tableau 08: Teneur moyenne en acides phénoliques dans les graines de quinoa (mg/100g).

Acides phénoliques	
Acide caféique	0,7
Acide férulique	15
Acide p-coumarique	8
Acide p-hydroxybenzoïque	2,9
Acide vanillique	11
Total	37

B. Flavonoïdes :

Les flavonoïdes sont également analysés comme aglycones. La teneur globale dans les graines de quinoa est exceptionnellement élevée, variant de 36,2 à 72,6 mg/100g selon les échantillons, avec une moyenne globale de 58 mg/100g. Les aglycones prédominants et toujours présents sont la quercétine et le kaempférol (**Fig 12**) ; alors que la myricétine et l'isorhamnétine n'ont pas été retrouvés dans toutes les variétés (**Repo-Carrasco-Valencia et al., 2010**) (**Tableau 09**).



Quercétine, $R_1 = R_3 = R_4 = H, R_2 = OH$

Kaempférol, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = H$

Figure 12: Structure des principaux flavonoïdes (**Tang et al. 2015b**).

Tableau 09: Teneur moyenne en flavonoïdes dans les graines de quinoa (mg/100g).

Flavonoïdes	
Quercétine	36
Kaempférol	20
Myricétine	0,5
Isorhamnétine	0,4
Total	58

c. Tanins :

Les tanins sont des composés polyphénoliques qui ont la particularité de pouvoir précipiter des protéines à partir de solutions aqueuses (**Makkaret al. 1988**). Ce sont des métabolites secondaires que l'on retrouve dans les plantes supérieures (**Schoenlechner et al., 2008**).

Les quantités suivantes ont été déterminées : 0,53 g/100g dans les graines de quinoa entières, 0,28 g/100g dans le quinoa décortiqué manuellement et 0,23 g/100g après lavage des graines avec de l'eau; ce qui signifie qu'environ la moitié des tanins est contenue dans l'enveloppe des graines .

Une autre étude n'a pu mettre en évidence la présence de tanins, ni dans le quinoa entier brut, ni dans le quinoa poli et lave. Cette divergence des résultats peut s'expliquer en partie par le fait que la teneur des différents composés présents dans les végétaux alimentaires peut varier en fonction de la variété et des conditions de croissance (**Ruales et Nair, 1993b**).

7.2.4. Pigments :

A. Caroténoïdes :

Les caroténoïdes sont des pigments végétaux naturels qui ont un rôle essentiel dans le processus de photosynthèse. Ils sont responsables des couleurs orange à jaune et agissent également comme des antioxydants et des précurseurs d'hormones végétales. Ces composés liposolubles de la famille des terpénoïdes sont retrouvés dans de nombreux aliments végétaux, en particulier les fruits, les légumes et les grains comme la tomate, le blé et le maïs

La teneur totale en caroténoïdes dans les graines de quinoa est en moyenne de 14,8 $\mu\text{g/g}$, avec des variations selon les cultivars. Les deux caroténoïdes prédominants dans la graine de quinoa sont la lutéine et la zéaxanthine(**Figure 13**), dans leurs formes trans, avec des teneurs moyennes de 9,45 $\mu\text{g/g}$ et 0,47 $\mu\text{g/g}$, respectivement (**Tableau 10**).

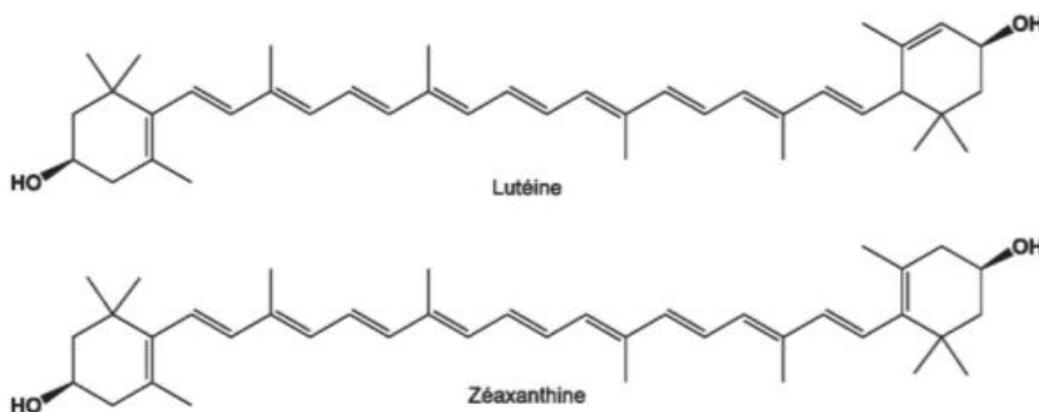


Figure 13: Luténine et zéaxanthine.

Tableau 10: Comparaison des teneurs totales en caroténoïdes et en caroténoïdes prédominants dans les graines de quinoa et dans une sélection de céréales ($\mu\text{g/g}$).

	Quinoa ⁽¹⁾	Blé ⁽²⁾	Orge ⁽²⁾	Maïs ⁽²⁾
Teneur totale en caroténoïdes	14,8	2,57	3,4	18,19
Total lutéine	10,4	0,819	0,497	3,689
All-trans-lutéine	9,45	-	-	-
Total zéaxanthine	0,74	0,438	0,637	9,879
All-trans-zéaxanthine	0,47	-	-	-

(1) Moyenne des valeurs obtenues pour trois génotypes typiques de quinoa (blanc, rouge et noir) (Tang *et al.*, 2015a).

Les teneurs en caroténoïdes totaux et en lutéine dans le quinoa sont nettement plus élevées que dans la plupart des céréales communes. Une autre caractéristique favorable qui augmente les avantages potentiels du quinoa pour la santé.

B. Bétacyanines :

Les bétacyanines sont des pigments de la famille des bêtaïnes et responsables des couleurs rouges à violet. Une récente étude révèle que les pigments des graines rouges et noires de quinoa sont des bétacyanines, principalement la bétanine et l'isobétanine (Figure 14) (Tang *et al.*, 2015b), dont les teneurs dépendent naturellement de la couleur de la graine. Une découverte étonnante sachant que l'on pensait, jusqu'à présent, que les graines de quinoa contenaient plutôt des anthocyanines, une autre famille de pigments donnant une coloration bleu sombre-violette caractéristique des fruits rouges .

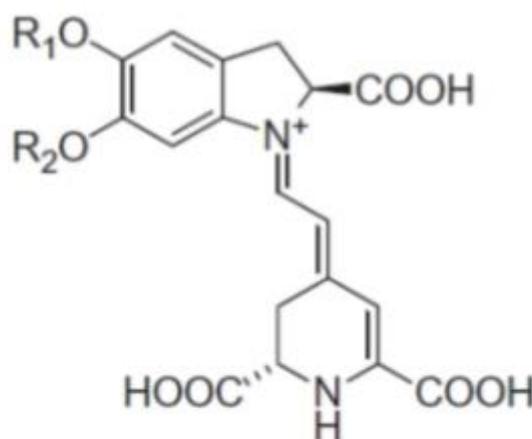


Figure 14: Structure des principales bétacyanines.

Bétanine, R1 = glucose, S, R2 = H. **Isobétanine**, R1 = glucose, R, R2 = H

8. Variétés du quinoa :

Selon leurs goûts, on distingue principalement deux grandes familles de quinoa: le quinoa "Amargua" (=amer) et "Dulce" (=doux). La première, traditionnellement cultivée dans les Andes depuis plus de 5000 ans nécessite un lavage et scarification des grains à cause de la teneur en saponine de l'enveloppe (amère et présentant un certain taux de toxicité). Il s'agit de la variété principalement exportée en occident par le biais du commerce équitable. La "Dulce" est issue de sélections variétales plus récentes, contient peu ou pas de saponine (la variété est considérée comme une variété douce si la teneur en saponine est inférieure à 0,11%).

Il existe plusieurs variétés comme : Bear, Cherry Vanilla, Cochabamba, dave 407, Gossi, Isluga, Kaslala, Kcoito, Linares, Rainbow, Red faro, Redhead (bonne adaptabilité aux climats pluvieux), Temuco (**Fig.15**).

Les quinoas peuvent être divisés en cinq groupes de variétés répartis par zones d'adaptation écologiques : **-Le premier groupe** est très différent des quatre autres, et se trouve à basse altitude et proche de la mer, dans un climat pluvieux (1000 à 1500 mm par an).

-Le deuxième groupe correspond aux quinoas subtropicaux des vallées humides amazoniennes, entre 1500 et 2000 m d'altitude avec une pluviométrie de 1000 à 2000 mm.

-Le troisième groupe se rencontre dans les vallées andines situées entre 2000 et 3500 m d'altitude et qui ont des précipitations modérées (500 à 1500 mm).- **Le quatrième groupe** contient les variétés «**Altiplaniques** », qui se développent entre 3800 et 4100 m d'altitude, aux alentours du Lac ticaca ainsi que sur l'altiplano Nord et centre, avec des précipitations comprises entre 400 et 800 mm par an. **-Le dernier groupe** contient les variétés proches des « salards », vastes déserts de sel du sud de l'Altiplano bolivien et de la frontière avec le Chili. Les précipitations annuelles dans la région, caractérisée par un climat aride, sont en moyenne inférieure à 300 mm .



Figure15 : Différentes variétés de quinoa (Del Castillo, Mahy et al. 2008).

9. Utilisations:

Les principales utilisations du quinoa peuvent être résumées comme suit :

-**Alimentation humaine** : On peut consommer les graines, les feuilles tendres jusqu'au début de la panicule (teneur en protéines peut atteindre 33% de la matière sèche).

-**Industrie alimentaire** : Les grains et la farine de quinoa peuvent servir à la préparation de la plupart des produits de l'industrie de la farine. Le quinoa peut être associé aux légumineuses telles que les fèves, les haricots rouges afin d'améliorer la qualité nutritionnelle.

-**Alimentation animale** : La plante entière sert de fourrage vert.

-**Utilisations médicinales** : Les feuilles, tiges et graines de quinoa servent à diverses applications médicinales grâce à leurs propriétés cicatrisantes, anti-inflammatoires, analgésiques (mal de dents) et désinfectantes des voies urinaires.

-**Autres utilisations industrielles** : Toute une gamme de sous-produits de quinoa sont destinés à l'alimentation, au cosmétique, aux applications pharmaceutiques et à d'autres utilisations.

10. Résistance de la plante :

Le quinoa est une plante originaire de la région andine de l'Amérique du Sud, cultivée depuis le niveau de la mer au Chili jusqu'après de 4000 m d'altitude sur l'Altiplano-boliviano péruvien où la qualité du sol est pauvre et les conditions climatiques particulièrement difficiles. Cette large distribution géographique témoigne de la grande faculté d'adaptation de

cette espèce qui a dû développer divers mécanismes de défense afin de résister à la sécheresse fréquente, au gel, à la grêle, au vent, au sel ; mais aussi aux différentes maladies, parasites et ravageurs s'attaquant aux cultures.

10.1. Résistance à la sécheresse :

Le quinoa est une plante résistante à la sécheresse car, en plus de survivre dans des conditions de faible humidité (manque de précipitations), il est capable de produire des céréales et de la matière verte pour la consommation humaine et animale, qui est économiquement acceptable et rentable, grâce à une série de modifications et de mécanismes. Ces mécanismes peuvent être morphologiques (taille plus petite de la plante), physiologiques (transpiration plus faible), anatomiques (nombre et taille de stomates plus petits), phénologiques (raccourcissement de la période de floraison) et biochimiques (synthèse de proline plus grande), qui lui permettent d'accumuler de l'énergie, des nutriments même en période de sécheresse (Mujica , Izquierdo et al., 2001).

10.2. Résistance du quinoa au froid :

Le quinoa est également une culture qui résiste fortement aux effets du froid et du gel, car il est constamment affecté par les chutes de température et, dans certains cas, par la présence de gels d'une intensité considérable, en particulier dans les endroits où la présence de givres est constante. Pour cela, le paysan dispose d'un matériel génétique adéquat et très variable, ainsi que des techniques de défense par le biais de modifications de l'environnement (Mujica, Izquierdo et al. ,2001).

10.3. Résistance du quinoa aux sels :

La zone de production du quinoa la plus importante au monde est celle des salards de l'Altiplano sud de Bolivie, où il existe une forte concentration de sels, principalement du chlore et du sodium. On y obtient en moyenne 1 t/ha de quinoa de bonne qualité. Cela nous indiquerait que le quinoa est une plante qui tolère la présence de sels sur le sol (Fig16) (Mujica, Izquierdo et al. ,2001).

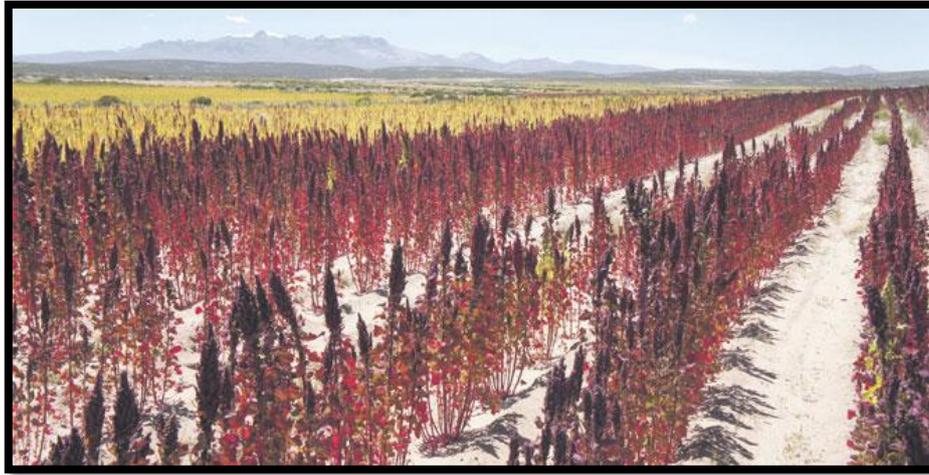


Figure16 : Production de quinoa dans les sols salins (Mujica, Izquierdo et al. 2001).

10.4. Résistance au vent, neige et la grêle :

De nombreuses variétés altiplaniques et du Salar sont relativement résistantes à la grêle, grâce à un enroulement des feuilles, une tige et un épi plus solides, une surface foliaire réduite avec des feuilles plus petites. Certaines peuvent résister à la neige par un système racinaire et une ramification plus importants qui assurent un soutien plus grand de la plante. Enfin, les variétés de petite taille avec une tige épaisse et un système racinaire bien développé peuvent plus facilement résister au vent (Mujica *et al.* 2001).

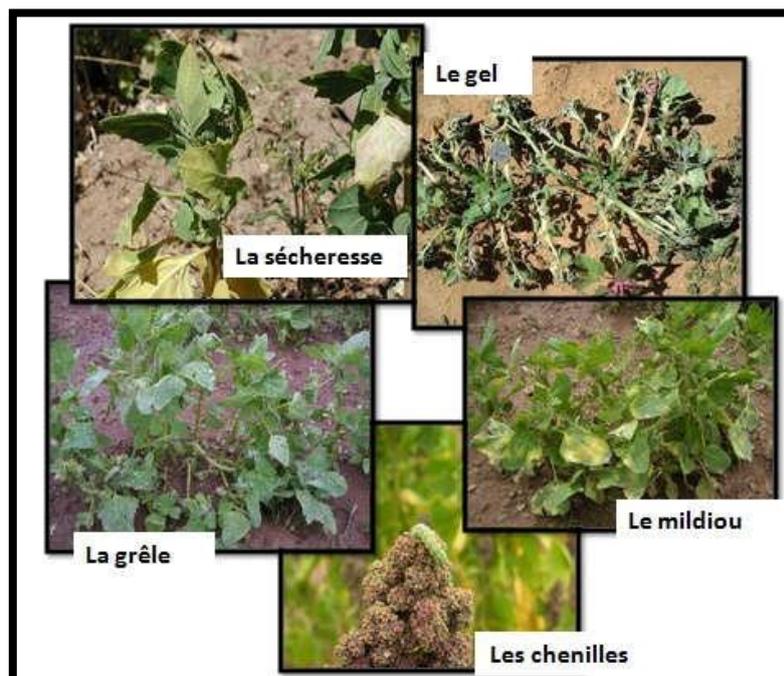


Figure17: Quelques facteurs abiotiques et biotiques affectant la culture de quinoa dans l'altiplano (Lebonvallet 2008).

10.5. Résistances aux ravageurs, parasites et maladies:

La principale maladie rencontrée chez le quinoa est le mildiou. Les variétés altiplaniques et du salar n'y sont pas toutes résistantes, mais le climat sec n'est pas propice à son apparition (**Lebonvallet, 2008**). Quant aux oiseaux et aux parasites, les graines de quinoa contiennent une forte teneur en saponines, 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 (**Herbillon,2015**).

Partie II

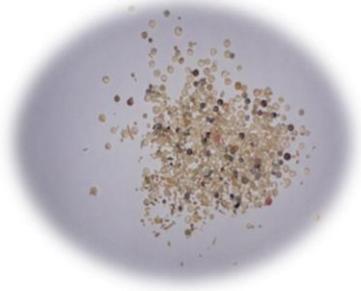
Matériels et méthodes

1. Matériel végétal :

Le matériel végétal choisi est huit variétés de graines de *Chenopodium quinoa* Willd. Les semences ont été fournies par l'Institut Technique de Développement de l'Agriculture Saharienne (ITDAS), sise à Ain Ben Naoui (Biskra).

Tableau11 : Caractéristiques des variétés utilisées dans l'essai.

Variété	Caractéristiques	Espèce(photo originale)
V1	Couleur : Blanche crème Diamètre : 1mm	
V2	-Couleur : Marron presque noire -Diamètre : 1mm	
V3	-Couleur : Marron -Diamètre : 1mm	
V4	-Couleur : Jaune d'or -Diamètre : 1.5mm	

v5	-Couleur : très blanche, framboise et marron -Diamètre : 1mm	
V6	-Couleur : Ocre -Diamètre : 1.5mm	
V7	-Couleur : Blanche -Diamètre : 1mm	
V8	-Couleur : Beige et framboise -Diamètre : 1mm	

(Source ITDAS)

2. Objectif du travail :

Notre travail a été réalisé au niveau de la wilaya de Constantine, la zone el khroub ayant pour but de :

- Sélectionner des variétés mieux adaptées aux conditions climatiques dans la région semi-aride.
- Étudier le cycle de vie du quinoa dans la région semi-aride.

-Caractérisation par électrophorèse des protéines de graines du quinoa à partir la technique SDS-PAGE.

3. Présentation des zones d'étude :

3.1. Zone de Constantine et station du I.T.G.C d'El-Khroub :

La zone d'El-Khroub où se situent nos champs d'étude, est limitée au Nord par la ville de Constantine, au sud par la wilaya d'Oum El Bouaghi, à l'Est par la région d'Oued Zenati et à l'Ouest par la wilaya de Mila. Les hautes plaines de la zone de Constantine sont situées au sud-est de la wilaya entre les chaînes de l'atlas tellien et l'atlas saharien. Elles s'étendent sur les communes d'Ain Abid, Ouled Rahmoun, El-Khroub, Ain Smara ainsi que Ben Badis.

L'étude est menée dans la ferme expérimentale du I.T.G.C (Institut Technique des Grandes Cultures), situées à El-Khroub, à 15 Km au sud-est de Constantine à une latitude: $36^{\circ}67'N$ longitude $6^{\circ}55'E$, avec une altitude moyenne de 640m.

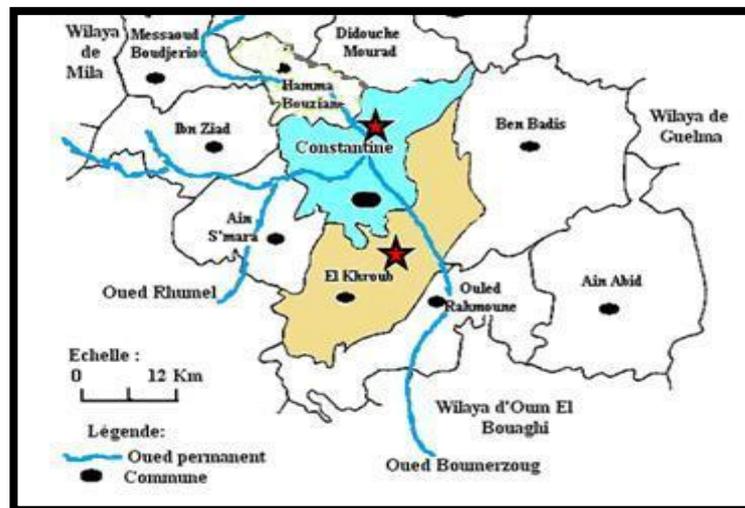


Figure18 : Carte géographique de la zone El-khroub.

3.2. Caractéristiques climatiques de la région:

Le climat de la wilaya de Constantine est méditerranéen avec des températures à fortes amplitudes (**tableau 12**). La moyenne pluviométrique varie de 500 mm à 700 mm par ans. Il y fait froid l'hiver jusqu'à $-6^{\circ}C$ enregistrés et très chaud l'été avec des pics de chaleurs allant jusqu'à $47^{\circ}C$.

Tableau12 : Données climatiques à Constantine.

Mois	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température minimale moyenne (°C)	2	3	4	6	10	15	17	18	15	11	6	3	9
Température moyenne (°C)	7	8	10	12	16	21	25	25	21	16	11	8	15
Température maximale moyenne (°C)	11	12	14	17	22	28	32	32	27	22	16	12	21
Record de froid (°C)	-3	-3	-2	-2	-2	1	5	8	10	7	2	-3	-3
Record de chaleur (°C)	22	27	27	30	35	41	41	41	38	36	27	27	41
Précipitations (mm)	80	60	60	50	40	20	0	10	20	40	50	80	560

Source : Weatherbase, statistiques sur 20 ans

4. Analyse physico-chimique du sol :

4.1. Mesure du pH :

Selon (Dinon et Gerstmans,2008) ,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, 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 de notre sol d'étude est égal 7,30. C'est un sol neutre.

4.1.2. Mesure de la conductivité électrique d'un sol (CE) :

Elle mesure la teneur en sels solubles dans une solution, la mesure a été faite à l'aide d'une conductimètre (ms/cm).

La valeur obtenue est : CE = 0.454 ms/cm, à température 19.4 °C

5. Partie expérimentale :

5.1. Dispositif expérimental :

Le dispositif expérimental contient trois blocs (03 répétitions), chaque variété semis en 03 lignes. L'essai englobe aux totales 03 parcelles élémentaires de différentes dates.

-L'espace entre la limite gauche de la parcelle et le premier poquet est de 30 cm ;

- L'espace entre la limite droite de la parcelle et le dernier poquet est de 30 cm ;

-L'espace entre deux poquets dans la même ligne est de 30 cm ;

-L'espace entre deux lignes est de 50 cm ;

-L'espace entre variété est de 100 cm, (exceptionnellement pour les 03 variétés : V₀₆, V₀₇ et V₀₈) 200 cm ;

-Le nombre de poquets par ligne est de 16 poquets ;

-L'espace entre deux parcelles est de 100 cm.

6. Paramètres réalisés :

6.1. Paramètre Phéno-morphologie de la plante :

6.1.1. Paramètre morphologique :

-La hauteur de la plante (cm)

-Nombre des feuilles et panicules lors des stades de croissance des plantes

6.1.2. Paramètre Phénologique :

- Date Deux feuilles réelles
- Date quatre vraies feuilles
- Date six vraies feuilles

- Date de la première ramification
- Dentelure et couleur des feuilles
- Début de formation de panicule
- Forme et couleur de la panicule
- Début de floraison (précocité)

6.2. Caractérisation par électrophorèse des protéines par SDS-PAGE :

6.2.1. Principe :

L'électrophorèse en gel de polyacrylamide contenant du laurylsulfate de sodium ou SDS-PAGE (sigle anglophone de sodium dodécyl-sulfate polyacrylamide gel électrophorèses).

L'électrophorèse des protéines sur un gel de polyacrylamide dénaturant en présence de sodium dodécylsulfate (SDS) est employée pour séparer les protéines en fonction de leur poids moléculaire. Ce traitement au SDS et au β -mercaptoéthanol permet d'une part la dissociation des sous-unités des protéines oligomériques, et d'autre part l'adsorption d'un grand nombre des ions dodécylsulfates chargés négativement sur tous les monomères. La mobilité électrophorétique de ces complexes protéines-SDS dépend donc uniquement du poids moléculaire des monomères qui sont déterminés par comparaison avec la mobilité des protéines étalons.

6.2.2. Extraction des protéines:

Les 08 variétés de graines du quinoa seront par la suite broyées au mortier jusqu'à l'obtention d'une poudre fine qui sera conservée dans des tubes à essai jusqu'à utilisation.

- Peser 0,1g de chaque poudre fine des différentes variétés et recueillir dans des Eppendorf de 1,5ml.
- Solubiliser dans 300 μ L de tampon phosphate /NaCl pH 7,8.
- Homogénéisation par passage au vortex.
- Centrifuger les Eppendorf à 15000g et à 4°C pendant 15min.
- Eliminer le surnageant délicatement.
- Conserver à 4°C.

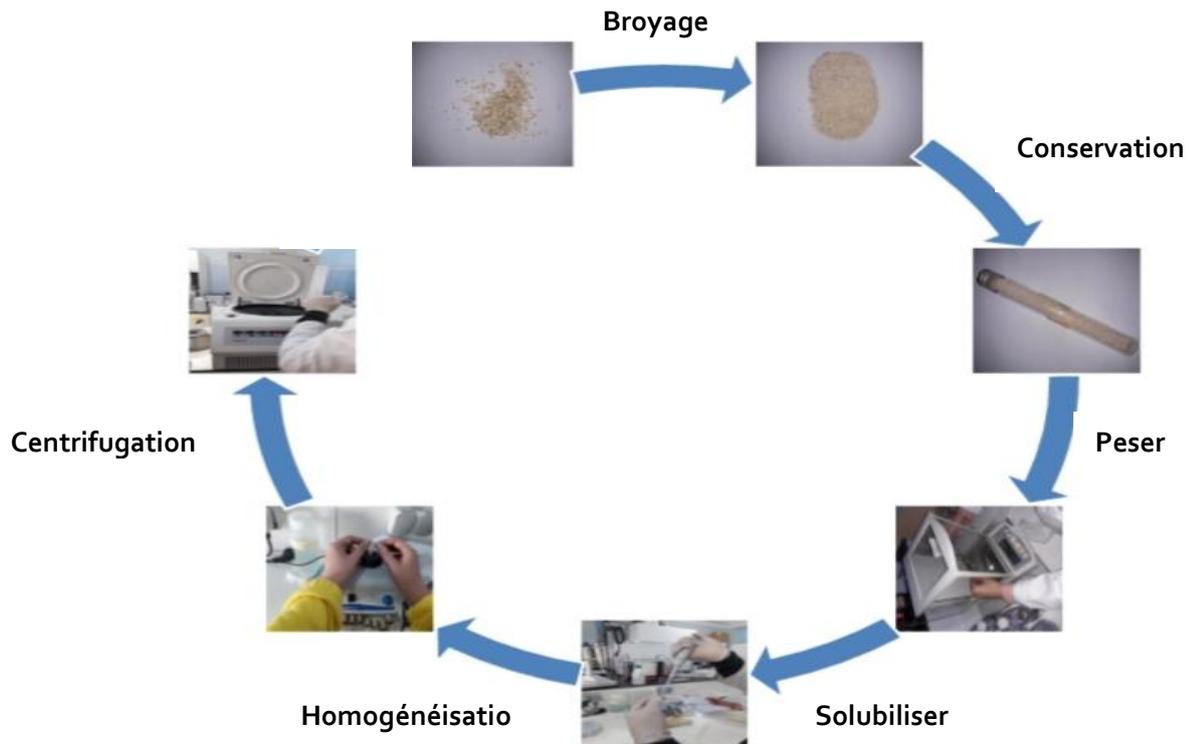


Figure19 : Les étapes d'extraction des protéines.

6.2.3. Préparation des gels :

Dans la méthode de séparation par SDS-PAGE nous devons préparer deux types de gels: Un gel de séparation qui permet de fractionner les différentes protéines selon leurs poids moléculaires et un gel de concentration permettant de retenir les impuretés et de tasser les protéines.

Avant de préparer les gels on doit procéder au montage des plaques, après les avoir nettoyées à l'éthanol, puis on les place l'une contre l'autre.

A. Gel de séparation a 12% :

Constitué de :

<u>12%</u>	<u>10ml</u>
H2O	3.3
30 % Acrylamide mix	4.0
1.5M TRIS(PH8.8)	2.5
10% SDS	0.1
10 % APS	0.1

TEMED	0.004
-------	-------

Une fois tous les constituants mélangés (les catalyseurs sont ajoutés en dernier lieu), le gel est coulé doucement entre les plaques (montées au paravent) pour ne pas faire de bulles jusqu'à un niveau délimité sur l'une des plaques pour laisser la place au gel de concentration.

Ensuite, on coule une fine couche d'alcool pour égaliser la surface du gel et éviter son contact avec l'air afin de faciliter la polymérisation.

B. Gel de contraction 4% :

Constitué de :

<u>4%</u>	<u>3ml</u>
H2O	2.1
30% Acrylamide mix	0.5
1.0M TRIS(PH6.8)	0.38
10% SDS	0.03
10 %APS	0.03
TEMED	0.003

Le gel de concentration est coulé sur le gel de séparation, les peignes sont posés bien centrés entre les plaques en évitant de faire de bulles. Après polymérisation du gel les peignes sont retirés soigneusement puis on dépose nos échantillons.

6.2.4. Technique SDS-PAGE :

Le dépôt des échantillons a été effectué de la manière suivante :

- 20 µl de chaque échantillon +4 µl du tampon de charge.

-l'ensemble est incubé à 95° pour 10 min afin d'assurer la dénaturation des protéines.

-autour de 25 µl pour chaque échantillon a été déposé le gel polyacrylamide à 12% dont le générateur est réglé à 180Vet 60mA.

6.2.5. Migration :

Après le dépôt des différents échantillons, la cuve d'électrophorèse (bac inférieur) est remplie à un niveau suffisant avec le tampon d'électrophorèse.

Le bac supérieur situé entre les deux plaques est rempli lui aussi avec le même tampon jusqu'à ce que les faces supérieures des gels soient immergées; ce dernier est placé dans la cuve d'électrophorèse pour que les faces inférieures des gels plongent dans le tampon.

Enfin, on ferme la cuve puis on la relie à un générateur qui va assurer le passage du courant électrique. La migration est menée avec une intensité constante.

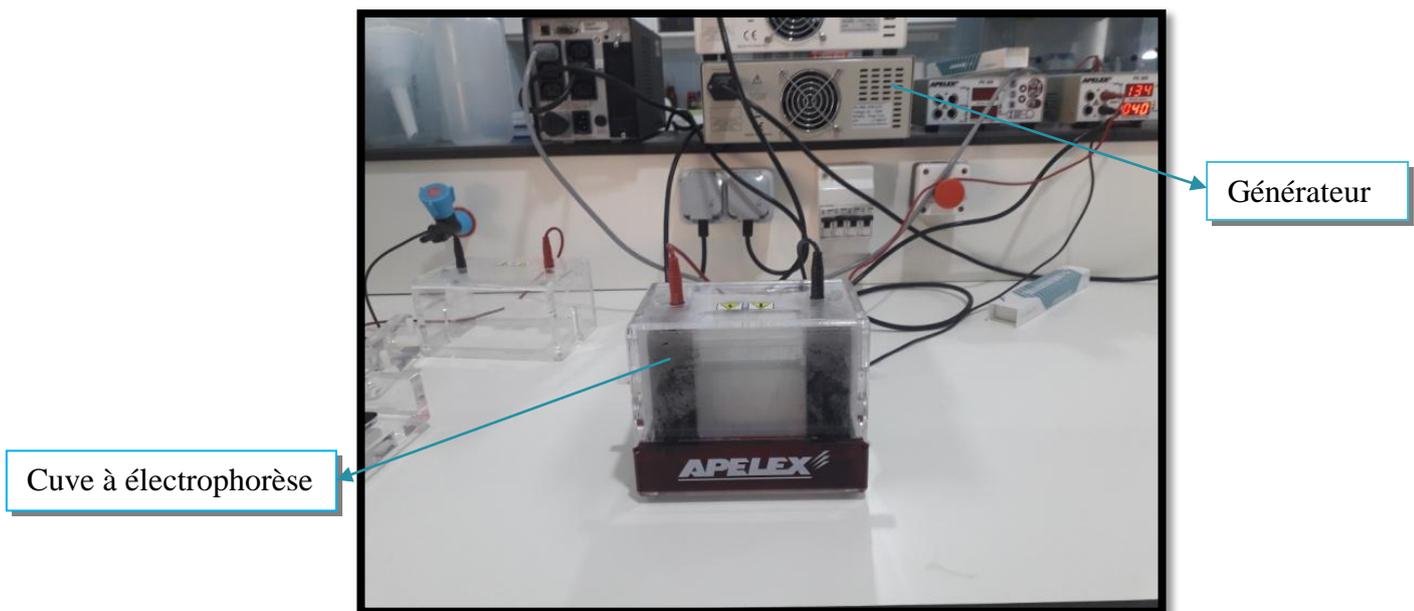


Figure 20 : La migration des protéines sur le gel polyacrylamide.

6.2.6. Coloration:

Après la sortie du front de migration (coloré en bleu), la migration est arrêtée. Les gels sont démoulés et récupérés dans des bacs en plastique puis recouverts avec une solution de fixation constituée d'un fixateur des protéines, le TCA (acide trichloroacétique) à 30% puis dans la solution de coloration, le bleu de Coomassie R250. Les gels doivent être maintenus en agitation pendant 24 heures pour éviter le dépôt du colorant. Après, ils sont décolorés par une solution de décoloration.



Figure21 : La coloration de gel avec le bleu de Coomasse.

Partie III

Résultats et discussion

1. Paramètres phéno-morphologique :

1.1. Paramètres phénologiques :

Les résultats enregistrés pour les phases phénologiques de *chenopodium quinoa* dans notre région les huit variétés sont différentes :

On a enregistré que les trois premières phases sont supérieures à 60 jours pour les variétés (V1, V2, V3, V4 et V7) qui sont des variétés précoces, tandis que les autres variétés sont des variétés tardives.

La phénologie est les changements externes visibles dans le processus de développement des plantes, qui sont le résultat de conditions environnementales, dont le suivi est une tâche très importante pour les agronomes et les agriculteurs, car cela servira à mener à bien les futurs programmes de travail culturel.

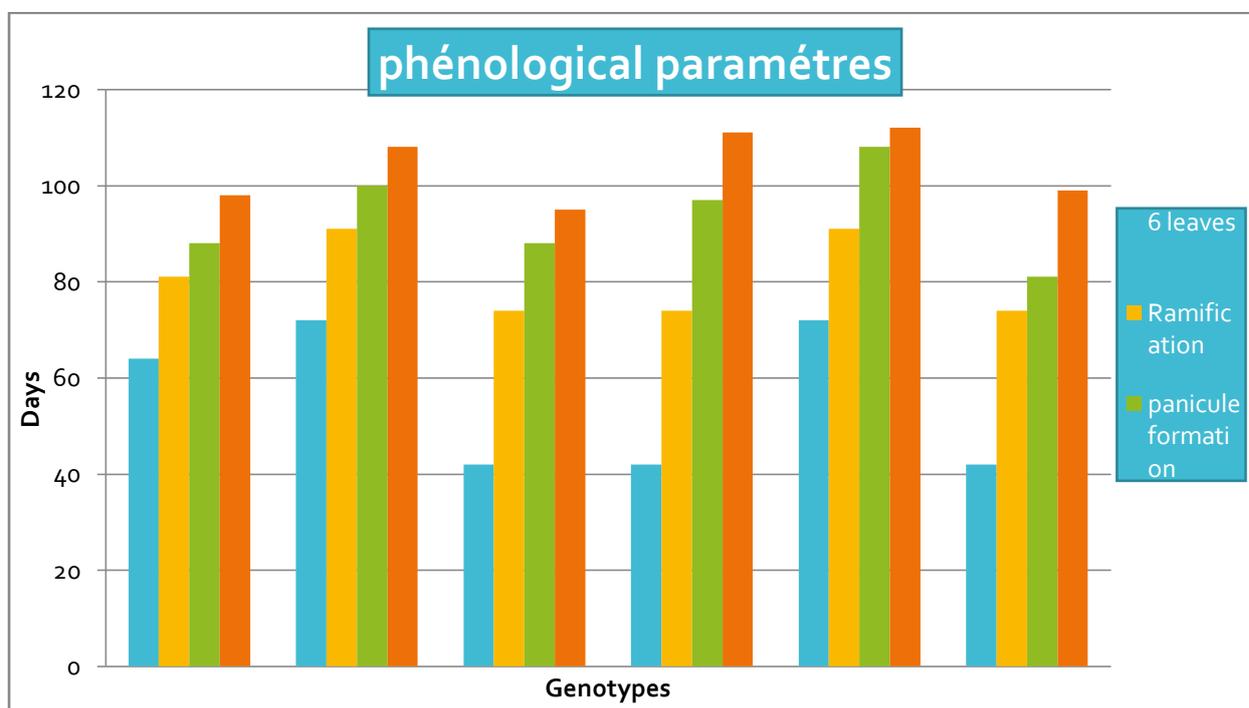


Figure 22: Les caractères phénologiques des génotypes de *chenopodium quinoa*.

1.2. Paramètres morphologiques :

1.2.1 .Hauteur de la plante :

Nos résultats ont montré que la hauteur de la plante été très variables entre génotypes :

La plus haute a été enregistré chez V8 avec une hauteur de 28,5cm contrairement la variété V1 qui enregistré 18cm, les autres variétés varient entre (25,5 et 28cm).

Du point de vue de la classification, tous les caractères morphologiques n'ont pas la même valeur. Parmi les plus constants figurent mentionner:

- l'habitude de la plante
- La hauteur
- les formes de l'inflorescence, la feuille et le fruit .Ils sont de bons caractères pour différencier les variétés.

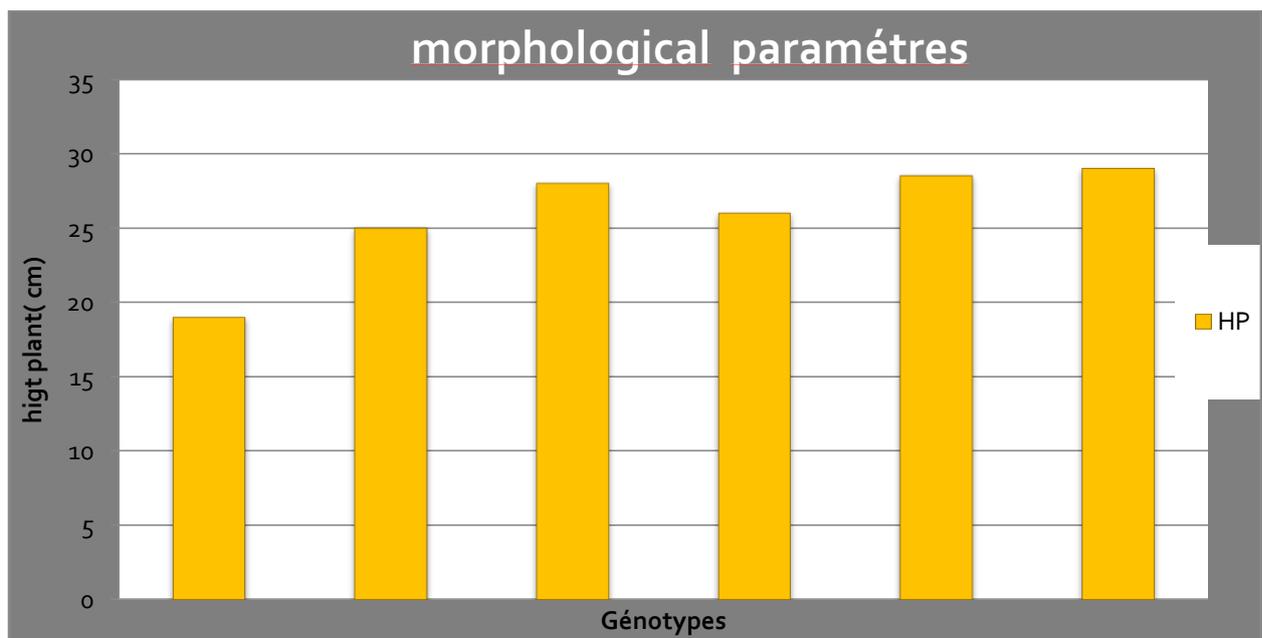


Figure 23 : La hauteur de la plante.

1.2.2. Caractères morphologiques :

D'après les observations mentionnées dans le tableau ci-dessous :

-La couleur des feuilles varie d'une variété à l'autre, de la couleur verte moyenne chez V1.V2.V3 vers le vert clair qui a été observé chez V4, tandis que le vert foncé a été observé chez V5, V8 et la couleur pourpre chez V6.

- La taille des feuilles varie d'une variété à l'autre, on a remarqué que les variétés V1, V6 ont des feuilles larges par rapport à V2, V3, quant aux autres variétés elles ont une taille moyenne.

- Concernant La hauteur de la plante, on a remarqué que les variétés V5, V6, V8 sont haute plus que les variétés V2, V4, V7 et les variétés V1, V 3 sont petites.

- La durée de maturité de la panicule est différente d'un génotype à l'autre, on a remarqué que V3, V5, V8 sont précoce contrairement aux variétés V4, V6, V7 qui sont tardive par rapport aux autre variétés.

Les caractères morphologiques nous permettent d'évaluer l'avancement de la saison agricole et d'avoir une idée précise des rendements possibles de nos cultures.

Tableau 13 : Observation de quelques caractères morphologiques de la plante.

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
1. couleur des Feuilles	vert moyen	vert moyen	vert moyen	Vert clair	vert foncé	pourpre	vert moyen	vert foncé
2. taille des feuilles	grande	petite	petite	moyenne	moyenne	grande	moyenne	moyenne
3. dentelure des Feuilles	faible	forte	Faible	faible	forte	faible	moyenne	moyenne
4. hauteur de la plante	basse	moyenne	Basse	moyenne	haute	haute	moyenne	haute
5. Panicule	moyenne	moyenne	Précoce	tardive	précoce	tardive	tardive	précoce

2. Electrophorèses des protéines:

D'après le profil électro phorétique nous constatons la présence de 3 bandes protéiques pour chaque variété.

La bande supérieure à la même taille au niveau de toutes les variétés, même observation pour la deuxième et la troisième bande.

On n'a constaté que les protéines totales de chaque variété à la même valeur que les autres génotypes.

Les protéines est faite d'acides aminés, certains d'entre eux sont appelés <<essentiel>> parce que nous ne pouvons pas les produire nous avons besoin de les obtenir à partir de l'alimentation.

Le quinoa est riche en protéines par rapport à la plus part des aliments d'origine végétale, il contient également tout les acides amines essential dont nous avons besoin.

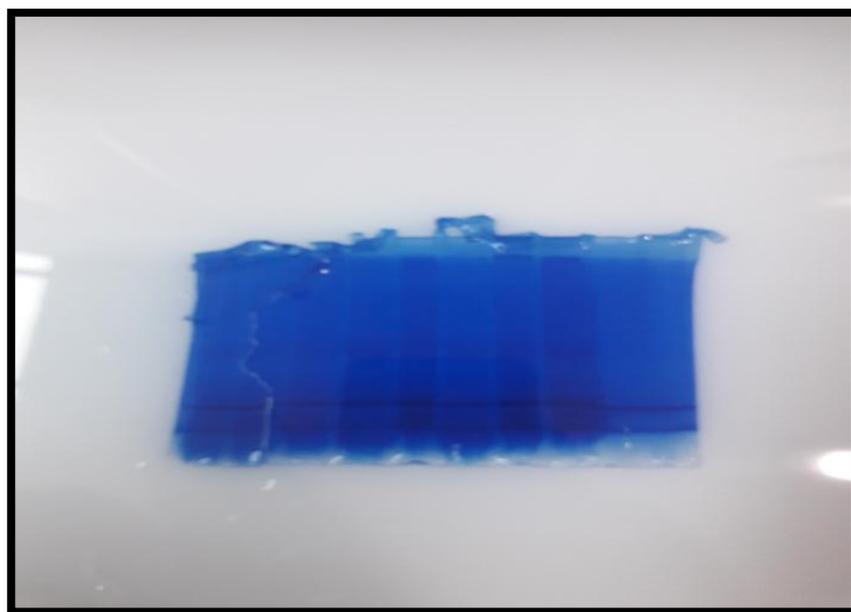


Figure 24 : Le profile électro phorétique.

Conclusion générale

Conclusion générale

La présente étude est réalisée au niveau de deux régions, la ferme expérimentale de l'ITGC (Institut Technique des Grandes Cultures), située à El-Khroub à 15 Km au Sud-est de Constantine et la serre (ChaabetEl Ressasde l'Université des Frères MentouriConstantine 1) appartenant à l'étage bioclimatique méditerranéen. Aussi Nous avons également attribué et comparé des protéines de quinoa au niveau du laboratoire de biotechnologie (CRBT)

L'enquête menée sur la culture de quinoa, nous a permis de donner une idée générale sur la situation de cette nouvelle culture dans la région semi aride d'est algérien. En effet, nous avons décelé que :

65% des sols sont de texture sableuse- argileuse, 30% sont de type sableux et 5% à texture argileuse. En effet la texture sableuse – argileuse est considérée comme meilleure texture qui favorise l'amélioration des caractéristiques de la culture de quinoa et en donnant des meilleurs rendements.

Le labour est une étape essentielle dans la préparation du lit de semence pour la culture du quinoa, et cela dépend du type de sol et ça vaut mieux être un labour superficiel.

Les graines de quinoa sont généralement plantées manuellement par les agriculteurs.

L'irrigation par le système goutte à goutte est le système le plus pratiqué suivi par l'aspersion (pivot) et quelques agriculteurs irriguent par submersion.

Le désherbage est un moyen de désinfection du sol pour éliminer les plantes adventices compétitives à la culture de quinoa Comme le kinopode, qui ressemble beaucoup au quinoa dans ses caractéristiques morphologiques.

Parmi les variétés plantées, nous avons trouvé que les variétés v5, v6, v7 et v8 sont les variétés les mieux adaptées dans la région semi-arides, lorsqu'il continue de croître à toutes les étapes phénologiques du cycle de vie du quinoa.

D'après les études menées les variétés v5, v6, et v8 sont les variétés les plus efficaces et réussies, ils portent les qualités souhaitable de précocité, maturité rapide, la résistance et aussi les caractères morphologiques (la hauteur de la plante, la forme et couleur de la feuille, aussi maturité de panicules).

D'après le profil électrophorétique Nous déduisons la présence d'une grande affinité dans les protéines totales de telle sorte que chaque variété a la même valeur des protéines.

Les principaux changements de température se produiront à des latitudes plus élevées, et des vagues de chaleur plus fréquentes et plus graves sont prévues (GIEC, 2014). La hausse des températures ambiantes mondiales affectera la croissance, le développement et la productivité des plantes. Les températures changent également d'une saison à l'autre et varient quotidiennement (Hasanuzzaman, Nahar, Alam, Roychowdhury et Fujita, 2013). L'augmentation de la température pendant une période de temps donnée qui produit des dommages irréversibles à la croissance et au développement des plantes est connue sous le nom de stress thermique. Le stress thermique est une fonction complexe de la durée, de l'intensité et du taux d'augmentation de la température (Wahid, Gelani, Ashraf et Foolad, 2007). Le stress thermique provoque différentes réponses selon les espèces végétales, en fonction de la durée de l'augmentation de la température et du stade de développement de la plante lorsque le stress thermique s'est produit (Driedonks, Rieu et Vriezen, 2016; Prasad, Bheemanahalli et Jagadish, 2017). En général, le stade de reproduction des plantes est plus sensible au stress thermique que les stades végétatifs (Prasad et al., 2017). Par exemple, plusieurs cultures comme le pois (Jiang et al., 2015), le pois chiche (Devasirvatham et al., 2013), le haricot commun (Gross et Kigel, 1994), la tomate (Xu et al., 2017; Zhou et al., 2015), le blé (Prasad et Djanaguiraman, 2014), le soja (Djanaguiraman, Prasad, Boyle et Schapaugh, 2013) et le sorgho (Djanaguiraman, Prasad, Murugan, Perumal et Reddy, 2014; Djanaguiraman, Perumal, Jagadish, et al., 2018) ont été signalés comme étant sensibles aux températures élevées pendant le stade de développement reproducteur mâle, réduisant ainsi la viabilité du pollen, la production de pollen et la production de graines. La sensibilité au stress thermique des gamétophytes femelles dans le millet perlé a également été signalée (Djanaguiraman, Perumal, Ciampitti, Gupta et Prasad, 2018).

En fin, La culture du quinoa est nouvellement introduite dans la zone d est, elle est encore sous test pour démonstration et vulgarisation au niveau de plusieurs essaies. A fin de répondre aux objectifs du développement de cette culture, Il est nécessaire de mener des études approfondies et détaillées pour la plantation de quinoa dans les zones semi-arides pour développer son rendement et remplacer certaines des cultures qui dominent la région, comme le blé et l'orge.

Perspectives :

Sachant que notre pays possède une biodiversité immense dont chaque plante se caractérise par un réservoir assez important qui demandent d'être exploitées par les recherches, de cet effet, et comme perspectives on propose de :

- Faire une étude approfondie sur les huit variétés étudiées.

- Faire un croisement multiple entre les variétés.

Pour des variétés qui reflètent sur le rendement sous les conditions de la sécheresse.

-Faire une étude biochimique sur le quinoa.

References

Bibliographiques

References bibliographiques

- Alvarez-Jubete L., Arendt E.K., Gallagher E. (2009).** Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 60(S4), 240-257.
- Ando H., Chen Y., Tang H., Shimizu M., Watanabe K., Mitsunaga T. (2002).** Food components in fractions of quinoa seed. *Food Sci. Technol. Res.*, 8(1), 80-84.
- Baize D. 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie. INRA
- Bastidas Ramirez BE, García Bañuelos JJ, GordilloBastidas E, GordilloBastidas D.** Nutrigenómica y nutrigenética [Internet]. México; 2013 [citado 25 de novembre de 2015]. 277-287p.
- Berghofer E., Schönlechner R. Grain Amaranth.** In : Belton P.S., Taylor J.R.N., editors. *Pseudocereals and less common cereals*, Berlin, Germany, Springer, 2002, 219-260.
- Bhargava A, Shukla S, Ohri D (2006a)**Chenopodium quinoa—an Indian perspective. Industrial.
- Bhargava,A.,Shukla,S.,Ohri,D.2007a.**Genetic variability and interrelationship among crops Research ,101 :104-116.
- **Boubaiche.y., 2016.**Essai de comportement de trois variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) dans la région de Biskra. Mémoire de Master. Université MohamedKhider .Biskra, p:11.
- Brownawell A.M., Caers W., Gibson G.R., Kendall C.W.C., Lewis K.D., Ringel Y., et al. (2012).**Prebiotics and the health benefits of fiber: current regulatory status, future research, and goals. *J. Nutr.*,142(5), 962-974.
Disponible en:<http://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1473&ionid=102745671>
- Del Castillo C., Gregory M., Winkel T., 2008.** Le Quinoa en Bolivie : une culture ancestrale devenue culture de rente « bio-équitable ». *Biotechnol. Agron. Soc.Envion.*, 12(4) : 421-435
- Dharm S. 2019.** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential crop for future food, health security, livelihood generation and poverty eradication, India. p. 285.
- Dini N., Rastrilli L., Saturnino P., Schittino A. (1992).** A composition study of *Chenopodium quinoa* seeds. *Food / Nahrung*, 36(4), 400-404.
- Dinon,E.etGerstmans,A.2008.**L'influence du ph sur l'assimilation des éléments nutritifs

Du sol par les plantes et sur la variété des plantes. Université de Liege ,Printemps des sciences,4p.www2.ulg.ac.be/sciences/printemps/pedagogique/1151.pdfy. accédé le 15 Mars 2014 .

-FAO STAT, F. (2010). "Disponívelem:< <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>." Acessadoemsetembro.

-FAO (2011). Quinoa: an ancient crop to contribute to world food security. <http://www.fao.org/docrep/017/aq287e/aq287e.pdf>, consulté le 21 novembre 2014.

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

-Fairbanks D.J., Burgener K.W., Robison L.R., Andersen W.R., Ballon E. (1989). Electrophoretic characterization of quinoa seed proteins. *Plant Breeding*, 104(3), 190-195.

-Galwey, N. W., Leakey, C. L. A., Price, K. R., & Fenwick, G. R. 1989. Chemical Composition and Nutritional Characteristics of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Sciences and Nutrition*, 42(4) : 245–261.

-Galwey, N. (1995). Quinoa and relatives. *Evolution of crop plants*, Longman, Harlow, UK: 41-46.

-Gallardo, M., J.A. Gonzalez and G. Ponessa, 1997. Fruit and seed morphology of *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa). *Fundacion Miguel Lillo, Areade de Botanica, Miguel Lillo.*, 251: 39(1): 71-80.

-Gandarillas ,H.,1979. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Genética y origen.In: *La Quinua y la Kaniwacultivos andinos*.Tapia,ME.,Ganaarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A.,

-Gandarillas H. (1979).Botánica. In : *Tapia M.E., Gandarillas H., Alandia S., Cardozo A., Mujica A.*

-Herbillon M. 2015. Le quinoa : intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. Thèse de doctorat d'état, université de Rouen U.F.R de médecine et de pharmacie, 127p.

-Herbillon M., 2015. Le Quinoa: Intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. thèse doctorat en pharmacie. Université de Rouen u.f.r de médecine et de pharmacie. France, pp:27-50.

-Hunziker A.T. (1943). Los especiesalimenticias de *Amaranthus* y *Chenopodium*cultivadaspor los Indinos de America. *Rev. Argent. Agron.*, 30(4), 297-353.

-Jacobsen S.E., Stolen O. (1993). Quinoa – Morphology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe. *Eur. J. Agron.*, 2(1), 19-29.

- **Jacobsen S.E., 1997.** Adaptation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) to Northern European agriculture: studies on developmental pattern. *Euphytica*, 96, 41-48
- Jancurová M., Minarovicová L., Dandár A. (2009).** Quinoa—a Review. *Czech J. Food Sci.*, 27(2), 71-79.
- Jyoti G., Chanu H. 2018.** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) – The forgotten golden grain. International journal of food and nutritional sciences. Vol. 7 N°1, <http://www.ijfans.com/currentissue.php>
- Koziol M. (1992).** Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J. Food Compos. Anal.*, 5(1), 35-68.
- Lamothe L.M., Srichuwong S., Reuhs B.L., Hamaker B.R. (2015).** Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) and amaranth (*Amaranthuscaudatus*L.) provide dietary fibres high in pectics.
- Laguna P., Cáceres Z. &Carimentrand A., 2006.** Del altiplano sur boliviano hasta el mercado global: coordinación y estructuras de gobernanca en la cadena de valor de la quinua orgánica y delcomerciojusto. *Agroalimentaria*, 22, 65-76.
- Lebonvallet S.2008.** Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l’altiplano bolivien. Thèse de doctorat d’état, L’Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l’Environnement (Agro Paris Tech), Paris 247p.
- ubstances and xyloglucans. *Food Chem.*, 167, 490-496.
- Lim, T. (2013).**Chenopodium quinoa. Edible medicinal and non-medicinal plants, Springer: 115-131.
- Lorenz K. (1990).** Quinoa (*Chenopodium quinoa*) starch: physicochemical properties and functional characteristics. *Starch - Stärke*, 42(3), 81-86.
- Mujica, Á.,Izquierdo, J., Marathee, J. P., &Capítulo, I. (2001).**Origen y descripción de la quinua. Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral cultivoandino, alimentodelpresente y futuro. Editores. Mujica, A., Jacobsen, SE, Izquierdo, J., Marathee, JP). FAO, UNA, Puno, CIP. Santiago de Chile, 9-29.
- Ortiz R., et al.,** editors. *La quinua y la kañiwa: cultivosandinos*. Bogotá, Colombia, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), InstitutoInteramericano de CienciasAgrícolas (IICA), 20-44.
- Oshodi A.A. Ogungbenle H.N., Oladimeji M.O. (1999).** Chemical composition, nutritionally valuable minerals and functional properties of benniseed (*Sesamumradiatum*), pearl millet (*Pennisetumtyphoides*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*) flours. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 50(5), 325-331.

- OUCIF.Z et al .,2018.** Evaluation du comportement morpho-physiologique, biochimique et antioxydants des quelques variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivées dans la région d'El Oued. Université EchahidHamma Lakhdar –El OUED . Département de biologie .pp:9.
- Prego I., Maldonado S. &Otegui M., 1998.** Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. *Ann. Bot.*, 82, 481-488.
- Przybylski R., Chauhan G.S., Eskin N.A.M. (1994).** Characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) lipids. *Food Chem.*, 51(2), 187-192.
- Ranhotra G., Gelroth J., Glaser B., Lorenz K., Johnson D. (1993).** Composition and protein nutritional quality of quinoa. *Cereal Chem.*, 70(3), 303-305.
- Repo-Carrasco R., Espinoza C., Jacobsen S.-E. (2003).** Nutritional value and use of the andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Rev. Int.*, 19(1-2), 179-189.
- Ruales J., Nair B.M. (1993a).** Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seeds. *Food Chem.*, 48(2), 131-136.
- Schoenlechner R., Siebenhandl S., Berghofer E. Pseudocereals.** In: Arendt E.K., Bello F.D., editors. *Gluten-free cereal products and beverages*. Academic Press, 2008, 149-190.
- Tapia M., Gandarillas H., Alandia S., Cardozo A., Mujica A., Ortiz R., Otazu V., Rea J., Salas B., Zanabria E.1979.** La Quinoa y la Kañiwa : cultivos andinos. Colombia, Bogota. 228p.
- Tapia M.E., Fries A.M.** *Guía de campo de los cultivos andinos*. FAO y ANPE. Lima, Perú 2007.<http://www.fao.org/docrep/010/ai185s/ai185s.pdf>, consulté le 3 décembre 2014.
- USDA (2015).** USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 27. Nutrientdata Laboratory Home Page.http://www.ars.usda.gov/main/site_main.htm?modecode=80-40-05-25, consulté le 5 janvier 2015.
- Valcárcel-Yamani, B. and S. d. S. Lannes (2012).** Applications of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and amaranth (*Amaranthus* spp.) and their influence in the nutritional value of cereal based foods. *Food and Public Health* 2(6): 265-275.
- Valencia-Chamorro S.A. Quinoa.**In :Cabalero B. 2ème éd. *Encyclopedia of Food Science and nutrition* (vol. 8), Amsterdam, Academic Press, 2003, 4895-4902.
- Villacorta, S. and V. Talavera (1976).** Anatomía del Grano de Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Wild.). *Anales Científicos UNA*.

-Zevallos V.F., Ellis H.J., Suligoj T., Herencia L.I., Ciclitira P.J. (2012). Variable activation of immune response by quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) prolamins in celiac disease. *Am. J. Clin. Nutr.*, 96(2), 337-344.

Résumé

Résumé

L'étude menée sur la culture de quinoa, nous a permis de donner une idée générale sur la situation de cette nouvelle culture dans la région de Constantine. Pour cela, nous avons utilisé huit variétés de graines de *Chenopodium quinoa Wild*. Les semences ont été fournies par l'Institut Technique de Développement de l'Agriculture Saharienne (ITDAS).

L'objectif de ce présent travail consiste à collecter des données visant essentiellement à évaluer l'introduction de la culture de quinoa (*Chenopodium quinoa Wild*) dans un milieu semis aride. Pour cela nous avons sélectionné les variétés les plus adaptées aux conditions climatiques de cette région, l'étude du cycle de vie et caractères phéno morphologique du quinoa en zone semi-aride, la caractérisation par électrophorèse des protéines de graines de quinoa par la technique SDS-PAGE. En effet, les principaux résultats dégagés sont : la texture sableuse – argileuse est considérée comme meilleure texture qui favorise l'amélioration des caractéristiques de la culture de quinoa et en donnant des meilleurs résultats, Les variétés V5, V6, V7 et V8 sont les variétés les mieux adaptées dans la région semi-arides, ils portent les qualités souhaitables de précocité, maturité rapide, la résistance et aussi les caractères morphologique (la hauteur de la plante, la forme et couleur de la feuille, aussi maturité de panicules). d'après le profil électrophorétique nous déduisons la présence d'une grande affinité dans les protéines totales de telle sorte que chaque variété a la même valeur des protéines.

Mots clés: quinoa (*Chenopodium quinoa Wild*), région de Constantine, semis aride, ITDAS, SDS-PAGE.

ملخص

الدراسة التي أجريت على زراعة الكينوا سمحت لنا بإعطاء فكرة عامة عن حالة هذه الثقافة الجديدة في منطقة قسنطينة. لهذا الغرض ، استخدمنا ثمانية أصناف من بذور تشينوبوديوم كينوا وولد التي تم توفير البذور من قبل المعهد الفني لتنمية الزراعة الصحراوية (ITDAS).

الهدف من هذا العمل هو جمع البيانات التي تهدف في المقام الأول إلى تقييم إدخال ثقافة الكينوا (*Chenopodium quinoa Wild*) في بيئة الشبه القاحلة. لهذا الغرض ، اخترنا الأصناف الأكثر ملائمة للظروف المناخية لهذه المنطقة ، ودراسة دورة الحياة والخصائص المظهرية للكينوا في المناطق شبه القاحلة ، ودراسة بروتينات بذور الكينوا عن طريق التشخيص الكهربائي بواسطة تقنية SDS-PAGE. في الواقع ، النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها هي كالتالي: يعتبر القوام الرملي الطيني أفضل قوام يعزز تحسين خصائص ثقافة الكينوا ويعطي نتائج أفضل ، الأصناف V5 و V6 و V7 و V8 هي الأصناف تتكيف بشكل أفضل في المنطقة شبه القاحلة ، فهي تحمل الصفات المرغوبة من النضج السريع ، والمقاومة وكذلك الصفات المورفولوجية (ارتفاع النبات ، وشكل الورقة ولونها ، ونضج العناقيد الزهرية أيضاً). بعد التشكيل الجانبي الكهربائي ، نستنتج وجود تقارب كبير في البروتينات الكلية بحيث يكون لكل نوع نفس قيمة البروتين.

الكلمات الأساسية: كينوا (تشينوبوديوم كينوا وولد) ، منطقة قسنطينة ، شبه القاحلة. ITDAS ، SDS-PAGE.

Abstract

The study carried out on the cultivation of quinoa, allowed us to give a general idea of the situation of this new culture in the region of Constantine. For this, we used eight varieties of *Chenopodium quinoa Wild* seeds. The seeds were provided by the Technical Institute for the Development of Saharan Agriculture (ITDAS).

The objective of this work is to collect data primarily aimed at evaluating the introduction of the culture of quinoa (*Chenopodium quinoa Wild*) in an arid seedling environment. For this, we have selected the varieties most suited to the climatic conditions of this region, the study of the life cycle and phenomorphological characteristics of quinoa in semi-arid zones, the characterization by electrophoresis of the proteins of quinoa seeds by the SDS-PAGE technique. Indeed, the main results obtained are: the sandy - clay texture is considered as the best texture which favors the improvement of the characteristics of the quinoa crop and giving better results, The varieties V5, V6, V7 and V8 are the varieties best adapted in the semi arid region, they carry the desirable qualities of precocity, rapid maturity, resistance and also the morphological characters (the height of the plant, the shape and color of the leaf, also maturity of panicles). after the electrophoretic profile we deduce the presence of a high affinity in the total proteins such that each variety has the same protein value.

Key words: quinoa (*Chenopodium quinoa Wild*), Constantine region, arid seedling, ITDAS, SDS-PAGE.

Non et Prénom :

Ledra Ahmed Dia Eddine

Date de soutenance :

10/09/2020

Titre de mémoire :

La culture de quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild) dans la Wilaya de Constantine

Résumé :

L'étude menée sur la culture de quinoa, nous a permis de donner une idée générale sur la situation de cette nouvelle culture dans la région de Constantine. Pour cela, nous avons utilisé huit variétés de graines de *Chenopodium quinoa* Wild. Les semences ont été fournies par l'Institut Technique de Développement de l'Agriculture Saharienne (ITDAS).

L'objectif de ce travail consiste à collecter des données visant essentiellement à évaluer l'introduction de la culture de quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild) dans un milieu semi-aride. Pour cela, nous avons sélectionné les variétés les plus adaptées aux conditions climatiques de cette région, l'étude du cycle de vie et caractères phéno-morphologique du quinoa en zone semi-aride, la caractérisation par électrophorèse des protéines de graines de quinoa par la technique SDS-PAGE. En effet, les principaux résultats dégagés sont : la texture sableuse – argileuse est considérée comme meilleure texture qui favorise l'amélioration des caractéristiques de la culture de quinoa et en donnant des meilleurs résultats, Les variétés V5, V6, V7 et V8 sont les variétés les mieux adaptées dans la région semi arides, ils portent les qualités souhaitables de précocité, maturité rapide, la résistance et aussi les caractères morphologique (la hauteur de la plante, la forme et couleur de la feuille, aussi maturité de panicules).d'après le profil électrophorétique nous déduisons la présence d'une grande affinité dans les protéines totale de telle sorte que chaque variété a la même valeur des protéines.

Mots clés: quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild), région de Constantine, semi aride ,ITDAS,SDS-PAGE.

Membres de jury :

Président : Dr CHOUGHY

Saida

Prof .Université Constantine 1

Encadrant : Dr BOUCHARB

Radia

MCA. Université Constantine 1

Examineurs : Dr MOUELLEF

Adra

MCB .Université Constantine 1

Année universitaire : 2019_2020