



République Algérienne Démocratique et
Populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de L'enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université des frères Mentouri (Constantine 01)

جامعة الاخوة منتوري (قسنطينة 1)

Faculté des sciences de la nature et de la vie



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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Spécialité : Biologie et Physiologie de la Reproduction

Intitulé :

**CARACTÉRISATION PROTÉIQUE DES
DIFFÉRENTES GRAINES DE L'ESPÈCE QUINOA
(*CHENOPODIUM QUINOA WILLD.*)**

Présenté et soutenu par:

- ❖ Fedsa Safia
- ❖ Seggani Rayane

jury d'évaluation :

**Président : Dr. Kara K.
Encadrant : Dr. Bouchareb R.
Examineurs : Dr.Saoudi M.**

Année universitaire : 2022-2023

Remerciement

*Nous remercions tout d'abord **ALLAH** de nous avoir donné le courage, la volonté ainsi que la conscience pour que nous puissions te nos études et réaliser cette travail.*

*Nous voulons dans un premier temps remercier, Notre directrice de mémoire **Mme BOUCHAREB Radia**, pour avoir accepté de nos encadrer ainsi que pour sa patience, sa disponibilité, sa gentillesse et sa modestie.*

Toute notre gratitude va les membres de jury :

Mme Kara Karima et Mme Saoudi Mouna

pour avoir relu et corrigé notre mémoire et accepter d'évaluer ce modeste travail.

*Nous remercions beaucoup la personne qui a participé à ce travail **Semmar Rania**, et un grand merci pour sa patience.*

Nous remercions également toute l'équipe pédagogique de l'université des frères Mentouri (Constantine 01).



Dédicaces



Je remercie le grand Dieu qui m'a permis et m'a aidé à terminer ce mémoire .

Je dédie ce modeste travail :

*A ma mère **Ouassila** qui m'a doté d'une éducation digne, qui m'a donné son temps, son amour et ses prières. Que Dieu la protège.*

*A mon père **Mohamed** qui m'a fait confiance et m'encourage pour terminer mes études, que Dieu lui donne la santé.*

*A mes frères: **Djawad**, mon soutien et mon ami fidèle.*

***Sami** , mon âme soeur.*

*A mes soeurs: **Amel**, ma trésor et sa belle famille.*

Aida**, ma dextieme mamam et sa petite famille: **Chihel

***Eddine** mon petit anges et **Djalel** le beau frère.*

*A mon binôme **Seggani Rayane** que je considère comme une sœur.*

*A toute mes amis: **Amina, Bouhra, Takoua, Dounia, Ahlem,***

***Housna, Kaouther, Ghzala, Ouidad, Rayane et Nada** avec qui j'ai Passé de très bon moment, je leurs souhaite plein de bonheur et beaucoup de succès.*

Et je n'oublie pas la personne qui était un étranger, puis est devenu un ami,

puis est devenu mon tous.

Fedsi Safia





Dédicaces



Je remercie **ALLAH** de m'avenir donné la capacité d'écrire et terminer ce mémoire

Je dédie ce modeste travail à :

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et Source de joie et de bonheur, celui

qui 'est toujours sacrifié pour me voir Réussir mon père : **ADJIBE**

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de Mon cœur.

ma vie et mon bonheur : maman **NADHIRA BOUDADI**

Reçois à travers ce travail aussi modeste soient-ils l'expression de mes Sentiments et de mon éternelle gratitude. A' mes petits frères: **ABD EL WAHEB ,ABD EL RAHMANE,**

ABD EL KARIME

A' ma chère sœur, qui m'a toujours soutenue et encouragée durant mes années d'étude,

à mon binôme: **FEDSI SAFIA**

A mon cher fiancé, je le remercie pour ces encouragements et son soutien.

A' mes chères amies pour leur amour et soutien, avec elles j'ai passé les plus beaux et les plus vrais souvenirs et partagé les sentiments les plus profonds: **Ouidad ,zina, hadjer, soumia, hayate,**

kawter houssna, ahlam, dounia, chaïma A ma grande perte : **DJOUMANA.**

Toute personne qui porte le nom **«SEGGANI »** et toute ceux que m'aiment

SEGGANI RAYANE



Résumé

Le but de cette étude est de caractériser la diversité protéique de différentes graines de l'espèce Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) chez huit variétés **SIQ**, **Q21**, **Q26**, **AMQ**, **SMQ**, **ASQ**, **BJQ** et **G2Q**. Les paramètres réalisés sont : les protéines de réserve (Albumine, Globuline, Prolamine, Glutéline), Amidon, Amylose, les acides aminés et le pH.

Les résultats ont montré que les protéines de réserve chez l'espèce Quinoa sont : Albumine [31.8 et 36.73mg/g] [**ASQ**, **Q21**], Globuline [39.3 et 50.16 mg/g] [**SMQ**, **SIQ**], Prolamine [1.73 et 7.16 mg/g] [**SIQ**, **ASQ**], Glutéline [31.59 et 38.56mg/g] [**SMQ**, **SIQ**]. Les acides aminés [129.43 et 160.9 mg/g] [**AMQ**, **G2Q**]. La teneur d'Amidon et d'Amylose [280.03 et 762.5mg/g], [130.79 et 382.4 mg/g] [**SIQ**, **SMQ**], respectivement. Dans les huit variétés, le pH varie entre [5.98 et 6.43] [**Q26**, **AMQ**]. Enfin Les résultats montrent que la variété la plus riche en Albumine **Q21**, Prolamine **ASQ**. La variété **SIQ** est la plus riche en Globuline, Glutéline. La variété la plus riche en Amidon et Amylose est la variété **SMQ**. **G2Q** est la variété la plus riche en acides aminés. La teneur la plus élevée en pH est observée chez la variété **AMQ**. En conclusion, il y a une grande variabilité entre les variétés étudiées.

Mots clé : Quinoa, protéines de réserve, amidon, amylose, acides aminés, pH.

Summary

The aim of this study is to characterize the protein diversity of different seeds of Quinoa species (*Chenopodium quinoa* Willd.) in eight varieties **SIQ**, **Q21**, **Q26**, **AMQ**, **SMQ**, **ASQ**, **BJQ** and **G2Q**. The parameters carried are: reserve proteins (Albumin, Globulin, Prolamin, Glutelin), Starch, Amylose, amino acids and pH.

The results showed that the reserve proteins in Quinoa species are high: Albumin [31.8 and 36.73mg/g] [**ASQ**, **Q21**], Globulin [39.3 and 50.16 mg/g] [**SMQ**, **SIQ**], Prolamin [1.73 and 7.16 mg/g] [**SIQ**, **ASQ**], Glutelin [31.59 and 38.56mg/g] [**SMQ**, **SIQ**]. Amino acids [129.43 and 160.9 mg/g] [**AMQ**, **G2Q**]. Starch and Amylose content [280.03 and 762.5mg/g], [130.79 and 382.4 mg/g] [**SIQ**, **SMQ**], respectively. In the eight varieties, the pH varies between [5.98 and 6.43] [**Q26**, **AMQ**]. Finally, the results show that the variety richest in Albumin **Q21**, Prolamine **ASQ**. The **SIQ** variety is the richest in Globulin, Glutelin. The variety richest in Starch and Amylose is the **SMQ** variety. **G2Q** is the richest variety in amino acids. The highest pH content is observed in the **AMQ** variety. In conclusion, there is a high variability between the varieties studied.

Keywords: Quinoa, reserve proteins, starch, amylose, amino acids, pH.

الملخص

الهدف من هذه الدراسة هو توصيف التنوع البروتيني للبذور المختلفة لأنواع الكينوا في ثمانية أصناف **SIQ** و **Q21** و **Q26** و **AMQ** و **SMQ** و **ASQ** و **BJQ** و **G2Q**. المؤشرات التي تم إجراؤها هي: البروتينات الاحتياطية (الألبومين ، الجلوبيولين ، البرولامين ، الجلوتلين) ، النشا ، الأميلوز ، الأحماض الأمينية ، ودرجة الحموضة.

الهدف من هذه الدراسة هو توصيف التنوع البروتيني للبذور المختلفة لأنواع الكينوا في ثمانية أصناف **SIQ** و **Q21** و **Q26** و **AMQ** و **SMQ** و **ASQ** و **BJQ** و **G2Q**. المؤشرات التي تم إجراؤها هي: البروتينات الاحتياطية (الألبومين ، الجلوبيولين ، البرولامين ، الجلوتلين) ، النشا ، الأميلوز ، الأحماض الأمينية ، ودرجة الحموضة.

أظهرت النتائج أن البروتينات الاحتياطية في أنواع الكينوا ما يلي: الألبومين (31.8/ 36.73 ملجم/جم) (**Q21/ASQ**)، الجلوبيولين (39.3/50.16 ملجم/جم) (**SMQ/ SIQ**) ، الجلوتلين (31.59/38.56 ملجم/جم) (**SMQ/ SIQ**)، البرولامين (1.73/7.16 ملجم/جم) (**ASQ/SIQ**). الأحماض الامينية (129.43/160 ملجم/جم) (**AMQ/G2Q**)، محتوى النشاء و الاميلوز على التوالي (280.03/762.5 ملجم/جم) (382.4/130.79 ملجم/جم) (**SIQ/ SMQ**)، في الاصناف الثمانية، يتراوح الرقم الهيدروجيني بين (5.98/6.43) (**Q26/ AMQ**). اخيرا اظهرت النتائج ان الصنف الاكثر ثراء في الالبومين (**Q21**)، برولامين (**ASQ**). الصنف (**SIQ**) الاكثر ثراء في الجلوبيولين و الجلوتلين. الصنف الاكثر ثراء في النشاء و الاميلوز هو مجموعة (**SMQ**)، (**G2Q**) الصنف الاكثر ثراء في الاحماض الامينية. لوحظ اعلى محتوى من الاس الهيدروجيني في (**AMQ**). في الختام، هناك تباين كبير بين الاصناف المدروسة.

الكلمات المفتاحية: الكينوا ، البروتينات الاحتياطية ، النشا ، الأميلوز ، الأحماض الأمينية ، الرقم الهيدروجيني

Liste des figures

Figure 01 : Distribution géographique de la culture traditionnelle du quinoa en Amérique du Sud.	6
Figure 02 : Système racinaire du quinoa.	8
Figure 03 : Forme de la tige principale.	9
Figure 04 : Forme des feuilles.	10
Figure 05 : Les formes d'inflorescences du quinoa.	12
Figure 06 : Des inflorescences jaunes.	12
Figure 07 : Des inflorescences rouges.	12
Figure 08 : Fleurs hermaphrodites et femelles de Quinoa.	13
Figure 09 : <i>Chenopodium Quinoa</i> – structure interne de la graine.	15
Figure 10 : Phases phénologiques du quinoa.	16
Figure 11 : Les huit variétés étudiées.	27
Figure 12: Mesure de pH des différentes graines de quinoa.	31
Figure 13: la concentration d'Albumine dans différentes variétés de Quinoa.	32
Figure 14: la concentration de Globuline dans différentes variétés de Quinoa.	33
Figure 15: la concentration de Prolamine dans différentes variétés de Quinoa.	34
Figure 16: la concentration de Glutéline dans différentes variétés de Quinoa.	35
Figure 17: la concentration des acides aminés dans différentes variétés de Quinoa.	36
Figure 18: la concentration d'Amidon dans différentes variétés de Quinoa.	37
Figure 19: la concentration d'Amylose dans différentes variétés de Quinoa.	38

Liste des tableaux

Tableau 01: Colorations dans le fruit du Quinoa.	14
Tableau 02: Description des stades de croissance phénologique du quinoa (Chenopodium quinoa) selon l'échelle BBCH étendue.	17-18
Tableau 03: Comparaison de la composition en acides aminés et de la teneur en protéines de la graine de quinoa avec d'autres céréales et légumineuses.	20
Tableau 04: Composition lipidique dans la graine de quinoa.	21
Tableau 05: Comparaison de la composition en acides gras de la fraction lipidique des graines de quinoa, du blé et du maïs.	22
Tableau 06: Composition en sucres libres des types évalués de graines sèches de Chenopodium quinoa Willd.	24
Tableau 07: Teneur approximative et inorganique des aliments à l'étude.	24
Tableau 08: Comparaison de la teneur en vitamines de la graine de quinoa avec d'autres céréales.	25

Liste des abréviations

APG III : classification phylogénétique, est la troisième version de classification botanique des angiospermes.

FAO : Food and Agriculture Organisation (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture).

g: gramme

NaCl: chlorure de sodium.

pH: Potentiel d'Hydrogene

PMG: Poids mille graines

Var : Variété

GI : Indice Glycémique

DO : Longueur D'Onde

BSA : Sérum Albumine Bovine

Code BBCH : Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

CHAPITRE I : PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

INTRODUCTION

	1-2
I. Présentation du quinoa	3
1. Définition	3
2. L'origine	3
3. L'historique	3
4. Classification	4
5. Les différentes variétés de quinoa	5
6. La distribution de quinoa	6
a. Dans le monde	6
b. En Algérie	7
II. La description botanique	8
1. Caractères végétatifs	8
a. Les racines	9
b. La tige	10
c. Les ramifications	10
d. Les feuilles	11
2. Caractères floraux	11
a. L'inflorescence	11
b. Les fleurs	13
c. Les fruits et les graines	13
3. Cycle de vie de Quinoa	15
4. Code BBCH	17
III. Composition chimique et valeur nutritionnelle des graines	19
1. Les protéines de réserves	19
a. Les protéines de stockage	19
b. Les acides aminés	20

Sommaire

2. Les lipides	21
a. Les acides gras	22
3. Les glucides	23
a. L'Amidon	23
b. La fibre alimentaire	23
c. Sucre simple	24
4. Les minéraux	24
5. Les vitamines	25

CHAPITRE II Matériel ET Méthode

I. Matériels végétales	27
II. Méthode de travail	28
1. Mesure de ph	28
2. Analyse des fractions protéiques	28
3. Analyse des acides aminés libre	28
4. Dosage d'Amidon total	29
5. Analyse statistique	29

CHAPITRE III RESULTATS ET DISCUSSION

1. Mesure de ph	31
2. Analyse des fractions protéiques	32
a. Albumine	32
b. Globuline	32
c. Prolamine	33
d. Glutéline	34
3. Analyse des acides aminés libre	34
4. Dosage d'Amidon total	35
a. Amidon	35
b. Amylose	36
Conclusion et perspective	39
Référence	40-48
Annexe	49-55



Chapitre I

Partie bibliographique



Introduction

Le quinoa (*Chenopodium quinoa*) est une espèce de plantes herbacées annuelles de la famille des *Chenopodiaceae*. C'est une pseudo-céréale. Le quinoa est du point de vue phylogénétique plus proche des espèces telles que la betterave, l'épinard et l'amarante que du blé.

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).

Cette plante traditionnelle est cultivée depuis plus de 5 000 ans sur les hauts plateaux andins d'Amérique du Sud. Comme le haricot, la pomme de terre, le maïs, le quinoa était à la base de l'alimentation des civilisations précolombiennes, mais, contrairement à ces derniers, il n'a pas retenu l'attention des conquérants espagnols à cause de la teneur en saponine de l'enveloppe de ses graines qui les rend amères, et du fait que la farine qui en est tirée n'est pas panifiable en raison de l'absence de gluten. (Boubaiche, 2016).

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. (Boubaiche, 2016).

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. (Boubaiche, 2016).

L'objectif de ce travail est d'évaluer les propriétés physico-chimiques, de déterminer la concentration de des protéines de réserves, d'Amidon, d'Amylose et des acides aminés, la mesure de pH.

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.

I. Présentation de quinoa

1. Définition de quinoa

Le Quinoa (*Chenopodium Quinoa*) est une plante herbacée annuelle de la famille des Chénopodiacées. C'est une pseudo-céréale, étroitement liée à des espèces telles que la betterave, l'épinard et l'amarante.

Cette plante traditionnelle est cultivée depuis plus de 5 000 ans sur les hauts plateaux d'Amérique du Sud: comme le haricot, la pomme de terre, le maïs. Elle était à la base de l'alimentation des civilisations précolombiennes, mais contrairement à ces dernières, il n'a pas retenu l'attention des conquérants espagnols à cause de la teneur en saponine de l'enveloppe de ses graines non écorcées, et du fait que la farine qui en est tirée n'est pas panifiable en raison de l'absence de gluten. **(Boubaiche, 2016)**

Dans les années 1970, les pays industrialisés en quête d'une alimentation plus saine, découvre les qualités nutritionnelles du Quinoa qui est désormais distribué dans la plupart des grandes surfaces, notamment dans les magasins de produits issus de l'agriculture biologique et du commerce équitable **(Mujica, 1992 ;Izdihar et Cheyma, 2020)**.

2. L'origine

Le quinoa est une culture indigène originaire de la région andine de l'Amérique du Sud, et plus précisément des alentours du lac Titicaca. En outre surtout des hauts plateaux boliviens et péruviens (Altiplano) **(Wilson, 1990; Mujica et al., 2001)**, à des altitudes de 3 000 à 4 000 mètres **(Benhabib, 2005)**.

Le quinoa était une importante source de nourriture pour la population précolombienne et en reconnaissance de ses qualités nutritionnelles et agronomiques exceptionnelles, on lui a donné le surnom de "la graine des Incas", ce qui signifie "la mère de toutes les graines".

5. L'historique

Le quinoa est une plante originaire de la région andine de l'Amérique du Sud, et plus précisément des alentours du lac Titicaca. Cette zone située entre le Pérou et la Bolivie. Selon des preuves historiques, le quinoa est domestiqué depuis plus de 7000 ans par les peuples andins. Les restes les plus anciens du quinoa ont été découverts à Ayacucho (Pérou), datant de plus de 5000 ans avant J.-C., et ceux de Chinchorro, dans le nord du Chili, remontent à 3000 ans avant JC. Enfin, des traces ont été découvertes en Bolivie, datant de 750 ans avant JC **(Herbillon M., 2015)**. Le développement technique du quinoa a été avancé et distribué sur

tout le territoire des Incas. Avec l'arrivée des Espagnols (Cercam, 2014). Au XVIe siècle, la culture et l'utilisation du quinoa ont considérablement diminué en raison de l'introduction de cultures européennes (blé et orge) (Lebonvallet S., 2008). A la seconde moitié du XXe siècle,

Le quinoa est devenu un produit alimentaire populaire notamment dans l'Europe et en Amérique du Nord, Le nombre de pays la cultivant augmenté de 8 en 1980 à 95 en 2015, en plus que le nombre de centres de recherche qui étudient la culture de quinoa et effectuant des expériences est augmenter (Da cunha veloso A., 2016).

Le quinoa a plusieurs Noms communs utilisés dans les Andes selon la langue ou la région tels que:

- «quinua», «kiuna», «parca» en Équateur, Pérou, Bolivie;
- «Supha», «jopa», «jupha», «jiura», «Aara», «ccallapi», «vocali» en Bolivie ;
- «Quinhua» en Chili ;
- «suba », «pasca» en Colombie (Valencia-Chamorro S A., 2004).

6. Classification

Le Quinoa (*Chenopodium Quinoa*) est une plante herbacée annuelle de la famille des Chénopodiacées. C'est une pseudo-céréale, étroitement liée à des espèces telles que la Betterave, l'épinard et l'amarante.

Classification de Cronquist

Règne	Plantae
Sous-règne	Viridiplantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Caryophyllidées
Ordre	Caryophyllales
Famille	Chénopodiacées
Genre	<i>Chenopodium</i>
Espèce	<i>Quinoa</i>

Depuis 2009, une nouvelle classification dite phylogénétique (APG III) range le quinoa dans la famille des Amaranthacées.

Classification phylogénétique APG III

Règne	Archéplastides
Clade	Angiospermes
Clade	Dicotylédones vraies
Clade	Noyau des Dicotylédones vraies
Ordre	Caryophyllales
Famille	Amaranthacées
Sous-famille	Chénopodioïdées
Genre	<i>Chenopodium</i>
Espèce	<i>Quinoa</i>

7. Les différentes variétés de Quinoa

Il existe plus de 1000 variétés de Quinoa (Tapia, 2000). Ces variétés peuvent être réparties en cinq groupes selon les adaptations morphologiques et physiologiques particulières qu'elles ont pu développer pour s'adapter à leur environnement.

- Le premier groupe, est très différent des quatre autres, et se trouve à basse altitude et proche de la mer, dans un climat pluvieux (1000à1500mm 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 2000mm.
- Le troisième se rencontre dans les vallées andines situées entre 2000 et 3500 m d'altitude et qui ont des précipitations modérés (500 à 1500 mm).
- Le quatrième contient les variétés « l'Altiplaniques », qui se développe entre 3800 et 4100m 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 « salars », vastes déserts de sel du sud de l'Altiplano bolivien et de la frontière avec le Chili. Les précipitations annuelles dans la région, caractérisée pour un climat aride, sont en moyenne inférieures à 300 mm (Rojas et al., 2010).

8. La distribution de quinoa

Le Quinoa est réparti naturellement du nord de la Colombie au sud du Chili (Fuentes and Bhargava, 2011) sur une large gamme d'altitudes allant du niveau de la mer jusqu'à 4 000 m (González et al., 2011).

a. 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 le principal producteur du quinoa en termes 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 STAT 2010).



Fig. 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).

b. 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 plante 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 le 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 a 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.

II. La description botanique

1. Caractères végétatifs

a. Les racines

Le système racinaire bien développé et fortement ramifié (**Fig.02**) protège le Quinoa contre les conditions de sécheresse et protège la plante en cas de pénurie d'eau et donne une bonne stabilité (**Bhargava et al., 2006**). En raison de l'absence d'une période de dormance des graines, la germination du quinoa est extrêmement rapide, elle s'initie en seulement quelques heures en présence d'une humidité de sol adéquate.

Après la germination, la radicule forme une racine pivotante à partir de laquelle se développent des racines secondaires et tertiaires. Selon la hauteur de la plante, la racine du quinoa peut rester près de la surface (12,6-15 cm) ou pénétrer jusqu'à 1,5 m sous la surface (**Bhargava et al., 2013**).

La radicule s'allonge en première, puis continue de croître pour donner lieu à une racine pivotante pouvant atteindre 30 cm de profondeur et à partir de laquelle vont se développer des racines secondaires et tertiaires, desquelles se forment des radicelles pouvant également se ramifier.

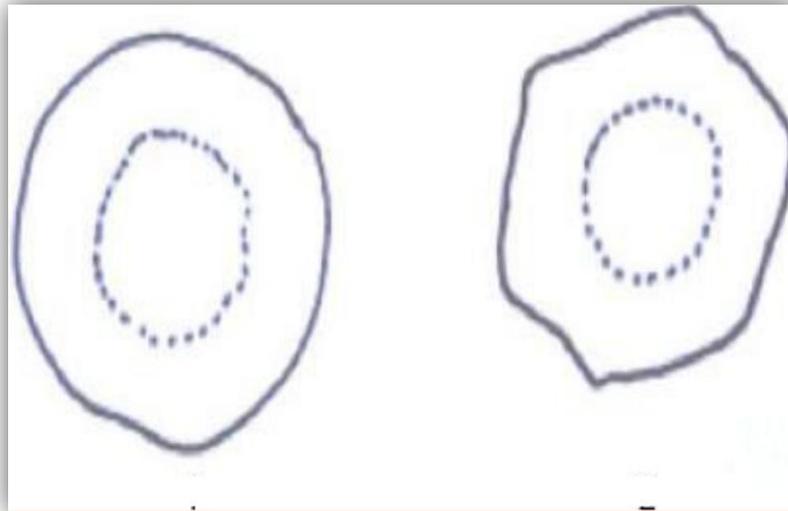
Ce système racinaire est très robuste, il peut soutenir des plantes de plus de 2 m de hauteur bien que de rares cas d'affaissement des plants aient pu être observés sous l'effet du vent, d'une humidité excessive ou du poids de leurs panicules (**Gandarillas, 1979 ; Mujica et al., 2001**).



Fig. 02: Système racinaire du quinoa (**Gandarillas, 1979**)

b. La tige

La tige de Quinoa a une taille comprise entre 0.5 et 1.5 m selon la variété et les conditions de croissance (Del Castillo et al., 2008). Une Coupe transversale dans le tiers inférieur de la plante au stade de maturité physiologique, montre que la tige principale présente deux formes, une forme cylindrique et une forme angulaire (Fig. 03).



1-Cylindrique

2-Angulaire

Fig. 03 : Forme de la tige principale (coupe transversal)

1-Cylindrique, 2-Angulaire (Bioversity international et FAO, 2013).

La tige est cylindrique près de la surface du sol mais devient anguleuse au niveau des ramifications. La tige est verte, jaune, pourpre ou rouge foncé, ou peut être rayée (Lescano, 1981). La couleur rougeâtre est due à la présence de bétacyanines, un type de bétalaïnes (Mabry et al., 1963 ; Gallardo et al., 2000). Les bétalaïnes, qui confèrent des couleurs jaune à rouge, sont des composés hydrosolubles azotés dérivés de la tyrosine que l'on ne trouve que dans un nombre limité de lignées végétales et qui sont divisés en deux groupes structurels principaux : les bétacyanines rouge-violet et les bétaxanthines jaunes (Cai et al., 2005 ; Tanaka et al., 2008).(botany chemistry).

A l'intérieur de la tige, on trouve une moelle de couleur blanche à crème, de texture molle chez les jeunes plants puis devenant aérée et spongieuse à l'approche de la maturité. En revanche, le cortex est ferme et compact, constitué de tissus solides (Gandarillas, 1979).

c. Les ramifications

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

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

D'un point de vue commercial, la ramification des plants est indésirable pour la production des graines de quinoa ; c'est pourquoi dans le cadre d'une culture à grande échelle, l'ensemencement est effectué avec une densité ne laissant aucune opportunité aux plants de se ramifier (**Jacobsen et Stolen, 1993**).

d. Les feuilles

Le quinoa présente une grande variation dans la taille des feuilles (**Bhargava et al., 2007a**). Les feuilles présentent un polymorphisme, les feuilles inférieures sont grandes, rhomboïdales ou triangulaires ; tandis que les feuilles supérieures sont petites, lancéolées ou triangulaires (**Fig. 04**) (**Herbillon, 2015 ; Bhargava et al., 2006**).

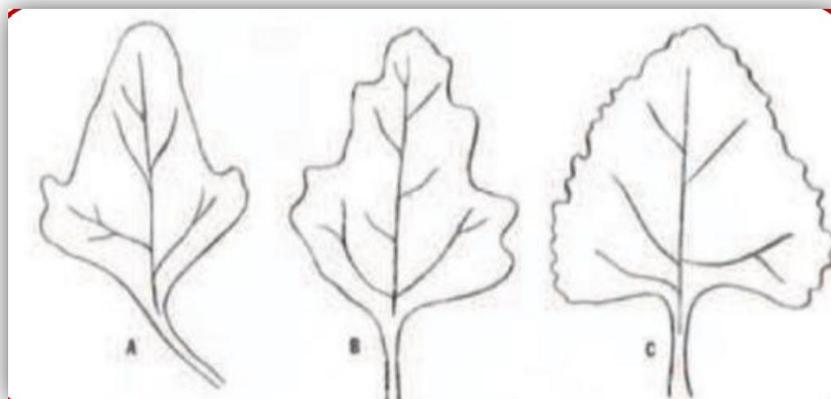


Fig. 04 : Forme des feuilles (A. lisses B. dentés C. crantés)
(**Herbillon, 2015**).

Les bords des feuilles peuvent être lisses, dentés ou crantés. Les lamelles des jeunes feuilles sont généralement recouvertes d'une pubescence véhiculée granuleuse sur la face inférieure (**Risi et Galwey, 1984**).

Les feuilles des jeunes plantes sont généralement vertes, mais au fur et à mesure que la plante mûrit, elles deviennent jaunes, violettes ou rouges. Ces couleurs sont le résultat de la

présence de pigments végétaux appelés bétalaïnes qui sont de deux types : bétacyanines (rouge-violet) et bétaxanthines (jaune) (**Gallardo et al., 1996**).

Les feuilles présentent des adaptations morphologiques variées qui les aident à résister à la sécheresse pendant la croissance, parmi lesquelles une cuticule cireuse, des stomates protégés par un épiderme épaissi et des papilles sur les deux faces (**Jacobsen et Stolen, 1993**). Ces papilles, grâce à leur forte teneur en oxalate de calcium, fonctionnent comme des agents hygroscopiques. Cela signifie qu'elles sont capables de capter l'humidité atmosphérique nocturne, de contrôler l'évapotranspiration excessive mais également de réfléchir les rayons solaires, empêchant ainsi le phénomène de réchauffement des feuilles (**Mujica et al., 2001**).

2. Caractère floraux

a. L'inflorescence

C'est une panicule généralement abondamment ramifiée, d'une longueur de 15 à 70 cm, qui s'élève au sommet de la plante et à l'aisselle des feuilles inférieures (**Bhargava et al., 2007b**). Elle possède un axe principal d'où partent des branches secondaires et tertiaires. En plus de l'inflorescence terminale, il existe des inflorescences axillaires qui naissent à l'aisselle des feuilles dans les parties inférieures de la plante et qui présentent une croissance déterminée, se terminant par une fleur hermaphrodite (**Bhargava et al., 2007b**). L'allongement de l'inflorescence est dû à la croissance intercalaire de l'axe. De courtes branches portant un groupe de fleurs naissent des axes de troisième ordre (tertiaires), appelés glomérules. Les branches secondaires et tertiaires portent également une fleur hermaphrodite terminale. Une caractéristique importante du quinoa est la présence de fleurs femelles hermaphrodites et unisexuées (**Hunziker, 1943 ; Simmonds, 1965 ; Risi et Galwey, 1984 ; Bhargava et al., 2007b**). L'inflorescence du quinoa est généralement de deux types (**Jacobsen, 1993 ; Bertero et al., 1996**) amaranthiforme (B), dans laquelle les glomérules sont insérés directement sur des axes de deuxième ordre (axe secondaire) et glomérulée, dans laquelle les glomérules(A) sont insérés sur des axes de troisième ordre (axe tertiaire) (**Fig. 05**).

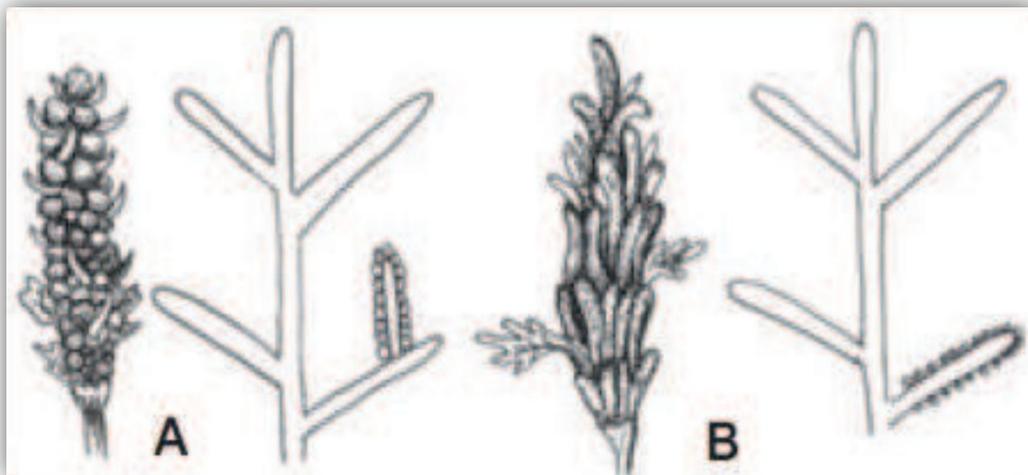


Fig. 05 : Les formes d'inflorescences du quinoa (A : Glomérules B : Amaranthiforme)
(Tapia et Fries, 2007)

La couleur des inflorescences du quinoa varie également en fonction du génotype. **Fuentes et Bhargava (2011)** ont rapporté que les inflorescences de couleur jaune étaient les plus fréquentes (57%) (**Fig. 06**), suivies par les rouges (32%) (**Fig. 07**), tandis que les inflorescences de couleur orange, rose et violette étaient de faible fréquence relative (environ 4% chacune) dans le germoplasme collecté dans le nord du Chili.



Fig. 06 : Des inflorescences jaunes.



Fig. 07 : Des inflorescences rouges

b. Les 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 à l'extrémité proximale (**Hunziker, 1943 ; Valencia-Chamorro, 2003**) (**Fig. 08**).

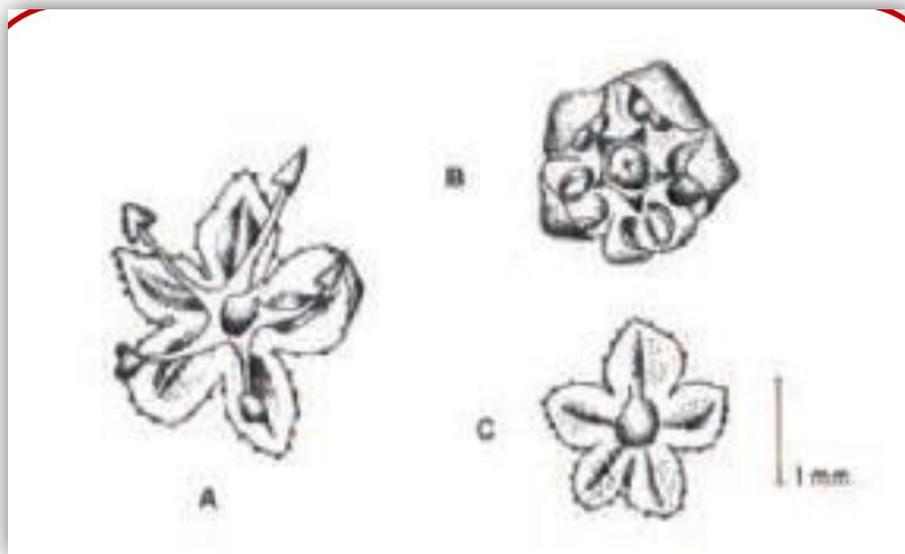


Fig. 08: Fleurs hermaphrodites et femelles de Quinoa.

- A) Fleur hermaphrodite en période d'anthèse; B) Fleur hermaphrodite avant l'anthèse.
C) Fleur femelle (**Herbillon, 2015**).

La fleur hermaphrodite est constituée d'un périgone sépaloïdes (cinq sépales), d'un gynécée (ou pistil) avec un ovaire ellipsoïdal et deux ou trois stigmates entourées par l'androcée, lui-même composé de cinq étamines recourbées et courtes. La fleur femelle se compose seulement d'un périgone et d'un gynécée. La taille de la première varie entre 2 et 5 mm contre 1 à 3 mm pour la seconde. Le pourcentage de chacune d'elle dans le glomérule dépend de la variété (**Gandarillas, 1979**).

c. Les fruits et les graines

Le fruit est un akène qui comprend plusieurs couches, à savoir le périgonium, le péricarpe et l'épisperme (**Risi et Galwey, 1984**), de l'extérieur vers l'intérieur. Les graines de quinoa peuvent germer très rapidement, c'est-à-dire en quelques heures après avoir été

exposées à l'humidité (Vega-Gálvez et al., 2010). Chaque fruit contient une seule graine dont la couleur, la forme et la taille sont variables (Risi et Galwey, 1984). Il existe trois formes de graines : conique, cylindrique et ellipsoïdale ; qui pourraient être réparties dans trois catégories de taille : grande taille (2,2 à 2,6 mm), taille moyenne (1,8 à 2,1 mm) et petite taille (< 1,8 mm) (Quispe et al., 1976). Les différentes couleurs du péricarpe, du péricarpe et de l'épisperme (Tableau 01) sont la raison pour laquelle l'inflorescence du Quinoa présente autant de couleurs variées (Gandarillas, 1979).

Tableau 01:Colorations dans le fruit du Quinoa (Herbillon, 2015).

Périgone	Péricarpe	Episperme
Vert	Translucide	Translucide
Rouge	Blanc sale	Blanc
Pourpre	Blanc opaque	Café
	Jaune clair	Brun foncé
	Jaune intense	Marron-noir
	Orange	Noir brillant
	Rosâtre	
	Rouge vermillon	
	Cerise	
	Café	
	Gris	
	Negro	

Le péricarpe se détache facilement à maturation, par lavage ou par frottement à l'état sec bien que, dans certains cas, il peut rester attaché à la graine même après battage. Dans la région ventrale de l'akène, on observe une cicatrice, le hile, qui correspond à l'insertion du fruit dans le réceptacle floral (Gandarillas, 1979 ;Mujica et al., 2001).

Le péricarpe du fruit adhère à la graine et est éliminé par décorticage abrasif avant la consommation. Juste en dessous du péricarpe, l'épisperme entoure la graine en formant une membrane très mince.

L'embryon, se constitue de deux cotylédons et de la radicule, se localise en périphérie de la graine et enveloppe le péricarpe comme un anneau. Il peut constituer jusqu'à 60% du poids de la graine et représente 30% du volume total de la graine (Valencia-Chamorro, 2003).

La section longitudinale médiane de la graine montre que l'embryon est périphérique et qu'un corps basal est présent dans la graine en tant que tissu de stockage ou péricarpe (Prego et al., 1998). Dans la graine mature, l'endosperme n'est présent que dans la région micropylaire de la graine et consiste en un tissu à une ou deux couches de cellules entourant l'axe hypocotyle-radicule de l'embryon.

Le péricarpe est le principal tissu de stockage des graines de Quinoa et représente pratiquement 60% de la superficie de la graine (Mujica et al., 2001) (Fig. 09).

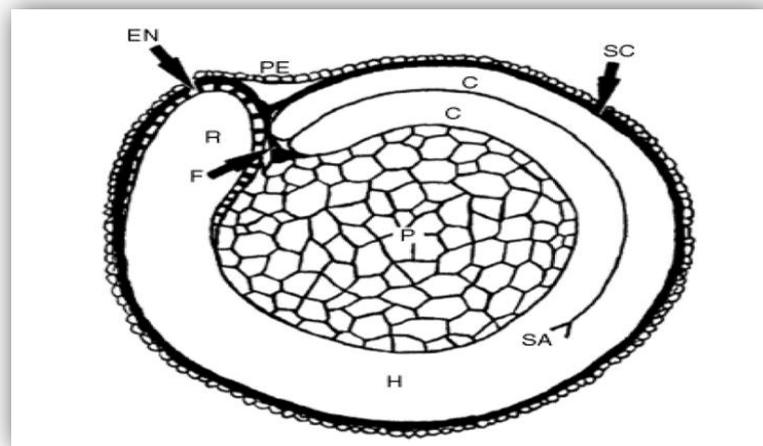


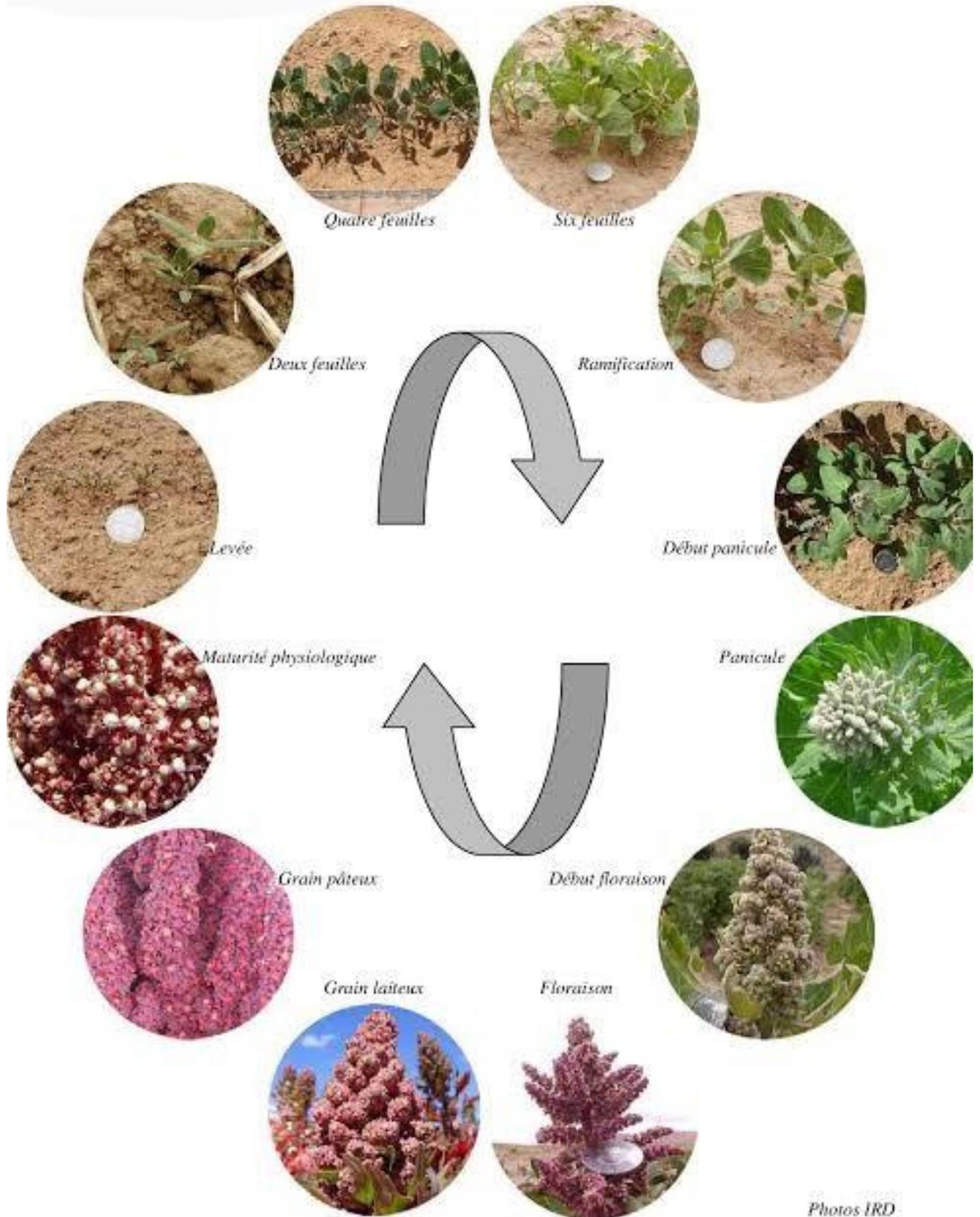
Fig. 09 : *Chenopodium Quinoa* – structure interne de la graine (Section médiane longitudinale) (Prego et al., 1998)

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): Péricarpe ; (PE): Péricarpe ; (R): Radicule ; (SA): Apex ; Echelle = 500 µm

3. Cycle de vie de Quinoa

Selon (Vega-Gálvez et al., 2010) le cycle de culture peut prendre 08 mois (240 jours) sur les hauts Andine, mais il peut prendre 04 mois (120 jours) dans les zones arides de Chili (Vega-Gálvez et al., 2010). Il existe des variétés précoces (100 à 120 jours), semi-précoces (150 à 160 jours) et tardives (180 à 200 jours) 15 Plante annuelle à cycle court de 90 à 120 jours de croissance. Il faut compter entre 160 et 180 jours entre l'ensemencement et la récolte (Fig. 10) (Kabalane et Beridi, 2016) (Fig. 10).



Photos IRD

Fig.10 : Phases phénologiques du quinoa (Lebonvallet, 2008).

4. Code BBCH

Description à deux chiffres

Tableau 02: Description des stades de croissance phénologique du quinoa (*Chenopodium quinoa*) selon l'échelle BBCH étendue (Meier *et al.*, 2009a).

Stade de croissance principal 0 : germination	
00	Graine sèche
01	Début de l'imbibition des graines
03	Imbibition de la graine terminée
05	Émergence de la radicule de la graine
07	Émergence de l'hypocotyle
08	Hypocotyle avec cotylédons poussant vers la surface du sol
09	Émergence des cotylédons à travers le sol
Stade de croissance principal 1 : développement des feuilles	
10	Cotylédons complètement émergés
11	Première paire de feuilles visibles
12	Deuxième paire de feuilles visibles
1.	Le codage se poursuit selon le même schéma
19	Neuf paires de feuilles visibles. Si nécessaire, le codage peut se poursuivre selon le même schéma.
Stade principal 2 : formation de pousses latérales	
20	Bourgeons latéraux visibles ou feuilles développées sans tiges latérales
21	Une pousse latérale visible
22	Deux pousses latérales visibles
2.	La codification se poursuit selon le même schéma
29	Neuf pousses latérales visibles. Si nécessaire, le codage peut se poursuivre selon le même schéma.
Stade de croissance principal 3 : élongation de la tige (omis)	
Stade de croissance principal 4: développement des parties végétatives récoltable (omis)	

Stade de croissance principal 5 : émergence de l'inflorescence	
50	Inflorescence présente mais encore entourée de feuilles
51	Les feuilles entourant l'inflorescence sont séparées, l'inflorescence est visible d'en haut
56	Inflorescence visible, mais toutes les fleurs sont encore fermées
Stade principal 6 : floraison	
60	Début de l'anthèse : l'inflorescence principale fleurit avec les premières anthères extrudées
67	Fin précoce de l'anthèse : fleurs de l'inflorescence principale avec les premières anthères sénescents
69	Anthèse complète : fleurs de l'inflorescence principale avec anthères sénescents
Stade principal 7 : développement du fruit	
70	Nouaison : épaississement de l'ovaire et premiers grains visibles dans la tige principale
Stade principal 8 : maturation	
81	Grain laiteux, facile à écraser avec les ongles, teneur en liquide et péricarpe vert
85	Grain épais, facile à écraser avec les ongles, teneur en pâte blanche, péricarpe vert, beige, rouge ou noir
89	Grain mûr, difficile à écraser avec les ongles, teneur sèche, le grain présente une couleur beige, rouge ou noire à l'extérieur. Prêt à être récolté.
Stade principal 9 : sénescence	
91	Seules les feuilles basales sont sèches
93	Les feuilles de la première moitié de la plante, à partir de la base, sont mortes.
95	Toutes les feuilles sont mortes ; la couleur de la tige passe du jaune au brun
97	La plante est morte et sèche
99	Produit récolté

III. Composition chimique et valeur nutritionnelle des graines

1. Les protéines de réserve

a. Les protéines de stockage

Les protéines de stockage peuvent être définies comme des protéines dont la principale fonction est de fournir les éléments nécessaires au développement des jeunes plants (**Shewry, 2002**). Elles sont déposées dans des corps protéiques consistant en une matrice protéique contenant un ou plusieurs cristaux globulaires, ceux-ci renfermant du phosphore, du potassium et du magnésium ; et sont localisées dans l'endosperme et l'embryon de la graine de quinoa (**Prego et al., 1998**).

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.
- Les globulines 7S.
- Les albumines.
- Les prolamines.

Les principales fractions de protéines du quinoa (et des autres pseudo céréales) sont les globulines et les albumines (**Fairbanks et al., 1989**).

Les albumines (2S) et les globulines (11S) constituent la plupart des protéines de stockage du grain de quinoa. Elles ont une composition équilibrée en acides aminés essentiels, similaires à la composition en acides aminés de la caséine protéique du lait, alors que les prolamines sont présentes en faibles concentrations, et ce rapport est variable selon les espèces. (**Maradini A. et al, 2015 ; FAO, 2011**). Par ailleurs, les protéines du quinoa ne contiennent pas, ou très peu, de prolamines qui sont les principales protéines de réserve des céréales conventionnelles. Ces prolamines, telles que la gliadine du blé ou l'hordénine de l'orge, sont collectivement appelées « gluten » et induisent des réponses auto-immunes chez les patients céliaques (**Herbillon.M, 2015**). Il a également été constaté que les feuilles de quinoa ont une teneur élevée en protéines de qualité. (**FAO, 2011**)

b. Les 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 03**), c'est-à-dire ceux que le corps ne peut synthétiser lui-même et nécessitant donc d'être fournis par le régime alimentaire.

Tableau 03 : 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). (1)USDA, 2005. (2)USDA, 2015.

	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

La balance en acides aminés des protéines du quinoa est excellente et s'explique par la nature de ces protéines de stockage, les albumines et les globulines, dont la composition en acides aminés diffère significativement de celle des prolamines des céréales communes.

Elles contiennent moins d'acide glutamique et de proline mais d'avantage d'acides aminés essentiels comme la lysine (acide aminé limitant dans la plupart des céréales), la méthionine (acide amine soufre limitant dans les légumineuses), la cystine et l'histidine.

En plus d'un spectre d'acides aminés plus large que les céréales et les légumineuses (Abugoch *et al.*, 2008), le quinoa présente des teneurs intéressantes en acides aminés dits «semi-essentiels ». Il contient, par exemple, plus du triple du montant en histidine du blé, un composé essentiel pour les nourrissons qui ne peuvent le synthétiser avant l'âge adulte. Il est donc fortement recommandé que les enfants acquièrent cet acide aminé à travers leur alimentation, en particulier pendant les périodes de croissance. Il en est de même pour l'arginine qui est considérée comme presque indispensable dans la petite enfance, l'enfance et l'adolescence (FAO, 2011). Pour toutes ces raisons, des chercheurs tentent actuellement d'incorporer le quinoa dans des aliments destinés aux nourrissons.

2. Les lipides

Le quinoa a été considéré comme une culture oléagineuse alternative en raison de la qualité et de la quantité de sa fraction lipidique. Le quinoa a une teneur en matière grasse comprise entre 2,0 et 9,5%, étant riche en acides gras essentiels tels que les acides linoléique et α -linoléique, et contient de fortes concentrations d'antioxydants comme l' α et le γ tocophérol.

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 (Prego et 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).

Tableau 04: 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

2.1. Les acides gras

Le principal acide gras saturé présent dans le quinoa est l'acide palmitique environ 10% du total des acides gras présents, Les acides gras insaturés sont les acides oléique (19,7 à 29,5%), linoléique (49,0 à 56,4%) et linoléique (8,7 à 11,7%), qui constituent 87,2 à 87,8% du total des acides gras présents dans l'huile de quinoa (Maradini A. et al., 2015). La teneur en acides gras insaturés est protégée par la vitamine E dans cette plante (Gordillo Bastidas E. et al., 2016).

Tableau 05: Comparaison de la composition en acides gras de la fraction lipidique des graines de quinoa, du blé et du maïs (g/100g). (Lannes, 2012.(2)Alvarez-Jubete et al.2009(3)Ryan et al.2007.(4)Koziol, 1992.(5)Ruales et Nair, 1993a).

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-linolénique	C18:3	3,8 – 8,3	3,8	1,6
- Acide eicosadiénoïque	C20:2	0,1 – 1,4	0,5	

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.

3. Les glucides

Les glucides sont des composés organiques constitués de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Les glucides agissent comme des molécules de signalisation, des sources d'énergie et des composants structurels, 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. L'amidon

Dans le quinoa, l'amidon est le plus important glucides dans toutes les céréales, représentant environ 58,1 à 64,2 % de la matière sèche, selon les études de (**Repo-Carrasco et al., 2003**) dont 11 % d'amylose (**Lorenz K et al., 1991**). De plus, le quinoa la farine contient des pourcentages élevés de D-xylose et de maltose, et de faibles teneur en glucose et fructose, ce qui permet son utilisation dans le malt formulations de boissons (**Ogunbengle HN ; 2003**). En outre, sa teneur en D-ribose et D-galactose et le maltose entraînerait un faible index glycémique de fructose. (**RepoCarrasco et al.,2003**) ont rapporté pour le quinoa 1,70 mg 100 g⁻¹ de glucose, 0,20 mg 100 g⁻¹ de fructose, 2,90 mg 100 g⁻¹ de saccharose et 1,40 mg 100 g⁻¹ de maltose.

b. Les fibres alimentaires

Les fibres alimentaires sont la partie indigeste des aliments dérivés des plantes et ont deux composantes principales : les fibres solubles et les fibres insolubles. Les fibres solubles se dissolvent dans l'eau, sont facilement fermentées dans le côlon en gaz et en produits physiologiquement actifs, et ont des propriétés prébiotiques. Les fibres insolubles, qui ne se dissolvent pas dans l'eau, sont soit métaboliquement inertes et fournissent une masse volumineuse, soit prébiotiques et fermentent métaboliquement dans le gros intestin. Les fibres volumineuses absorbent l'eau, ce qui facilite la défécation (**González Martín MI et al.,2014**), (**Fardet A 2010**).

Une plus grande consommation de céréales complètes riches en fibres est associée à un risque plus faible de diabète de type 2 (**Maki KC, Phillips AK 2015**) et de maladies cardiovasculaires (**Wu Y et al.,2015**). Le quinoa est une excellente source de fibres alimentaires, représentant environ 2,6 % à 10 % du poids total du grain ; environ 78 % de sa teneur en fibres est insoluble et 22 % soluble (**González Martín MI et al.,2014**).

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) (Tableau 06) .

Tableau 06: Composition en sucres libres des types évalués de graines sèches de *Chenopodium quinoa* Willd. Les concentrations sont présentées en poids sec (ps) sous forme de moyenne \pm SE.

Code simple	Arabinose (g/100 g dw)	Fructose (g/100 g dw)	Glucose (g/100 g dw)	Sucrose (g/100g dw)	Total (g/100 g dw)
Noir	0.50	0.27	0.64	1.7	3.1
Rouge	0.63	0.20	0.47	1.3	2.6
Blanc	0.62	0.25	0.61	1.4	2.9

4. Les sels minéraux

Les minéraux alimentaires sont des éléments chimiques essentiels qui jouent un rôle dans la régulation de l'équilibre électrolytique, l'homéostasie du glucose, la transmission des impulsions nerveuses et les cofacteurs enzymatiques dans l'organisme.

Le quinoa contient du calcium, du magnésium et du potassium en quantités insuffisantes et sous des formes bio disponibles nécessaires au maintien d'une alimentation humaine équilibrée (Granados-Silvestre et al., 2014) (Tableau 07).

Tableau 07: Teneur approximative et inorganique des aliments à l'étude.

Paramètre Minéraux mg/100 g	Quinoa (<i>Chenopodium</i> quinoa)	Amarante (<i>Amaranthus</i> caudatus)	Mais violette (<i>Zea mays</i> L.)zaé	Riz (<i>Oriza sativa</i>)
Cuivre	0.59	0.51	0.16	0.12
Manganèse	1.95	1.51	0.57	0.83
Fer	5.46	9.62	2.78	0.22
Zinc	2.93	5.55	2.54	0.95
Magnésium	197	231	118	27
Calcium	44	165	<LoQ	<LoQ
Phosphore	468	527	291	107
Potassium	664	530	458	91

5. Les vitamines

Les vitamines sont des composés essentiels à la santé de l'homme. 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 08**).

Tableau 08: Comparaison de la teneur en vitamines de la graine de quinoa avec d'autres céréales ($\mu\text{g/g}$). (1) **USDA, 2005**. (2) **USDA, 2015**. (3) (**Tang et al., 2015a**). (4) (**Lampi et al., 2008**).

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)	-	-	-	-



Chapitre II

Matériel et méthode



I. Matériels végétales

Les graines de quinoa provenaient de deux pays, elles ont été fournies par l'Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne (ITDAS) d'El-Arfiane est situé dans la vallée d'Oued-righ (Nord-Est du Sahara algérien), wilaya d'El -oued. Les variétés sont : SIQ, Q21, Q26, AMQ, SMQ, ASQ, BJQ, G2Q.

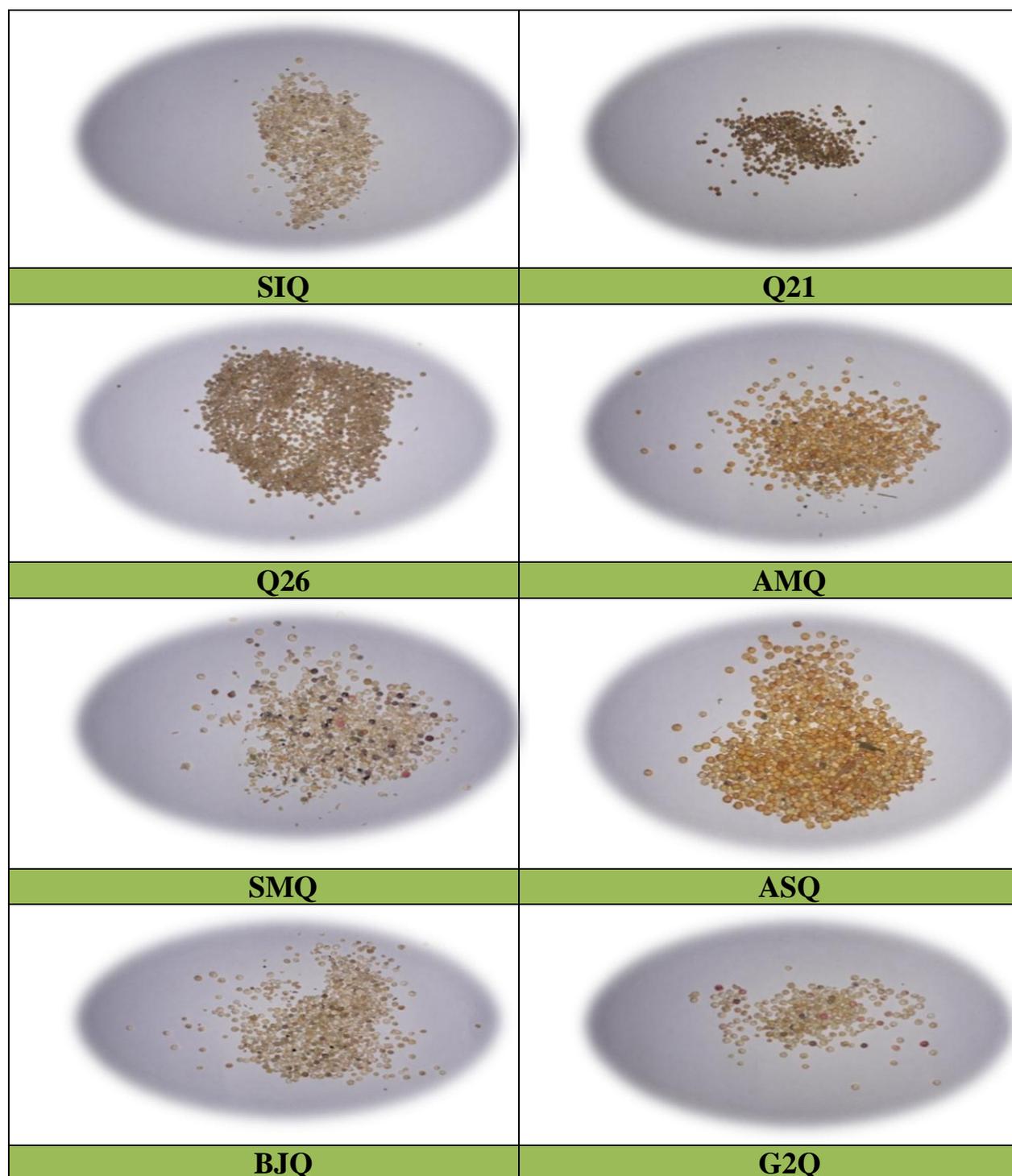


Fig.11 : Les huit variétés étudiées

II. Méthode de travail

1. Mesure du pH

Pour l'estimation de l'acidité ou l'alcalinité de nos échantillons, une solution est préparée à base de 45 ml d'eau distillée additionnée à 5g de farine. Après une heure de repos avec une agitation continue, la mesure du pH est réalisée à l'aide du pH mètre (**Multon, 1982**).

2. Analyse des fractions protéiques

Les fractions protéiques (albumines, globulines, prolamines, et glutélines) ont été isolées sur la base du critère de solubilité, elles ont été extraites séquentiellement en utilisant des solutions d'extraction appropriées.

- Les graines sont préalablement délipidées par l'hexane. Puis, elles sont solubilisées dans de l'eau distillée à raison de 0,1 g/10 ml de tampon. L'homogénat est centrifugé à 4000 rpm pendant 40 min. Un aliquote (50µL) du surnageant, qui contient les albumines solubles, est récupéré.
- Ensuite, le premier culot est homogénéisé de nouveau dans une solution de Tris HCl 100 mM, NaCl 0,5 M de pH=8,1, pour l'extraction de la fraction globulines, après centrifugation dans les mêmes conditions précédentes.
- De même, le culot 2 est repris dans une solution d'isopropanol à 55 %; après homogénéisation et centrifugation, les prolamines sont récupérées.
- Enfin, le culot 3 servira pour l'extraction des glutélines par une solution d'acide acétique 0,2 N.

La teneur en protéines des extraits a été déterminée par la méthode de méthode Bradford en utilisant BSA comme protéine standard (**Tsen et al.1962**).

3. Analyse des acides aminés libres

250 mg de la farine ont été homogénéisé dans 5 mL (50 mM) de tampon phosphate de potassium pré-refroidi (pH 7,8) avec un mortier et un pilon pré-refroidi dans un bain de glace et le mélange a été centrifugé à $12\ 000 \times g$ pendant 20 min à 4 °C. Le surnageant a été séparé et conservé à -20 °C.

Les acides aminés libres totaux ont été déterminés en suivant la méthode à la ninhydrine décrite par (**Hamilton et al. 1943**). 01 ml d'extrait a été mélangé avec 01 ml de pyridine 10 % et 01 ml d'acide ninhydrine 10 % dans des tubes à essai. Le mélange a été chauffé à 100°C pendant 30 min, refroidi à température ambiante, augmenté le volume à

7,5 ml en utilisant de l'eau distillée. La DO a été lu à 570 nm en utilisant un spectrophotomètre et les valeurs des acides aminés (mg/g de poids frais) ont été calculées en utilisant la courbe standard de la solution de Leucine.

4. Dosage de l'amidon total

L'extraction et le dosage de l'amidon a été réalisée comme suite, on a pesée environ 0,1 g de farine bien broyée puis on ajoute 5 ml de KOH 1N. Le mélange est neutralisé ensuite avec 5 ml de HCl 1N, puis on a mis en ébullition dans un bain -marie pendant 15 min et réajusté à 10 ml avec l'eau distillée. Après centrifugation, on a récupéré le surnageant pour faire l'objet du dosage. Pour déterminer la concentration de l'amidon et mélange d'amylose et l'amylopectine. On a préparé un mélange de 0,1ml de réactif KI/I₂, 4.85 ml d'H₂O et 0,05 ml de l'échantillon (surnageant). On effectue la lecture à 580 nm pour l'amylose l'amylopectine et à 720 nm pour l'amidon (**Lanouari et al., 2015**).

5. Analyse statistique

Les résultats sont cohérents avec une moyenne de 03 répétitions. Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA) sont affichés sous forme d'écart-type moyen dans Statistica7 et le test de Newman-Keuls a été utilisé pour comparer les moyennes (SNK).



Chapitre III

Résultats et discussion



1. Mesure de pH

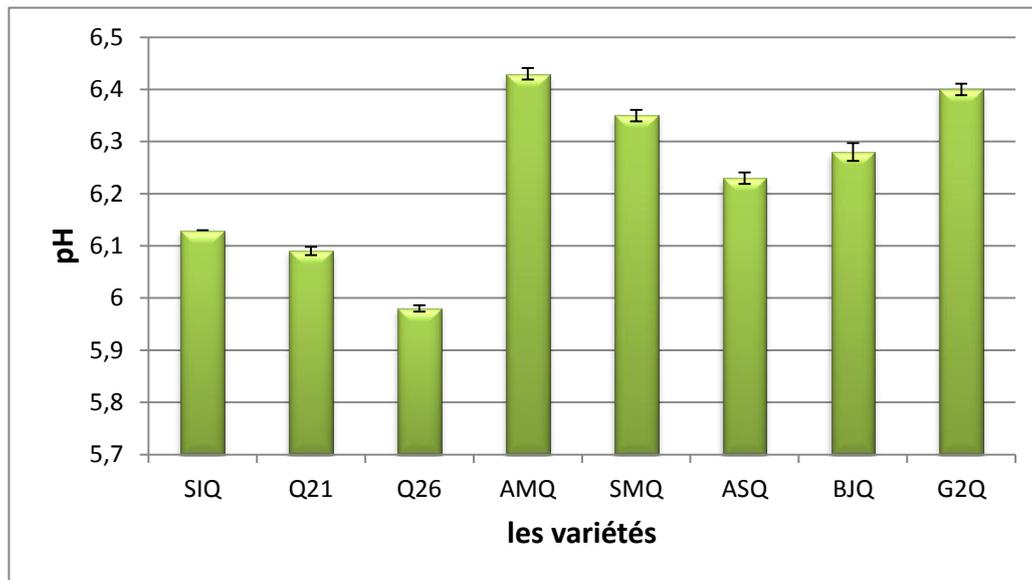


Fig.12 : Taux pH chez les huit variétés de Quinoa

En effet, le quinoa contient des saponines, qui sont des composés qui peuvent avoir un effet négatif sur l'équilibre du pH du corps. Lorsque le quinoa est cuit dans l'eau, il a un pH neutre.

Après l'expérience de mesure de pH dans différents variétés de quinoa nous avons obtenus les résultats qui sont présentés en dessus, les valeurs varie entre $[6,43 \pm 0,011$ et $5,98 \pm 0,011]$ chez les variétés **AMQ** et **Q26** respectivement.

L'analyse de la variance (Anova) a montré une très grande signification chez les huit variétés ($P < 0,001$)

2. Analyse des fractions protéiques

a. Albumine

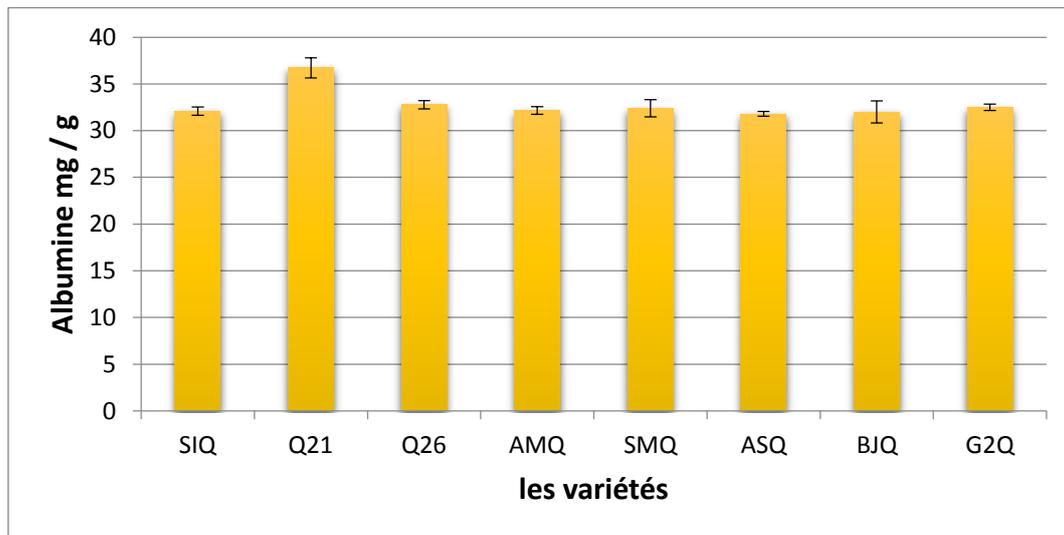


Fig.13 : la concentration d'Albumine dans différentes variétés de Quinoa (mg/g)

L'analyse de la variance (Anova) a montré une très grande signification chez les huit variétés ($P < 0,001$)

L'analyse des résultats obtenus à partir (**Fig. 13**) permet d'observer deux valeurs:

- Maximal [$36.73 \pm 1,08$ mg/g] chez la variété **Q21**.
- Minimale [$31.8 \pm 0,26$ mg/g] chez la variété **ASQ**.

Selon **Repro-carrasco et al. (2003)**, la concentration d'albumine [45mg/g],

Tavano, O, L. et al. (2022), varie de [26.96 mg/g, 32.4mg/g].

L'Albumine ou le Globuline type 2S représente 35% des protéines totales de Quinoa. Il est classé en deuxième rang après le Globuline (**Herbillon, 2015**).

b. Globuline:

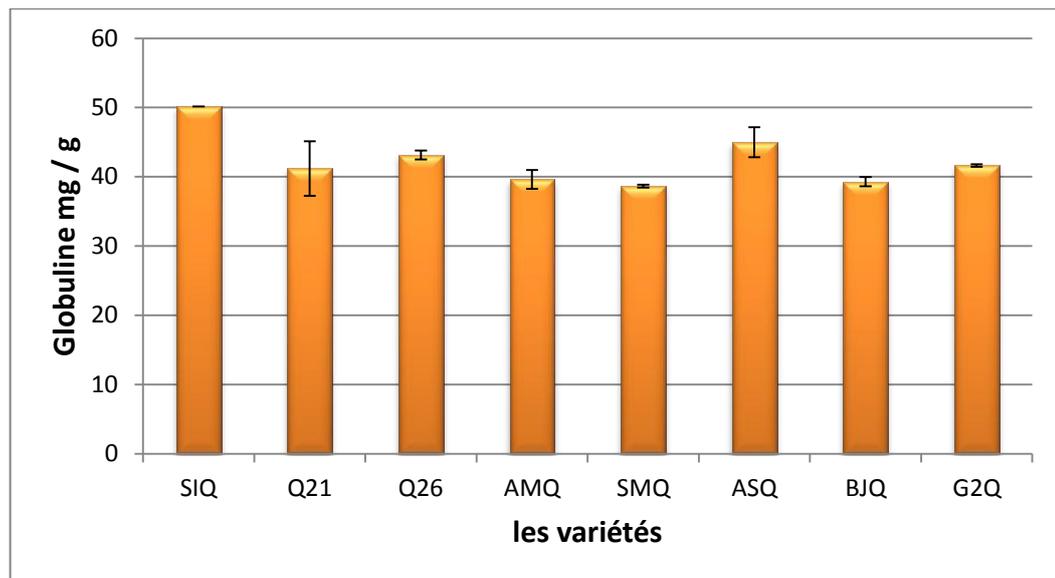


Fig.14 : la concentration de Globuline dans différentes variétés de Quinoa (mg/g)

L'analyse de la variance (Anova) a montré une très signification chez les espèces ($P < 0,0001$)

-Maximale chez **SIQ** [$50.16 \pm 3,95$ mg/g].

-Minimale **SMQ** [$38.66 \pm 2,15$ mg/g].

Selon **Repo-carrasco et al.(2003)**., la concentration de globuline est [450mg/g] et elle supérieure à celle découverte par **Tavano,O ,L.et al.(2022)**. , [413mg/g].

Le Globuline est la principale fraction des protéines de Quinoa.

Le Globuline de type 11S (coefficient de sédimentation) appelée chenopodine, représente 37 % des protéines totales de Quinoa (**Herbillon, 2015**).

c. prolamine:

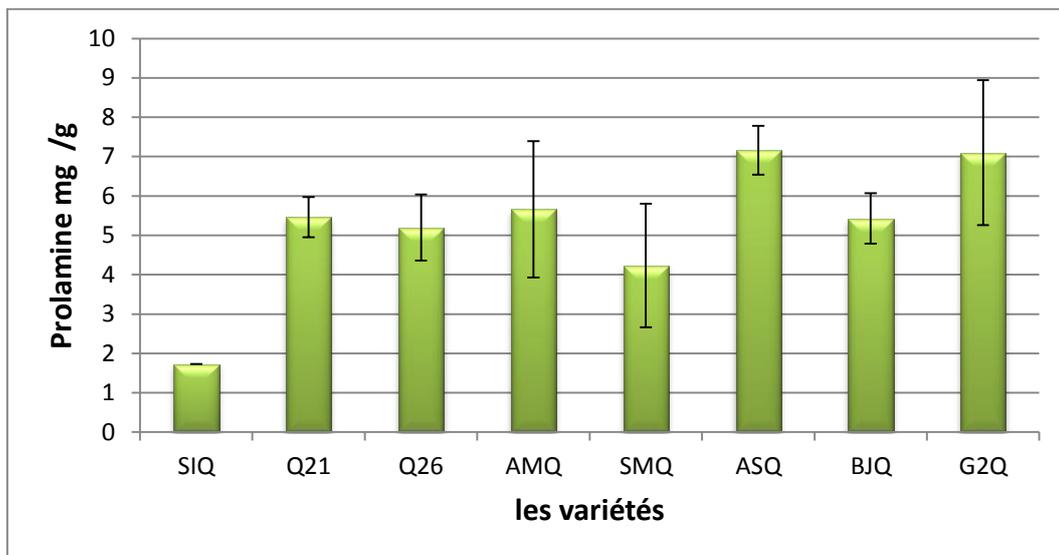


Fig.15 : la concentration de Prolamine dans différentes variétés de Quinoa (mg/g)

Les protéines du quinoa contiennent très peu de prolamines qui sont les principales protéines de réserve des céréales conventionnelles. Selon **Sobota et al. (2015)**, la concentration de Prolamine est [3,89 à 6,89 mg/g] et elle est inférieure à celle de **Repro-Carrasco et al. (2003)**, [230 mg/g]. Nos résultats ont montré les valeurs suivantes [$7.16 \pm 0,64$ et $1.73 \pm 0,51$ mg/g], chez les variétés **ASQ** et **SIQ** respectivement.

L'analyse de la variance (Anova) a montré une signification chez les variétés ($P < 0,05$).

Selon **Zevallos et al. (2012)** et **Biesiekierski et al. (2013)**, les protéines du quinoa ne contiennent pas, ou très peu, de prolamines qui sont les principales protéines de réserve des céréales conventionnelles. Ces prolamines, telles que la gliadine du blé ou l'hordénine de l'orge, sont collectivement appelées « gluten » et induisent des réponses auto – immunes chez les patients coeliaques.

d. Glutéline

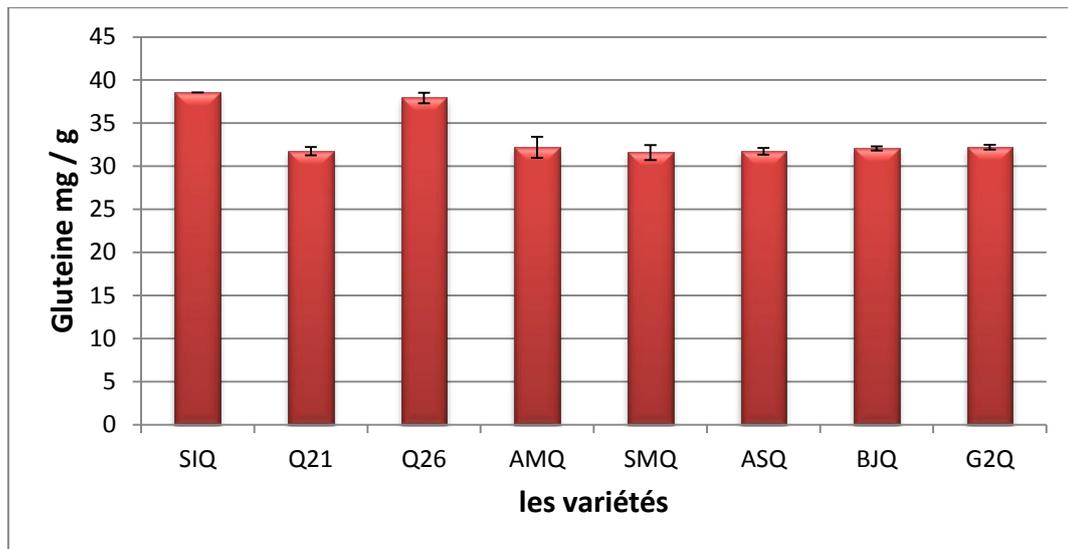


Fig.16 : la concentration de Glutéline dans différentes variétés de Quinoa (mg/g)

Les valeurs du glutéline sont comprises entre $[31.59 \pm 0,4$ et $38.56 \pm 0,48$ mg/g].chez la variété **SIQ** la variété **SMQ**.

Selon **Tavano, O ,L. et al.(2022)**.,la concentration de glutéline est[231,6 mg/g], elle est inférieure à celle découverte par **Repro-carrasco et al.(2003)**, [346 mg/g.

L'analyse de la variance (Anova) a montré une très signification chez les espèces ($P < 0,001$).

3. Analyse des acides aminés libre

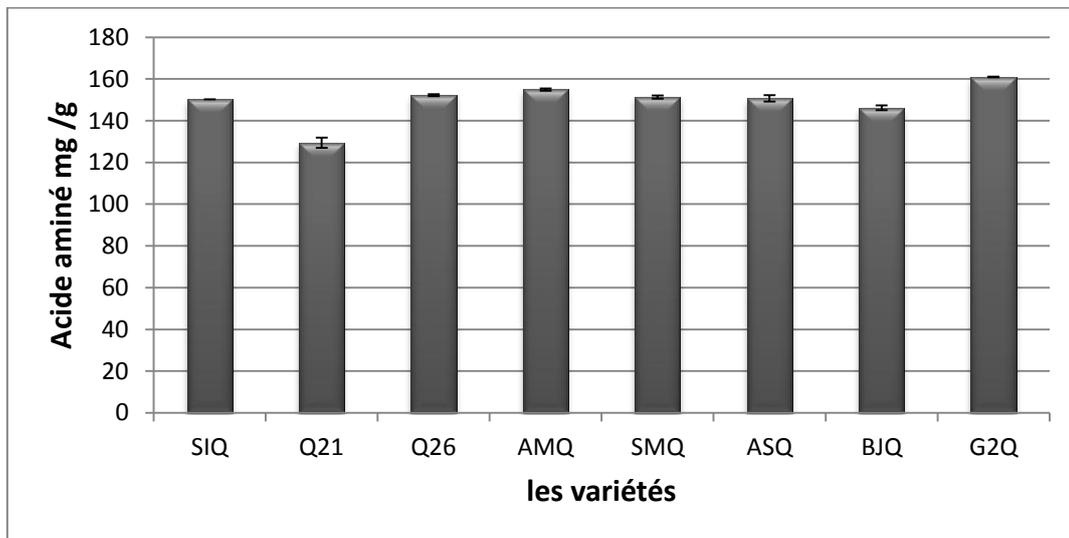


Fig.17 : la concentration des acides aminés libres dans différentes variétés de Quinoa (mg/g).

Les acides aminés libres varient entre [$129.43 \pm 0,44$ et $160.9 \pm 0,66$ mg/g] chez les variétés **Q21** et **G2Q**.

.L'analyse de la variance (Anova) a montré une très signification chez les espèces ($P < 0,0001$). Les protéines du quinoa révèlent une importante valeur nutritionnelle, qui se détermine avant tout par la balance en acides aminés essentiels (**FAO, 2011**).

En plus d'un spectre d'acides aminés plus large que les céréales et les légumineuses (**Abugoch et al., 2008**), le quinoa présente des teneurs intéressantes en acides aminés dits «semi-essentiels».

4. Dosage de l'Amidon total

a. Amidon

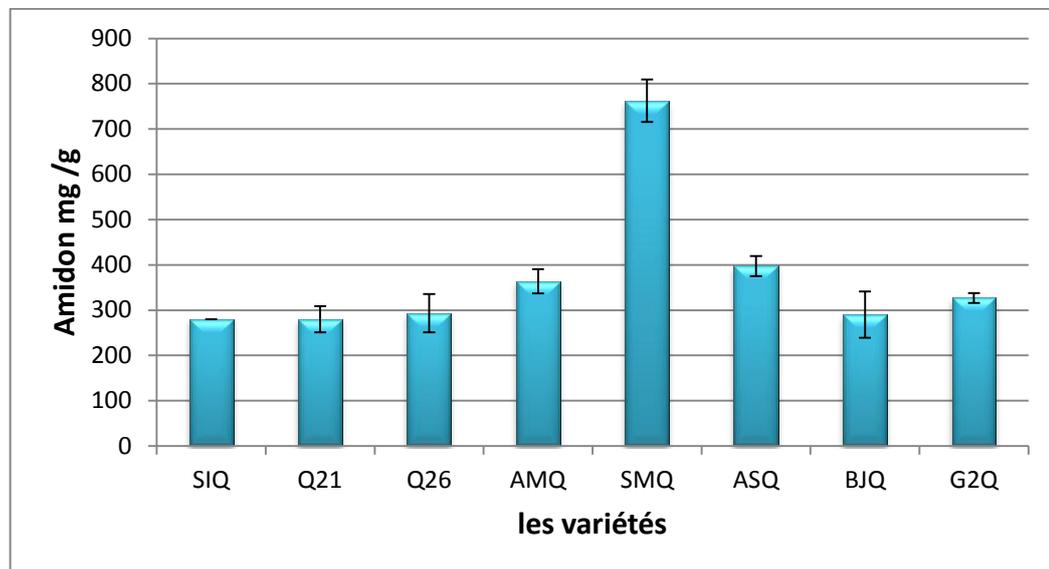


Fig.18 : la concentration d'Amidon dans différentes variétés de Quinoa (mg/g)

L'amidon est un composant essentiel dans les céréales et les pseudo-céréales.

Les huit variétés de Quinoa présentent des niveaux élevés d'amidon variant entre $[280.03 \pm 29,04$ et $762.5 \pm 22,33$ mg/g].

La valeur la plus élevée est observée chez la variété **SMQ** et la valeur la plus basse est observée chez la variété **SIQ**. L'analyse de la variance (Anova) a montré une très grande signification chez les variétés ($P < 0,001$).

Selon **Steffolani et al. (2013)**, la concentration d'Amidon est [826.2 à 863.5 mg/g] et elle est supérieure à celle découverte par **Vega Galvez et al. (2010)**, **Nascimento et al. (2014)**, et **Angeli et al. (2020)**, qui varient entre [581 à 642 mg/g], [572 mg/g] et [486 à 681 mg/g], respectivement.

b. Amylose

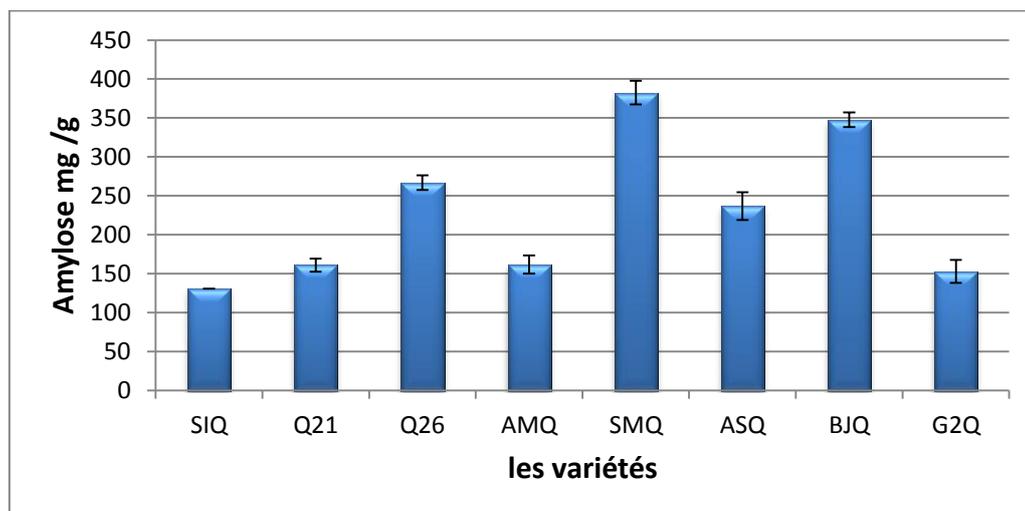


Fig.19 : la concentration d'Amylose dans différentes variétés de Quinoa (mg/g)

L'amylose, est l'un des deux polymères de glucose qui composent l'Amidon, Les valeurs observé sont $[382.4 \pm 17,93$ et $130.79 \pm 8,46$ mg/g], chez Les variétés **SMQ** et **SIQ**. Selon **Vega Galvez et al. (2010)**, la concentration d'Amylose est [110 mg/g], **Abugoch et al. (2009)**, **Steffolani et al. (2013)** et **Nascimento et al. (2014)**, varies de [35 à 225 mg/g], [82.2 à 174,4 mg/g] et [197 mg/g], respectivement.

L'analyse de la variance (Anova) a montré une très grande signification chez les variétés ($P < 0,001$).

Conclusion et perspective

L'amidon, l'amylose et les protéines sont tous présents en quantités substantielles dans les graines de quinoa. De ce fait, elles semblent avoir des compositions protéiques de réserve variables selon les variétés. Les principales protéines de réserve sont les globulines, les glutélines et les albumines dans cet ordre. Très peu de fraction de prolamines est présente. Les résultats de cette étude peuvent aider à améliorer nos connaissances sur le comportement des protéines de quinoa et peuvent nous aider à décider comment utiliser ce matériel dans de futures recherches. Malgré le fait qu'il n'y avait pas de différence entre les 08 variétés de quinoa testées. Pour bien comprendre la qualité des protéines de graines de quinoa, des recherches supplémentaires sont nécessaires. Ainsi, une électrophorèse bidimensionnelle permettrait la visualisation de nombreuses protéines dans leur état natif et pourrait donner des résultats plus éclairants. D'autre part, la protéine de quinoa a une grande valeur nutritionnelle lorsqu'elle est administrée volontairement à l'homme.

Références

❖ A

- Abugoch L., Romero N., Tapia C., Silva J., Rivera M. (2008). Study of some physicochemical and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) protein isolates. *J. Agric. Food Chem.*, 56(12), 4745-4750.
- Abugoch, J. Lilian, E. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties.
- 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.
- Angeli, V. Miguel Silva, P. Crispim Massuela, D. Waleed Khan, M. Hamar, A. Khajehei, F. Grae-Hönninger, S. Piatti, S. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An Overview of the Potentials of the “Golden Grain” and Socio-Economic and Environmental Aspects of Its Cultivation and Marketization.

❖ B

- Benlhabib O., (2005). Les cultures alternatives Quinoa, amarante et épeautre. n° 133.
- Bertero, D., Medan, D. and Hall, A.J. (1996) Changes in apical morphology during floral initiation and reproductive development in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Annals of Botany* 78, 317–324.
- Bhargava A., Shukla S., Ohri D. (2006). *Chenopodium quinoa*—an Indian perspective. *Industrial crops and products* 23(1):73-87.
- Bhargava, A., Shukla, S. and Ohri, D. (2007a). Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research* 101, 104–116.
- Bhargava, A., Shukla, S. and Ohri, D. (2007b). Gynomonoecy in *Chenopodium quinoa* Willd. (*Chenopodiaceae*): variation in inflorescence and floral types in some accessions. *Biologia* 62, 19–23.
- Bhargava, A. Srivastava S., 2013. Quinoa Botany, production and Uses. Typeset by SPI Pondicherry. India, p:25.

Références

- Bioersity International et FAO., (2013). Quinoa et ses espèces sauvages apparentées. Bolivie. N°538, pp :3-38.
- Biesiekierski J.R. ,Muir J.G. , Gibson P.R. (2013) . Is gluten a cause of gastrointestinal symptoms in people without celiac disease ? *Curr .Allergy Asthma Rep . , 13 (6) , 631-638.*



- Cai, Y., Sun, M. and Corke, H. (2005). HPLC characterization of betalains from plants in the Amaranthaceae. *Journal of Chromatographic Science* 43, 454–460.
- Cercam., 2014- Fiche de synthèse QUINOA Une culture à fort potentiel d'adaptation et de production pour le Maroc. Maroc, p: 3.
- *Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Rev. Int.* 2003, 19, 179–189.
- *Chenopodium quinoa*) flour. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 54, 153–158.
- Collazos, C. (1993). *La Composicion de Alimentos de Mayor Consumo en el Peru´*. 6ta ed. Lima, Peru´: Ministerio de Salud. Instituto Nacional de Nutricion. Banco Central de Reserva.



- Da cunha veloso A., 2016. Impacts de l'essor international du quinoa. Haute École de Gestion de Genève (HEG-GE). Suisse, p 2-3.
- Del Castillo C., Gregory M., Winkel T. (2008). Le Quinoa en Bolivie : une culture ancestrale devenue culture de rente(bio-équitable). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 12(4) :421-435.
- Dini N., Rastrilli L., Saturnino P., Schittino A. (1992). A composition study of *Chenopodium quinoa* seeds. *Food / Nahrung*, 36(4), 400-404.



- 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.

Références

- FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016, FAOSTAT Database, FAO. (1 December 2016; www.fao.org/faostat).
- FAOSTAT F., (2010). "Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx> ancor ; Acessado em setembro.
- 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.
- Fardet A (2010). New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre? *Nutr Res Rev* 23: 65-134.
- Fuentes F., Bhargava A. (2011). Morphological analysis of Quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *J Agron Crop Sci* 197:124–134.



- Gallardo M., Pardo F., Gonzales J. (1996). Efecto del CINa sobre el contenido de betalainas en *Chenopodium quinoa* Willd. XXI Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. 20-22 de marzo, Mendoza, Argentina, 284-285.
- Gallardo, M., González, J.A. and Prado, F.E. (2000). Presencia de betalaínas en plántulas de *Chenopodium quinoa* Willd. *Lilloa* 40, 109–113.
- Gandarillas H. (1979). Botánica. In : Tapia M.E., Gandarillas H., Alandía S., Cardozo A., Mujica A., Ortiz R., et al., editors. *La quinua y la kañiwa: cultivos andinos*. Bogotá, Colombia, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA), 20-44.
- González Martín MI, Wells Moncada G, Fischer S, Escuredo O (2014). Chemical characteristics and mineral composition of quinoa by nearinfrared spectroscopy. *J Sci Food Agric* 94: 876-881.
- Gordillo-Bastidas E., Díaz-Rizzolo DA., Roura E., Massanés T., Gomis R., 2016. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). From Nutritional Value to Potential Health Benefits: An Integrative Review. *J Nutr Food Sci*. 6(3): 2155-9600.
- Granados-Silvestre Mde L, Ortiz-López MG, Montúfar-Robles I, Menjívar-Iraheta M (2014). Micronutrients and diabetes, the case of minerals. *Cir Cir* 82: 119-125.
- González, J., M. Bruno, et al. (2011). Variation génotypique des paramètres d'échange de gaz et des isotopes stables du carbone et de l'azote des feuilles dans dix cultivars de quinoa cultivés sous la sécheresse. *Journal of agronomy and crop science* 197(2) : 81-93.

Références

❖H

- Hamilton, P.B., Van Slyke, D.D., Lemish, S., 1943. The gasometric determination of free amino acids in blood filtrates by the ninhydrin- carbon dioxide method , j. Boil. Chem.150, 231-250.
- 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, p:27 50.
- Herbillon Marie., (2015). Le quinoa : intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. Sciences pharmaceutiques. dumas-01172250.
- Hunziker, A.T. (1943). Los species alimenticias de Amaranthus y Chenopodium cultivadas por los Indios de America. Revista Argentina de Agronomia 30, 297–353.

❖J

- 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.
- Jancurová M, Minarovicova L, Dandar A (2009). Quinoa - A Review. Czech J Food Sci 27: 71-79.

❖K

- Koziol M. (1992). Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). J. Food Compos. Anal., 5(1), 35-68.

❖L

- Lamothe LM, Srichuwong S, Reuhs BL, Hamaker BR (2015). Quinoa (Chenopodium quinoa W.) and amaranth (Amaranthus caudatus L.) provide dietary fibres high in pectic substances and xyloglucans. Food Chem 167: 490-496.
- Lampi A.M., Nurmi T., Ollilainen V., Piironen V. (2008). Tocopherols and tocotrienols in wheat genotypes in the healthgrain diversity screen. J. Agric. Food Chem., 56(21), 9716-9721.
- Latinreco. (1990). Quinoa-Hacia su cultivo comercial. Latinreco S.A. Quito, Ecuador.

Références

- Lebonvallet S., (2008). Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'altiplano bolivien. Thèse doctorat. Agro Paris Tech. France, p:17-29.
- Lescano, R.J.L. (1981). Cultivo de la Quinoa. Universidad Nacional Tecnica del Altiplano, Centro de Investigaciones en Cultivos Andinos, Puno, Peru.
- Lorenz, K. (1991). Quinoa (*Chenopodium quinoa*) starch—Physicochemical.
- Lanouari, S., Nasser, B., El Haddoury, J., Bencharki, B. (2015). Caractérisation physicochimique des graines de blé tendre (*Triticum aestivum*) sous traitement herbicide par l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique [Physico-chemical characterization of the seeds of bread wheat (*Triticum aestivum*) under herbicide treatment with 2,4-dichlorophenoxyacetic acid]. International Journal of Innovation and Applied Studies, 10(2): 604-620.



- Mabry, T.J., Taylor, A. and Turner, B.L. (1963). The betacyanins and their distribution.
- Maki KC, Phillips AK (2015). Dietary substitutions for refined carbohydrate that show promise for reducing risk of type 2 diabetes in men and women. J Nutr 145: 159S-163S.
- Maradini A., Pirozi M., Borges J., Sant'Ana H., Chaves J., Coimbra J., 2015. Quinoa: Nutritional, functional and antinutritional aspects. Campus University. Brazil, p: 6-34.
- Mujica A., (1992). Granos y leguminosas andinas. In : J. Hernandez, J. Bermejo y J. Leon (eds).
- Mujica A., Izquierdo J., Marathe J.P. (2001). Origen y descripción de la quinoa. In : Mujica A., Jacobsen S. E., Izquierdo J., Marathe J. P. y FAO, editors. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. CIP, UNAP. FAO, CD Cultivos Andinos, version 1.0. Santiago, Chile. Phytochemistry 2, 61–64.
- Multon, J. L. (1982). mecanismes d'alteration des grains et graines dans l'eco-systeme postrecolte, les pertes qui en resultent et les strategies de defense des stocks. Conservation et stockage des grains et graines et produits derives : cereales, oleagineux, proteagineux, aliments pour animaux/coordonnateur, JL Multon ; preface, E. David.
- Meier U., Bleiholder H., Buhr L., Feller C., Hack H., Heß M., Lancashire P.D., Schnock U., Stauß R., Boom T.V.D., Weber E., Zwerger P. (2009a) The BBCH system to coding

Références

the phenological growth stages of plants – history and publications. *Journal für Kulturpflanzen*, **61**, 41–52.

❖N

- Nascimento,A. Mota,C. Coelho,I. Gueifão,S. Santos,M. Matos,A,S. Gimenez,A. Lobo,M. Samman,N.Castanheira,I.(2014). Characterisation of nutrient profile of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*), and purple corn (*Zea mays L.*) consumed in the North of Argentina: Proximates, minerals and trace elements.
- National Research Council. Lost crops of the Incas: little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. Washington, DC, USA, National Academy Press, 1989, 149-161.

❖O

- Ogungbenle, H. (2003). Nutritional evaluation and functional properties of quinoa.
- Oshodi, A., Ogungbenle, H. and Oladimeji, M. (1999). Chemical composition, nutritionally valuable minerals and functional properties of benniseed, pearl millet and quinoa flours. *International Journal of Food Science and Nutrition* 50, 325–331.

❖P

- Prego I., Maldonado S., Otegui M. (1998). Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. *Ann. Bot.*, 82(4), 481-488.
- Prego, I., Maldonado, S. and Otegui, M. (1998). Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. *Annals of Botany* 82, 481–488.
- Properties and functional characteristics. *Starch/Starke*, 42,82–86.
- Przybylski R., Chauhan G.S., Eskin N.A.M. (1994). Characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) lipids. *Food Chem.*, 51(2), 187-192.

❖Q

- Quispe J.I., Fernandez C., Cortes G.(1976). Contribucion al estudio morfologico del grano de quinoa.In :Segunda Convencion Internacional de Quenopodiaceas,potosi,Bolivia.

Références



- 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.
- Repo-Carrasco, R. Espinoza, C. Jacobsen, S.-E.(2003) Nutritional value and use of the Andean crops quinoa.
- Risi, J. and Galwey, N.W. (1984). The *Chenopodium* grains of the Andes: Inca crops for modern agriculture. In: Coaker, T.H. (ed.) *Advances in Applied Biology*, Vol. 10. Academic Press, London, pp. 145–216.
- Rojas W, Pinto., Soto J.L. (2010). Distribucion geogràfica y variabilidad genetic de los granos Andinos: Avances , logros y experiencias desarrolladas en quinoa .org <http://www.proipa> Bioversity International 2010. canahua y amaranto en Bolivia./index php.
- Ruales J., Nair B.M. (1993a). Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seeds. *Food Chem.*, 48(2), 131-136.



- Saturni L, Ferretti G, Bacchetti T (2010). The gluten-free diet: safety and nutritional quality. *Nutrients* 2: 16-34.
- Shewry P.R. The major seed storage proteins of spelt wheat, sorghum, millets and pseudo-cereals. In: Belton P.S., Taylor J.R.N., editors. *Pseudo-cereals and Less Common Cereals*, Germany, Springer, 2002, 1-24.
- Simmonds, N.W. (1965). The grain chenopods of the tropical American highlands. *Economic Botany* 19, 223–235.
- Sobota A, Rzedzicki Z, Zarzycki P and Kuzawińska E, Application of common wheat bran for the industrial production of high-fibre pasta. *Int J Food Sci Technol* 50:111–119 (2015).
- Sobota, A. Świeca,M. Gęsiński,K. Wirkijowska,A. Bochnak,J. (2019). Yellow-coated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) – physicochemical, nutritional, and antioxidant properties.

Références

- Steffolani, M., Edelman, A., Gabriela Teresa Pérez, G. (2013). Study of the physicochemical and functional characterization of quinoa and kañiwa starches. *subsect. Celluloid). Economic Botany*, 44(3) :92–110.



- Tanaka, Y., Sasaki, N. and Ohmiya, A. (2008). Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *The Plant Journal* 54, 733–749.
- Tang Y., Li X., Chen P.X., Zhang B., Hernandez M., Zhang H., et al. (2015a). Characterisation of fatty acid, carotenoid, tocopherol/tocotrienol compositions and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. Genotypes. *Food Chem.*, 174, 502-508.
- Tapia M.E., 2000. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. In : Mujica, A., Jacobsen, S. E., Izquierdo, J., Marathe, J. P. y FAO, editors. *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*. CIP, UNAP. FAO, CD Cultivos Andinos, version 1.0. Santiago, Chile.
- 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.
- Tavano, O., L. Miguel Amista, J., del Ciellog. Rodrigues, M., C. Marcela Bono Nishide, A., Valadares, L., A. Siqueira, B., M. Silva Gomes, R., A. Parolini, M., T. Silva Junior, S., I. (2022). Isolement et évaluation des fractions protéiques du quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Une approche nutritionnelle et bio-fonctionnelle de la fraction globuline. *recherche actuelle en science alimentaire*. tome 5, pages 1028-1037.
- Tsen, C. C., Levi, I., Hlynka, I. (1962). A rapid method for the extraction of lipids from wheat products. *Cereal Chemistry*, 39, 195-203.
- Transfert de technologie en agriculture. Royaume du MAROC. Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes. pp. 4.



- 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.

Références

- USDA. (2005). USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 27. Nutrient Data Laboratory Home Page, http://www.ars.usda.gov/main/site_main.htm?modecode=80-40-05-25, consulté le 5 janvier 2015.



- Valencia Chamorro S A., 2004. Quinoa. Ecole Polytechnique Nationale, Quito. Equateur, p: 1-7. Vega-Gálvez A, Miranda M, Vergara J, Uribe E, Puente L, Amartínez E., 2010- Nutrition facts and functional potential of quinoa (Chenopodium quinoa willd.). J Sci Food Agrican . Society of Chemical Industry. Chile, p: 2543-2545.
- Valencia-Chamorro S.A. Quinoa. In: Cabalero B. 2ème éd. Encyclopedia of Food Science and nutrition (vol. 8), Amsterdam, Academic Press, 2003, 4895-4902.
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L. and Martínez, E.A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.), an ancient Andean grain: a review. Journal of Sciences of Food and Agriculture 90, 2541–2547.



- Wilson H. D., (1990). Quinoa and Relatives (Chenopodium sect.Chenopodium).
- Wu Y, Qian Y, Pan Y, Li P, Yang J, et al. (2015). Association between dietary fiber intake and risk of coronary heart disease: A meta-analysis. Clin Nutr 34: 603-611.



- 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 celiacdisease . Am . J. Clin .Nutr . , 96 (2) , 337-344 .

Annexe

Annexe 01: les produits et le matériel utilisé.

Les produits	Le matériel
Hexane , Tris hydroxy méthyl aminométhane, NaCl, Isopropanol, Acide Acétique, NaH ₂ PO ₄ , Na ₂ HPO ₄ , Acide Ninhydrine, éthanol, Acide Pyridine, KOH, HCl, KI ₂ iodure de potassium, Iode Bisublimé, Amidon, Bleu Brillant de coomassie, Acide Orthophosphorique.	Les Béchers, les tubes à essai, la Spatule, le Mortier, les tubes de centrifugation, le papier de filtration.

Annexe02 : Mesure de ph des différentes variétés de Quinoa

VAR	Ph	ECART
SIQ	6,13	0,008
Q21	6,09	0,006
Q26	5,98	0,011
AMQ	6,43	0,011
SMQ	6,35	0,011
ASQ	6,23	0,017
BJQ	6,28	0,011
G2Q	6,4	0,015

Annexe03 : la concentration d'Albumine dans différentes variétés de Quinoa

VAR	Albumine	Ecart
SIQ	32,1	0,45
Q21	36,73	1,08
Q26	32,76	0,44
AMQ	32,16	0,42
SMQ	32,4	0,93
ASQ	31,8	0,26
BJQ	32	1,19
G2Q	32,5	0,33

Annexe

Annexe04 : la concentration de Globuline dans différentes variétés de Quinoa

VAR	Globuline	Ecart
SIQ	50,16	3,95
Q21	41,2	0,66
Q26	43,16	1,37
AMQ	39,63	0,22
SMQ	38,66	2,15
ASQ	45	0,66
BJQ	39,3	0,2
G2Q	41,63	0,24

Annaxe05 : la concentration de Prolamine dans différentes variétés de Quinoa

VAR	Prolamine	Ecart
SIQ	1,73	0,51
Q21	5,46	0,84
Q26	5,2	1,73
AMQ	5,66	1,57
SMQ	4,23	0,62
ASQ	7,16	0,64
BJQ	5,43	1,84
G2Q	7,1	0,53

Annaxe06 : la concentration de Glutéline dans différentes variétés de Quinoa

VAR	Glutéline	Ecart
SIQ	38,56	0,48
Q21	31,76	0,62
Q26	37,93	1,22
AMQ	32,19	0,86
SMQ	31,59	0,4
ASQ	31,73	0,24
BJQ	32,06	0,28
G2Q	32,23	0,37

Annexe

Annaxe07 : la concentration des Acides aminés dans différentes variétés de Quinoa

VAR	Acide aminé	Ecart
SIQ	150,26	2,51
Q21	129,43	0,44
Q26	152,26	0,51
AMQ	154,93	0,82
SMQ	151,33	1,55
ASQ	150,76	1,17
BJQ	146,16	0,17
G2Q	160,9	0,66

Annaxe08: la concentration d'Amidon dans différentes variétés de Quinoa

VAR	Amidon	Ecart
SIQ	280,03	29,04
Q21	280,06	42,42
Q26	293,46	26,77
AMQ	363,83	46,88
SMQ	762,5	22,33
ASQ	397,33	51,37
BJQ	290,13	11,15
G2Q	326,96	24,55

Annaxe09 : la concentration d'Amylose dans différentes variétés de Quinoa

VAR	Amylose	Ecart
SIQ	130,79	8,46
Q21	160,93	9,51
Q26	266,9	11,6
AMQ	161,79	15,19
SMQ	382,4	17,93
ASQ	236,86	9,51
BJQ	347,63	14,77
G2Q	153,03	10,55

Annexe

Annexe10 : Analyse de la variance de pH

Source	D DL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	7 1	0,5389	0,0770	27 275,75	< 0,0001
Erreur	6 2	0,0045	0,0003		
Total corrigé	3	0,5433			

Annexe11 : Analyse de la variance albumine

Source	D DL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	7 1	54,7583	7,8226	7,6040	0,0004
Erreur	6 2	16,4600	1,0288		
Total corrigé	3	71,2183			

Annexe12 : Analyse de la variance globuline

Source	D DL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	7 1	302,6263	43,2323	8,3226	0,0002
Erreur	6 2	83,1133	5,1946		
Total corrigé	3	385,7396			

Annexe13 : Analyse de la variance prolamine:

Source	D DL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	7 1	62,2600	8,8943	3,3312	0,0219
Erreur	6 2	42,7200	2,6700		
Total corrigé	3	104,9800			

Annexe

Annexe14 : Analyse
de la variance glutéline:

Source	D DL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	7 1	181,2263	25,8895	32,668	< 0,0001
Erreur	6 2	12,6800	0,7925		
Total corrigé	3	193,9063			

Annexe15 : Analyse
de la variance acide
aminée:

Source	D DL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	7 1	1759,4117	251,3445	81,926	< 0,0001
Erreur	6 2	49,0867	3,0679		
Total corrigé	3	1808,4983			

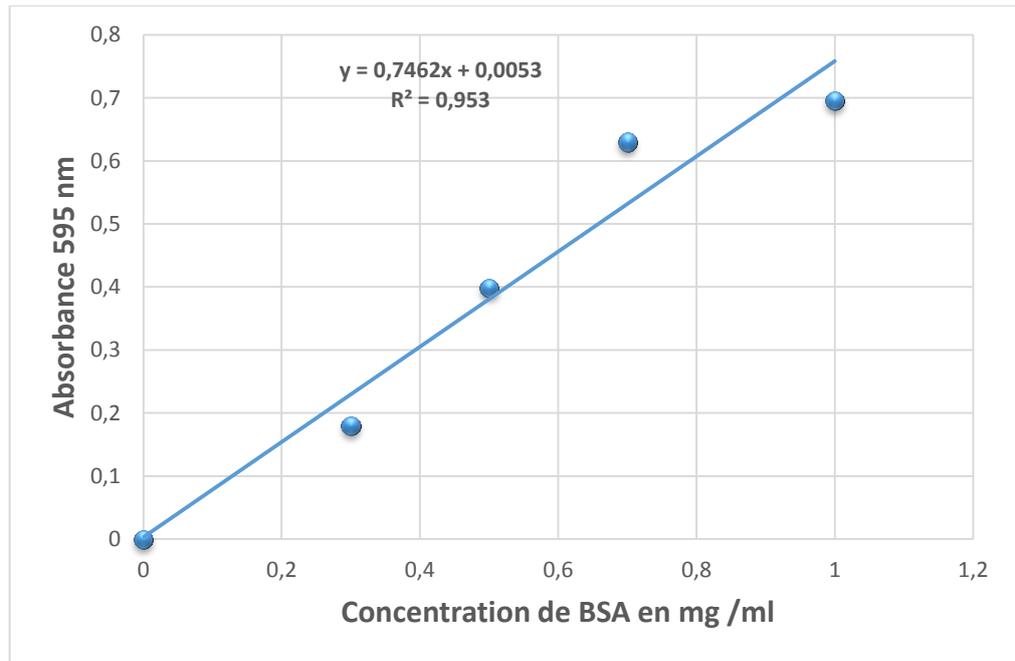
Annexe16 : Analyse
de la variance amidon:

Source	D DL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	7 1	554891,851	79270,2645	35,085	< 0,0001
Erreur	6 2	36149,5267	2259,3454		
Total corrigé	3 3	591041,378			

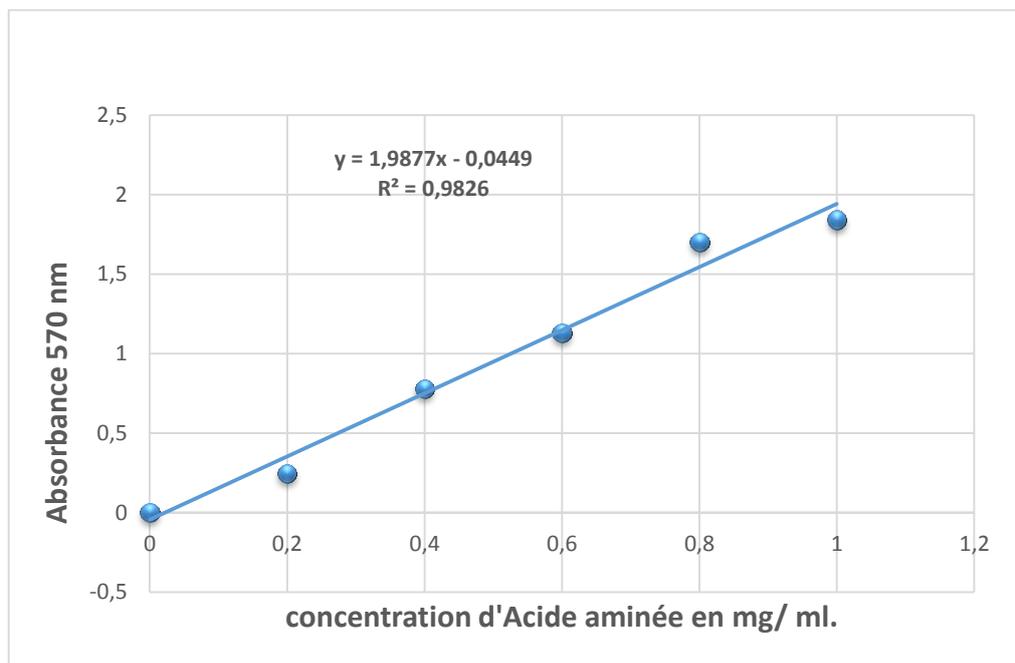
Annexe17 : Analyse
de la variance amylose:

Source	D DL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	7 1	190974,172	27282,0247	85,338	< 0,0001
Erreur	6 2	5115,0867	319,6929		
Total corrigé	3 6	196089,259			

Annexe

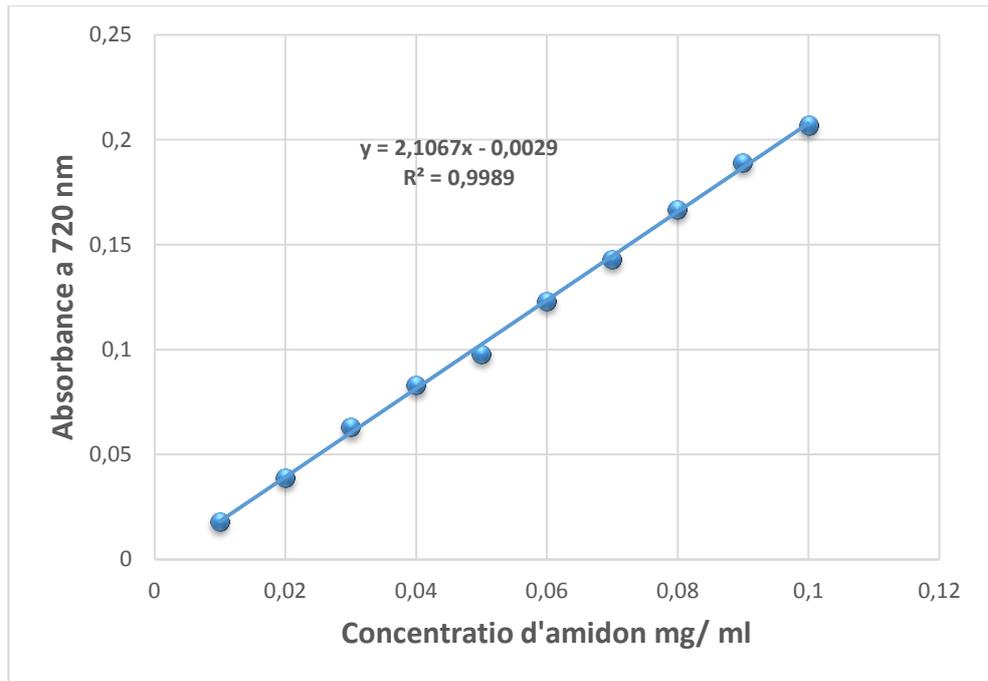


Annexe18 :

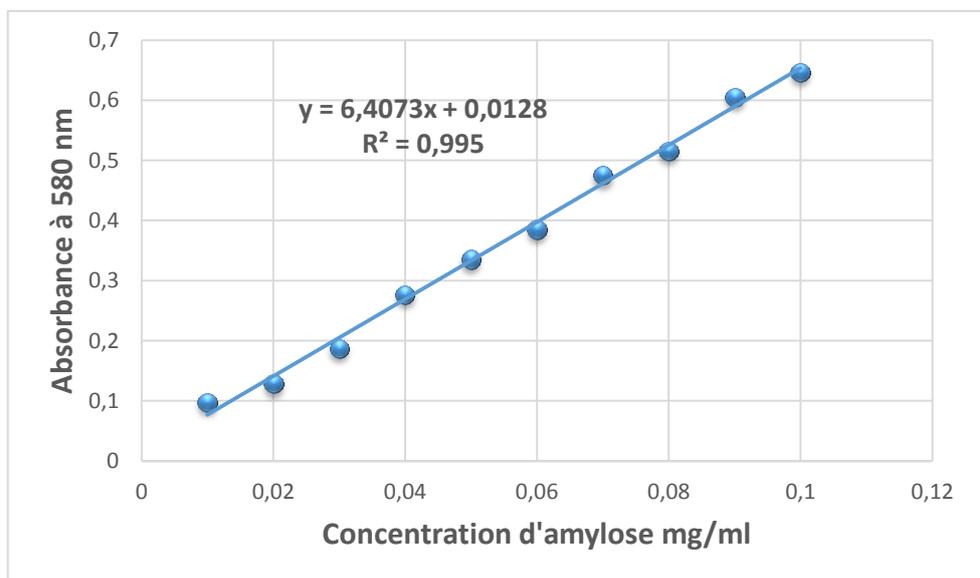


Annexe19 :

Annexe



Annexe20 :



Annexe21 :

Année universitaire : 2022-2023

Présenté par : Fedsi Safia

Seggani Rayane

Caractérisation protéique des différentes graines de l'espèce quinoa

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Biologie et physiologie de la reproduction

Résumé

Le but de cette étude est de caractériser la diversité protéique de différentes graines de l'espèce Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) chez huit variétés **SIQ, Q21, Q26, AMQ, SMQ, ASQ, BJQ et G2Q**. Les paramètres réalisés sont : les protéines de réserve (Albumine, Globuline, Prolamine, Glutéline), Amidon, Amylose, les acides aminés et le pH.

Les résultats ont montré que les protéines de réserve chez l'espèce Quinoa sont :

Albumine [31.8 et 36.73mg/g] [**ASQ, Q21**], Globuline [39.3 et 50.16 mg/g] [**SMQ, SIQ**], Prolamine [1.73 et 7.16 mg/g] [**SIQ, ASQ**], Glutéline [31.59 et 38.56mg/g] [**SMQ, SIQ**]. Les acides aminés [129.43 et 160.9 mg/g] [**AMQ, G2Q**]. La teneur d'Amidon et d'Amylose [280.03 et 762.5mg/g], [130.79 et 382.4 mg/g] [**SIQ, SMQ**], respectivement. Dans les huit variétés, le pH varie entre [5.98 et 6.43] [**Q26, AMQ**]. Enfin Les résultats montrent que la variété la plus riche en Albumine **Q21**, Prolamine **ASQ**. La variété **SIQ** est la plus riche en Globuline, Glutéline. La variété la plus riche en Amidon et Amylose est la variété **SMQ**. **G2Q** est la variété la plus riche en acides aminés. La teneur la plus élevée en pH est observée chez la variété **AMQ**. En conclusion, il y a une grande variabilité entre les variétés étudiées.

Mots clé : Quinoa, protéines de réserve, amidon, amylose, acides aminés, pH.

Président : Dr. Kara K.

Encadreur : Dr. Bouchareb R.

Examineur : Dr. Saoudi M.