

Université des Frères Mentouri Constantine 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة 1
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département : Biologie Végétale

قسم : بيولوجيا علم النبات

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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biologie et physiologie végétale

Spécialité : Biologie et physiologie de la reproduction

Intitulé :

**Etude comparative des composants biochimiques de
plusieurs variétés de l'espèce « *Chenopodium quinoa*
Willd » cultivés dans différentes régions.**

Présenté et soutenu par : BOUSSALEM Achouak et BEDJEGHIR Yousra

Le : 20 / 06 / 2022

Jury d'évaluation :

Examineur : BOUZID Salha

Prof – MCB Constantine 1

Encadrant : BOUCHARREB Radia

MCB – UFM Constantine 1

Examineur : DJEROUNI Aissa

Prof – MCB Constantine 1

*Année universitaire
2021-2022*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ
وَالْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ
وَالْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ

Remerciements

MERCI À ALLAH DE NOUS AVOIR DONNÉ LE COURAGE, LA VOLONTÉ AINSI QUE LA CONSCIENCE POUR QUE NOUS PUISSIONS TERMINER NOS ÉTUDES ET RÉALISER CE TRAVAIL. AU TERME DE CETTE ÉTUDE, NOS RECONNAISSANCES RESPECTUEUSES VONT D'ABORD À MADAME BOUHAREB RADIA, POUR AVOIR ACCEPTÉ DE NOUS ENCADRER AINSI QUE POUR SES PRÉCIEUX CONSEILS ET ORIENTATIONS, SA DISPONIBILITÉ, SA GENTILLESSE, SA MODESTIE ET POUR L'INTÉRÊT BIENVEILLANT MANIFESTÉ POUR NOTRE TRAVAIL. NOUS ADRESSONS NOS 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.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail particulièrement à mes chers parents, qui ont consacré leur existence à bâtir la mienne, pour leur soutien, patience et soucis de tendresse et d'affection pour tout ce qui ils ont fait pour que je puisse arriver à ce stade.

*A mon héros, mon exemple **papa Toufik**, qui est toujours disponible pour nous, et prêt à nous aider ; A ma très chère et douce **mère Feïrouz**, qui m'a encouragé durant toutes mes études, et qui sans elle, ma réussite n'aura pas eu lieu.*

*A mon frère que j'adore **Yakine** et mes chères sœurs, **Meïs** , **Aridj** et ma petite princesse **Batoul** , que **Dieu** les prodigues guérisons et santé.*

*A mes grands-parents **Meghlaoui** , l'âme de mon grand-père **Messoud**, ma grand-mère **Bariza** et **Warda** , mes oncles et mes tantes*

*Aucun langage ne saurait exprimer ma considération pour l'aide et le soutien de **Rania semmar** et **Djaouher Dalouche***

*Je dédie également ce travail à mes adorables amies **Assia** , **Abir** , **Maroua** et **Chaïma** .*

*A mon chère binôme **Bedjehir Yousra***

A tout ce qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

ACHOUAK BOUSSALEM

Toutes les lettres ne trouvent pas les mots qu'il faut...

Tous les mots n'expriment pas la gratitude,

l'amour, le respect, la reconnaissance...

tout simplement que Je dédie ce mémoire ...

À MES CHERS PARENTS CHOUAIB et BOUAKKEZ ILHEM .

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

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

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Puisse Dieu, le plus puissant, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

*A mes chères sœurs **TAHANI SOUNDOUS** et **MELISSA MAYAR** qu'elles m'ont encouragés au cour de cette année.*

*A mes grands parents :**BOUAKKEZ ABD ELKRIM** et **FARRAH ZAHRA** ,à l'ame de mon grand-père **Saad** et ma grand-mère **Kherrab Warda***

À MES AMIES DE TOUJOURS : Maïssa , Djawhar , Nassima et Djouhaina....

*A ma chère cousine **Bouchra** et mon petit cher cousin **zaki***

*A mon fiancé **HAZMOUNE KHALIL** qui été toujours à mes cotés .*

*Et à ma chère binôme **BOUSSALEM ACHOUAK** .*

*Et un spécial dédie pour **SEMMAR RANIA** et **DELOUCHE DJAWHAR** qu'elles ont tellement donné beaucoup d'aide je les remercie infiniment.*

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

A toutes les personnes qui ont participé de prés ou de loin a l'élaboration de ce travail.

BEDJEGHIR YOUSRA .

SOMMAIRE

LES ABREVIATIONS	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
INTRODUCTION.....	01
CHAPITRE I. PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	
I. Généralités sur le quinoa	02
1. Histoire et origine	02
2. Origine génétique	03
3. Répartition géographique	03
4. Classification scientifique de quinoa	05
5. Description botanique	06
a- Les racines	06
b- La tige	06
c- Les feuilles	07
d- Les fleurs	07
e- le fruit	08
f- la graine	09
6. Exigences climatique.....	09
7. Exigences édaphiques	09
8. Les stades phénologiques	10
8.1. Stade levée.....	10
8.2. Stade deux feuilles vraies.....	10

8.3. Stade quatre feuilles	10
8.4. Six feuilles	10
8.5. Ramification	10
8.6. Début de formation de la panicule	11
8.7. Panicule	11
8.8. Début de floraison	11
8.9. Floraison.....	11
8.10. Grain laiteux.....	11
8.11. Grain pâteux.....	11
8.12. Maturité physiologique.....	11
9. Physiologie d'adaptation du quinoa.....	12
9.1. Les stressés abiotiques.....	13
a. Résistance à la sécheresse.....	13
b. Résistance au froid.....	13
c. Résistance à la salinité	13
d. Résistance au vent, neige et la grêle	14
9.2. Stressés biotique	14
10. Utilisations du quinoa	15
II. Les composants biochimiques du quinoa	16
II.1. Valeur nutritive.....	16
II.1.1. Protéine.....	17
II.1.2. Les acides aminés	17
II.1.3. les lipides	18
II.1.4. les Acides gras	18

II.1.5. Les sucres	18
II.1.6. Les sels minéraux	18
II.1.7. Les acides organiques	19
II.2. Facteur antinutritionnel	19
CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES	
I. Matériels végétales	20
II. Méthode de travail.....	22
a- Les protéines	22
b- Acides aminées	22
c- Les lipides et les acides gras	23
d- Les sucres.....	23
e- Les sels minéraux	23
f- Les acides organiques	24
CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSIONS	
1- les protéines	25
a- les protéines totales	25
b- Les protéines de réserve	26
2- Les acides aminés.....	27
a- Les acides aminés essentiels	27
b- Les acides aminés non essentiels	28
3- Les lipides.....	29
4- Les acides gras	30
5- Les sucres	32
6- Les sels minéraux.....	33

7- Les acides organiques	34
CONCLUSION.....	37
Références bibliographiques	
Résumés	

LES ABRÉVIATIONS

ONU : Organisation des Nations Unies.

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations.

UV : ultra-violet.

APG : Angiosperme phylogeny group.

USA : United states of America.

AGS : Acides gras saturé.

Ps : Poids sec.

Ca : calcium.

K : potassium.

Fe : fer.

Mg : magnésium

C° : Degrée Celsius.

Kg : Kilo gramme.

G : gramme.

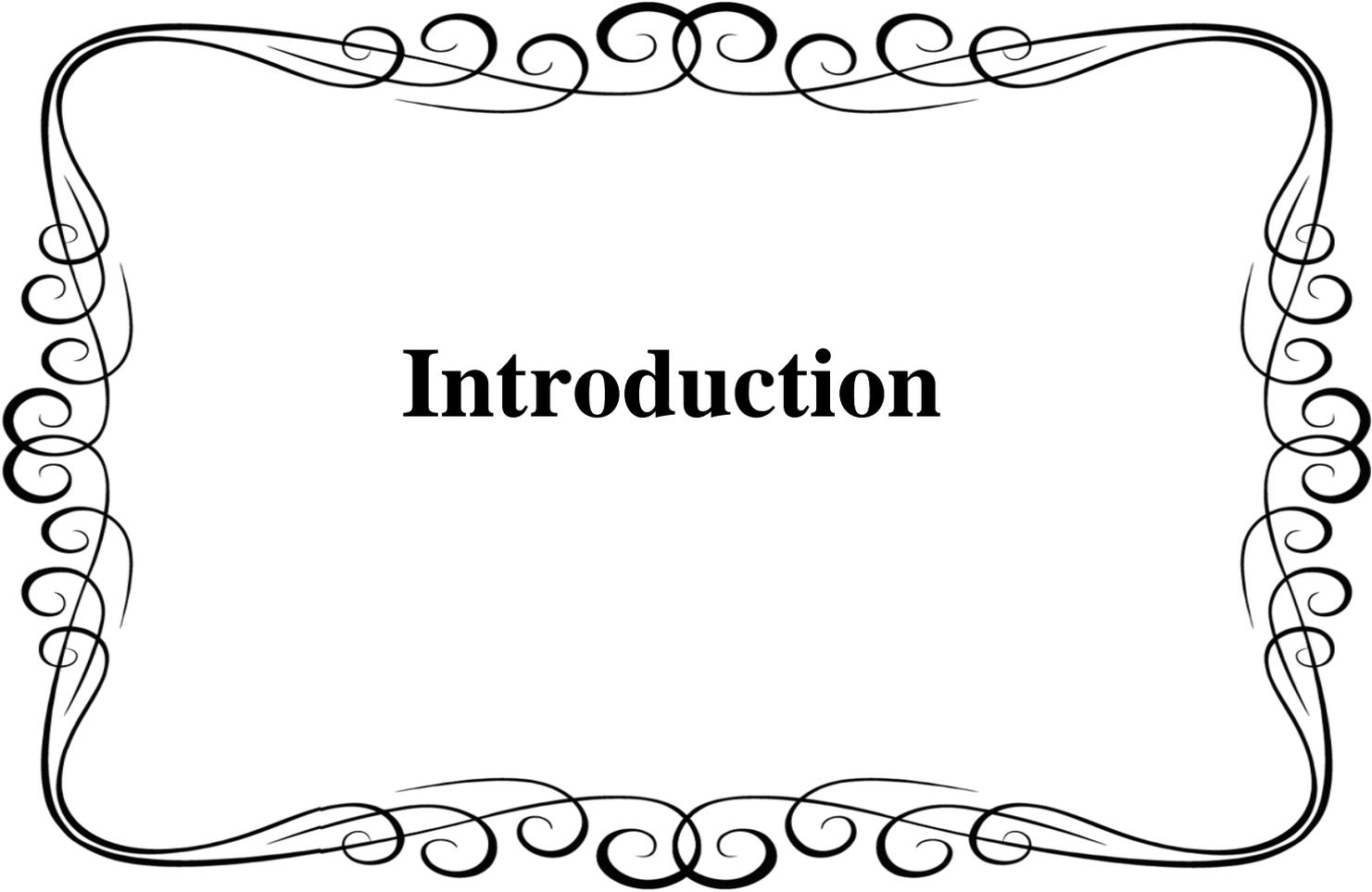
% : Percent

Liste des figures

	Titre	Page
01	Origine et histoire du Quinoa	03
02	Distribution géographique de la culture traditionnelle de quinoa en Amérique du Sud (la densité des points reflète l'importance relative de la culture)	04
03	Système racinaire de Quinoa	06
04	Forme des feuilles	07
05	Fleurs hermaphrodites et femelles du Quinoa	08
06	Vue ventrale du fruit du Quinoa au microscope électronique de balayage	08
07	Structure interne de la graine	09
08	Phases phénologiques du quinoa	12
09	Quelques facteurs abiotiques et biotiques affectant la culture de quinoa dans l'altiplano	15
10	Histogramme de la Teneur de protéines totales de graine de Quinoa	25
11	Histogramme de la teneur de protéines de réserves de graine de Quinoa	26
12	Histogramme de la teneur d'acides aminés essentiels de graine de Quinoa	27
13	Histogramme de la teneur d'acides aminés non essentiels de graine de Quinoa	28
14	Histogramme de la teneur des lipides de la graine de Quinoa	29
15	Histogramme de la teneur d'acides gras saturés de la graine de Quinoa	31
16	Histogramme de la teneur d'acides gras insaturés de la graine de Quinoa	31
17	Histogramme présentant la teneur des sucres de la graine de Quinoa	32
18	Histogramme de la teneur de sels minéraux de la graine de Quinoa	34
19	Histogramme présentant la teneur d'acides organiques de la graine de Quinoa	35

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Classification scientifique de quinoa	05
02	Valeur nutritionnelle moyenne de quinoa pour 100g	16
03	Variétés étudiés par Pereira et al. (2019) en Portugal et ses origines	20
04	Variétés étudiés par Pellegrini et al. (2018) en Italie et ses origines	20
05	Variétés étudiés par Saad-Allah et al. (2018) en Egypte et ses origines.	21
06	Variétés étudiés par Gomez et al. (2021) en Espagne et ses origines	21
07	Variétés étudiés par Miranda et al. (2010) en Chili et ses origines	21
08	La teneur de protéines totales de la graine du quinoa	25
09	La teneur des protéines de réserve	26
10	La teneur des acides aminés essentiel de la graine de Quinoa	27
11	La teneur des acides aminés non essentiel de la graine de Quinoa	28
12	La teneur des Lipides de graine du Quinoa	29
13	La teneur des acides gras de graine du quinoa	30
14	La teneur des sucres de graine du quinoa	32
15	La teneur des sels minéraux de graine du quinoa	33
16	La teneur des acides organique de graine du quinoa	34

A decorative border consisting of black, flowing scrollwork lines that form a rectangular frame around the central text. The scrolls are intricate and symmetrical, with some overlapping to create a sense of depth and movement.

Introduction

Introduction

Ces dernières années les gens essayent de changer leur mode de vie en modifiant les habitudes alimentaires en optant pour des composés bioactif. Les consommateurs cherchent des aliments qui offrent des avantages et du bien être, et l'une des cultures qui a attiré beaucoup d'attention ces dernières est le « Quinoa ».

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est une plante herbacée annuelle de la famille des Amaranthacées. Originaire de la région andine de l'Amérique du Sud, ce pseudo céréale prend une position nutritionnelle excellente par rapport aux autres céréales qui sont couramment consommées par l'homme.

Sa grande variabilité génétique lui permet de prospérer dans différentes conditions environnementales et de sa grande valeur nutritionnelle.

La culture du quinoa a donc été étudiée dans de nombreuses régions de pays américains, asiatiques ; européens et l'Afrique; de nombreuses recherches sont actuellement menées sur cette culture, notamment sur de nouvelles variétés adaptées aux conditions agronomiques.

Il a une haute résistance aux stress abiotiques par sa variabilité génétique ; de plus les graines de quinoa contiennent une teneur élevée en protéines et en acides aminés et de minéraux, les lipides, les acides gras, les sucres et les vitamines ...etc.

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.

L'objectif de ce travail est d'évaluer les propriétés physico-chimiques, de déterminer les composants minéraux, les acides organiques, les sucres et le profil des acides gras de différents génotypes de quinoa cultivés dans des conditions agro-environnementales dans plusieurs régions, et valoriser l'espèce *Chenopodium quinoa* Willd, ainsi d'encourager la consommation de ses graines.

Notre étude contient trois chapitres :

- Chapitre I: une synthèse bibliographique concernant le thème de travail.
- Chapitre II : concerne les matériels et les méthodes utilisées dans cette étude .
- Chapitre III: résultats obtenus et unediscussion générale.



**CHAPITRE I: PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE**

I. Généralités sur le Quinoa (*chenopodium quinoa* Willd)

1. Histoire et origine

“ Quinoa ” est un mot d’origine quechua désignant une plante annuelle à feuilles triangulaires et panicules composées. Selon les traces archéologiques découvertes dans les grottes d’Ayacucho au Pérou, cette Chénopodiacée aurait été domestiquée il y a 6.400 à 7.800 ans (**Brack Egg., 2003**).

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

2013, Année du Quinoa : Le 20 février 2013, l’Assemblée générale de l’Organisation des Nations Unies (ONU) a célébré le lancement officiel de l’Année internationale du Quinoa. 2013 sera l’occasion d’attirer l’attention de la communauté internationale sur la culture de cette plante, aliment de base des populations andines depuis des siècles, ayant fait son apparition sur les marchés occidentaux dans les années 1980. Caractérisée par sa capacité à pousser dans les conditions climatiques extrêmes, le Quinoa, plante également reconnu pour ses qualités nutritionnelles. Elle est considérée comme une alternative aux céréales traditionnelles (riz, blé, maïs...) pour des populations en situation d’insécurité alimentaire (**FAO., 2013**).

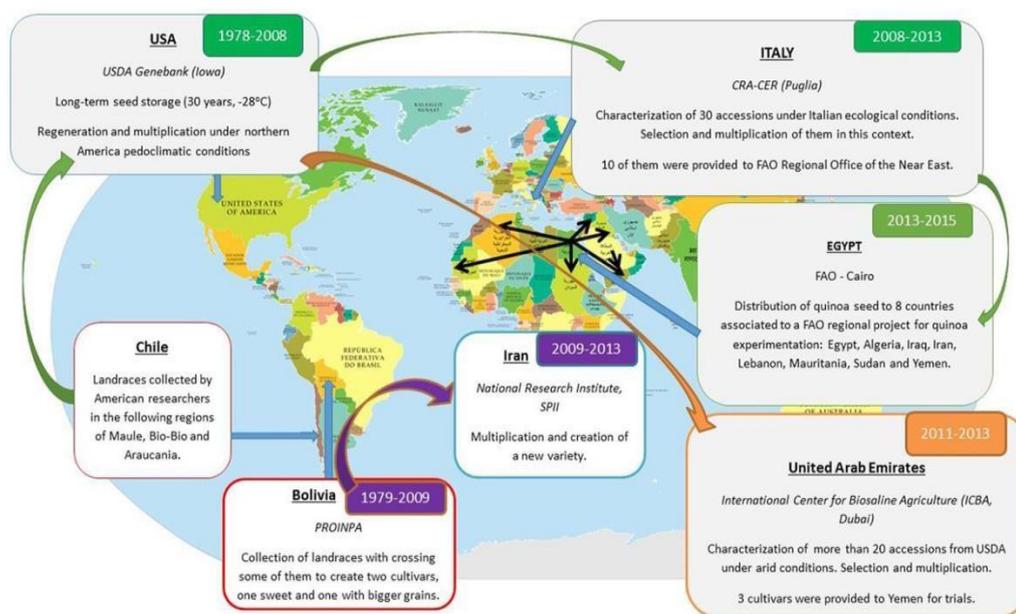


Figure 01. Origine et histoire du Quinoa.

2. Origine génétique

Le Quinoa est un allo-tétraploïde (David et al., 2017). Issu de l'hybridation des génomes ancestraux des génomes A et B espèces. Des études de séquençage à un seul gène ont déjà identifié des bassins d'Amérique du Nord et d'Eurasie diploïdes, respectivement, en tant que sources candidates des sous-génomes A et B, avec hybridation se déroulant quelque part en Amérique du Nord, dans un scénario similaire à celui du coton. Structure du génome et évolution de quinoa assemblé et annoté le génome A diploïde *C pallidicaule*. et le génome B diploïde *C suecicum* (David et al., 2017) .

Le nombre chromosomique de base de Quinoa est $x = 9$ et leur somatique le nombre de chromosomes est $2n = 4x = 36$ (Bhargava et al., 2006).

Le Quinoa possède d'excellentes caractéristiques intrinsèques, parmi lesquelles sa grande variabilité génétique. Son patrimoine génétique est particulièrement stratégique pour développer des variétés supérieures (Bioversity International et FAO, 2013).

3. Répartition géographique

Le Quinoa peut être considéré comme une espèce oligo-centrique avec un large centre d'origine et une diversification multiple. La région andine et dans cette région les rives du lac Titicaca, est le lieu qui présente la plus grande diversité et variation génétique de cette espèce (FAO., 1994).

La culture de Quinoa est en pleine expansion et on la trouve désormais dans plus de 70 pays (Cercam, 2014). Le Quinoa est distribué dans toute la région andine, de la Colombie (Pasto) au nord de l'Argentine (Jujuy et Salta) et au Chili (Antofagasta), où un groupe des Quinoas a été trouvé au niveau de la mer dans la région de BíoBío. L'Altiplano du Pérou et de la Bolivie (FAO., 2011). Le quinoa est aussi devenue l'objet d'une culture d'exportation à destination des pays du Nord (Europe, États-Unis, Canada) (Del Castillo et al., 2008).



Figure 02. Distribution géographique de la culture traditionnelle de quinoa en Amérique du Sud (la densité des points reflète l'importance relative de la culture) (Boubaiche, y., 2016)

4. Classification scientifique de quinoa

Le Quinoa appartient au genre *Chenopodium* qui contient environ 250 espèces. On connaît environ 1800 Variétés de Quinoa (Sophie Foucault, 2014).

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

Tableau 01. Classification scientifique de Quinoa (Herbillon, 2015)

Classification de Cronquist (1981)	
Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsidae
Sous-classe	Caryophyllidae
Ordre	Caryophyllales
Famille	Chenopodiaceae
Genre	<i>Chenopodium</i>
Classification APG III (2009)	
Ordre	Caryophyllales
Famille	Amaranthaceae
Nom binomial	
<i>Chenopodium quinoa</i> Willd., 1798	

5. Description botanique

Le Quinoa est une dicotylédone autogame annuelle. Elle comporte une racine pivotante, qui dans le processus initial de germination est le premier organe à se développer après quelques heures d'humectation. Sa croissance est en rapporté troit avec celle de la partie aérienne, des plantes de 1.70 m pouvant développer une racine de 1.50 m (Tapia et al., 1979).

a- Les racines

Le système racinaire bien développé et fortement ramifié qui protège le Quinoa contre les conditions de sécheresse et donne une bonne stabilité (Bhargava A. et al., 2006). La croissance de la partie racinaire est en rapporté troit avec celle de la partie aérienne, par exemple des plante satteignant 1,70 m de hauteur ont développé des racines de 1,50 m, et d'autres de 90 cm de hauteu ravec une racine de 80 cm (Carmen Del C. et al., 2008; Herbillon M., 2015).



Figure03. Système racinaire de Quinoa (OUCIF et al., 2018).

b- La tige

La tige est cylindrique au niveau du collet puis devient plus anguleuse à partir des ramifications avec une position alterne des feuilles le long de chacune des quatre faces. Elle peut être unique ou bien présenter de nombreuses ramifications. Son diamètre varie entre 1 et 8 cm, et sa hauteur entre 50 cm et 2 m, selon les variétés et les conditions de culture comme la densité d'ensemencement ou la fertilisation (Mujica et al., 2001).

La couleur de la tige est également très variable. Elle peut être uniformément verte, verte avec des aisselles colorées (surtout rouges), verte avec des stries violettes ou rouges, ou bien uniformément rouge. 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 feuilles

Les feuilles présentent un polymorphisme, les feuilles inférieures sont grandes, rhomboïdales ou triangulaires, tandis que les feuilles supérieures sont petites, lancéolées ou triangulaires (Herbillon M., 2015; Bhargava A. et al., 2006).

La couleur des feuilles varie selon les génotypes, elles sont généralement vertes lorsqu'elles sont jeunes puis elles virent au jaune, rouge ou violet. elles présentent des adaptations morphologiques variées qui les aident à résister à la sécheresse pendant la croissance, parmi lesquelles une cuticule cireuse et des stomates protégés par un épiderme épaissi (Herbillon M., 2015).

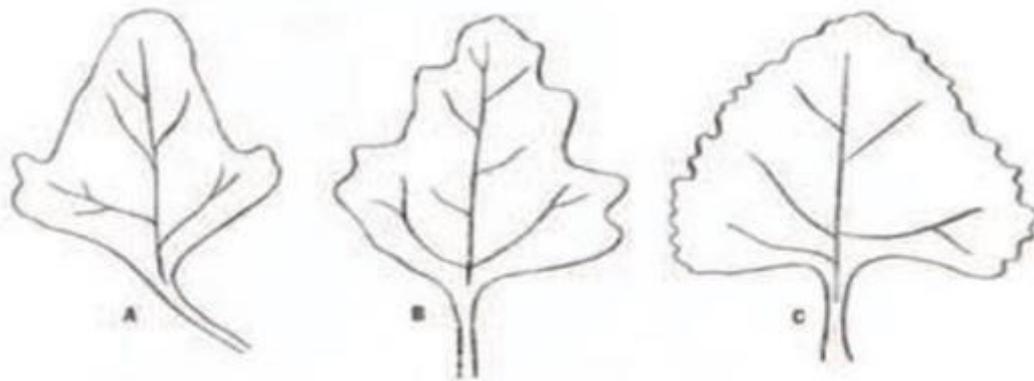


Figure 04. Forme des feuilles (Herbillon . 2015)

d- Les fleurs

Les fleurs apétales (incomplètes) et très petites (3 mm au maximum), peuvent être hermaphrodites en position apicale ou pistillaires dans la région inférieure de la panicule, dans des proportions diverses selon la variété (Tapia et al., 1979) .

En général, le quinoa est une espèce autogame, avec environ 10% de pollinisation croisée (Rea, 1969). Cependant, dans quelques variétés l'allogamie atteint jusqu'à 80%, ce qui est expliqué par la rareté des fleurs pistillaires (Izquierdo et al. 2001).

Les descendants de deux générations d'autofécondation complète ont montré la même vigueur et productivité que leurs parents, c'est pourquoi l'on considère que ce type de reproduction n'affecte pas la culture et permet l'utilisation des techniques basées sur les plantes autogames pour l'amélioration génétique (**Tapia et al., 1979**).

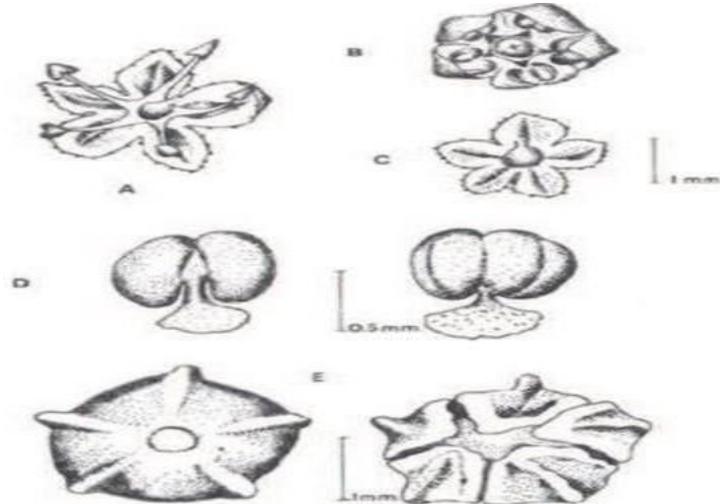


Figure 05. Fleurs hermaphrodites et femelles du quinoa (**Gandarillas, 1979**).

(A : Fleurhermaphrodite 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).

e- le fruit

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

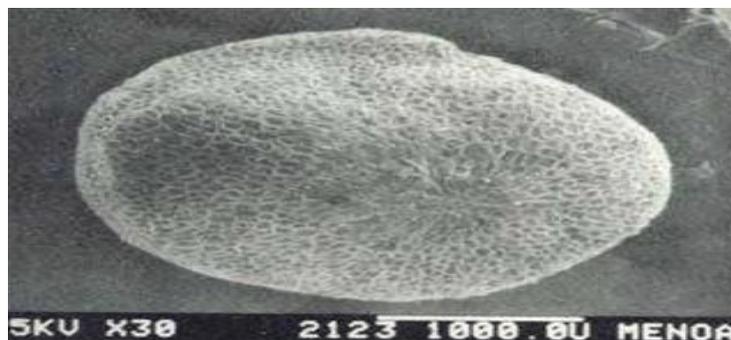


Figure 06 . Vue ventrale du fruit du Quinoa au microscope électronique de balayage (**Gallardo,González et al., 1997**).

f- la graine

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 péricone, du péricarpe et de l'épisperme sont la raison pour laquelle l'inflorescence du Quinoa présente autant de couleurs variées (**Gandarillas, 1979**).

Les grains sont sans gluten et contiennent toutes les protéines essentielles à l'alimentation humaine (**Moore., 2017**).

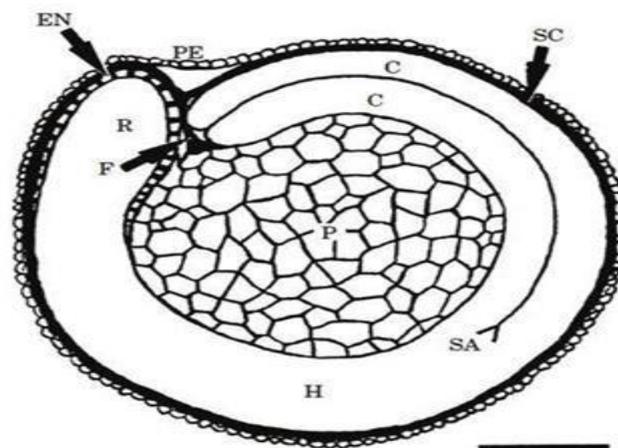


Figure 07 . Structure interne de la graine (**Prego et al.,1998**).

5. Exigences climatique

Sa culture est bien adaptée à des conditions climatiques froides et arides (**Rodriguez Calle., 2006**). Supporter des températures comprises entre -4°C et 38°C (**Pedersen et Tingvoll, 2013; Lutz et Bascuñán-Godoy, 2017**). Température optimale entre 15°C et 20°C (**Pedersen et Tingvoll., 2013**).

Le Quinoa est très sensible aux fortes températures au stade floraison; celles supérieures à 35°C peuvent conduire à la dormance et la stérilité du pollen, le gel (-1 à 0°C) (**Cercam, 2014**). Les Précipitations selon la zone agro-écologique et le génotype aux quels la plante appartient, elles varient de 250 mm (zone des salines de Bolivie) à 1 500 mm dans les vallées inter andines. Bien que le quinoa fasse preuve d'une forte résistance aux périodes de sécheresse (**FAO., 1994**).

6. Exigences édaphiques

Le Quinoa pousse bien sur des sols limono-sableux à sablo-limoneux. En Amérique du sud, le Quinoa est cultivé sur des sols peu ou trop drainés, de faible fertilité, très acides ($\text{pH} = 4.8$) ou alcalins ($\text{pH}=8.5$) (**Benlhabib., 2005**). Elle est possible sur des sols à alcalinité élevée. (**Rodriguez Calle, 2006**).

Le Quinoa peut se développer avec une humidité relative allant de 40% à 88% (**Bhargava et Srivastava., 2013**). C'est une plante économe en eau (**Bioversity International et FAO, 2013**). La température optimale du sol pour germination des graines de quinoa est de 8-10 °C et la profondeur de semis optimale est de 1-2 cm. Il est important qu'une graine humide et bien structurée la préparation du lit car la petite taille des graines augmente la sensibilité de germination (**Yazar et İnce Kaya., 2014**).

7. Les stades phénologiques

Plusieurs échelles de développement ont été décrites pour le quinoa, telles que celle de **Espindola (1994)** ou **Mujica et Canahua (1989)**. C'est cette dernière que nous avons choisi de présenter ici, dont ils ont défini le cycle de vie par 12 stades. Les durées indiquées de chaque phase sont des nombres de jours moyens. Un stade est atteint lorsque 50% des plantes sont à ce stade.

8.1. Stade levée

Elle correspond à la sortie de la plantule et au déploiement des feuilles cotylédonaires (germination épigée). Elle se produit entre sept et dix jours après le semis, en conditions de germinations optimales.

8.2. Stade deux feuilles vraies

Les deux premières feuilles vraies apparaissent 15 à 20 jours après le semis, conjointement à une croissance rapide des racines. Elles sont de forme rhomboïdale au contraire des feuilles cotylédonaires, lancéolées. Elles sont très sensibles aux attaques d'insectes.

8.3. Stade quatre feuilles

La deuxième paire de feuilles vraies se déploie 25 à 30 jours après le semis. Les feuilles cotylédonaires sont toujours vertes. La plantule montre dans cette phase une assez bonne résistance au froid et à la sécheresse, mais ses feuilles tendres constituent une alimentation de choix pour les ruminants.

8.4. Six feuilles

L'apparition de la troisième paire de feuilles vraies se produit 35 à 45 jours après le semis, alors que les feuilles cotylédonaires commencent à se flétrir. L'apex végétatif est nettement protégé par les feuilles les plus âgées, en particulier lorsque la plante est soumise à un stress (thermique, hydrique ou salin).

8.5. Ramification

A partir du stade huit feuilles, soit 45 à 50 jours après le semis, on peut observer pour les variétés qui ramifient la présence de bourgeons axillaires jusqu'au troisième nœud.

Les feuilles cotylédonaire, jaunies, tombent et laissent une cicatrice sur la tige. L'inflorescence n'est pas encore visible, recouverte et protégée par les feuilles.

8.6. Début de formation de la panicule

L'inflorescence commence à apparaître à l'apex de la plante au bout de 55 à 60 jours, entourée d'une agglomération de feuilles de toute petite taille qui la recouvrent encore en partie. Parallèlement, la première paire de feuilles vraies jaunit et n'est plus photosynthétiquement active. La tige s'allonge et son diamètre augmente.

8.7. Panicule

L'inflorescence est désormais clairement visible au-dessus des feuilles, ainsi que les glomérules qui la composent. Des boutons floraux individualisés apparaissent, 65 à 70 jours après le semis.

8.8. Début de floraison

Les premières fleurs s'ouvrent 75 à 80 jours après le semis. La plante commence à être plus sensible au froid et à la sécheresse.

8.9. Floraison

L'ouverture de 50% des fleurs de l'inflorescence se produit aux environs du 90^{ème} ou 100^{ième} jours. Cette observation doit se faire à la mi-journée, les fleurs se refermant pendant la nuit. C'est durant cette phase que la plante est la plus sensible aux gelées.

8.10. Grain laiteux

Le grain est qualifié de laiteux 100 à 130 jours après le semis, car un liquide blanchâtre en sort lorsqu'une pression est exercée sur le fruit. Un déficit hydrique pendant cette phase peut entraîner une forte diminution du rendement.

8.11. Grain pâteux

L'intérieur des fruits devient d'une consistance pâteuse, toujours de couleur blanche, 130 à 160 jours après le semis.

8.12. Maturité physiologique

Le grain, plus résistant à la pression, est à maturité au bout de 160 à 180 jours, avec une teneur en eau inférieure à 15%. Pendant le remplissage des grains depuis la floraison, la plupart des feuilles ont jauni et sont tombées si bien que la défoliation est presque complète à maturité (Lebonvallet, 2008).



Figure 08. Phases phénologiques du quinoa (Lebonvallet, 2008).

8. Physiologie d'adaptation du quinoa

Le Quinoa son efficacité de fixation du CO_2 et la structure anatomique de ses feuilles sont celles d'une plante en C_3 (Le bonVallet, 2008; Del Castillo et al., 2008; Yazar et İnceKaya, 2014), parfois considérée à tort comme peu efficace dans la fixation du carbone.

Une interaction possible de l'humidité de l'air dans la tolérance au gel et plaident pour la réalisation d'expériences écophysiologiques in situ La fonction des vésicules riches en oxalate de calcium et en pigments présentes à la surface des jeunes feuilles et des inflorescences n'est pas encore éclaircie, mais on suppose qu'elles protègent la plante de l'excès de radiation solaire et l'aident à résister à la sécheresse en intervenant dans les relations hydriques ou en formant un microclimat au tour des feuilles si l'humidité du sol diminue trop (Del Castillo et al., 2008) d'altitude sur l'Altiplanoboliviano-péruvien, sous des climats allant du froid aride jusqu'autropical humide.

L'espèce est tolérante à divers contraintes abiotiques comme la sécheresse, les radiations UV, le gel et la salinité des sols, ce qui en a fait une espèce candidate pour les tests de culture en station orbitale (Schlick et al., 1996).

8.1. Les stressés abiotiques**a. Résistance à la sécheresse**

Afin d'échapper aux périodes de sécheresse, la plante recourt à un allongement du cycle pendant les premiers stades de croissance alors qu'elle suit d'autres stratégies pour tolérer le stress, principalement grâce à l'élasticité de ses tissus, à son potentiel osmotique faible et la formation de glandes vésiculaires spéciales et de petites cellules ayant une paroi épaisse. Cette plante se caractérise par un système racinaire très étalé en surface et qui peut être profond dans le sol.

La souplesse phénologiques élevée du Quinoa se comporte comme un mécanisme d'échappement à la sécheresse puisque un stress hydrique sévère pendant le stade de floraison peut entraîner une augmentation considérable du temps de la maturité physiologique (**Rjeibi W. et al., 2015**).

b. Résistance au froid

Il existe plusieurs variétés de quinoa qui sont adaptés aux basses températures. L'effet du gel sur la plante diffère selon son intensité et sa durée, mais aussi selon les phases de développement où il se produit, l'humidité relative de l'air et le génotype.

En effet, s'il est généralement admis que la température minimale limite de croissance pour le quinoa est de -5°C , certaines variétés toléreraient jusqu'à -18°C durant les premiers stades de croissance. Une fois encore le quinoa a mis en œuvre divers moyens pour survivre au gel, le principal consistant à éviter la formation de glace par surfusion modérée. En fait, le quinoa présente une teneur élevée en sucres solubles, ce qui peut provoquer une diminution du point de congélation, et donc contribue à abaisser la température létale du tissu des feuilles. Il a alors été suggéré que le niveau de sucres solubles pourrait être utilisé comme un indicateur de la résistance au gel. (**Herbillon M., 2015; Del Castillo C. et al., 2008**).

c. Résistance à la salinité

La zone de plus grande production de quinoa dans le monde correspond à la région des salars de l'Altiplano sud de Bolivie, où les sols présentent une grande concentration de sels, principalement de chlorure de sodium. Ce qui indique que le quinoa tolère la présence de sel dans le sol, en augmentant la demande de potassium en cas de stress salin pour réaliser l'ajustement osmotique.

Des études indiquent que le sel ne provoque pas la mort de l'embryon, mais retarde seulement les mécanismes physiologiques et biochimiques impliqués dans l'étape initiale de la germination. Des différences significatives de tolérance au sel existent entre cultivars.

Pour la plupart d'entre eux, la production est plus élevée dans des conditions modérément salines que dans des conditions non salines, ce qui fait du quinoa un halophyte facultatif (Rjeibi W et al., 2015 ; Del Castillo C. et al., 2008).

d- 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).

8.2. Stresses biotique

*** Les maladies et ravageurs de quinoa**

De toutes les maladies connues pour s'attaquer aux plants de quinoa, la plus dommageable est le mildiou, une maladie causée par un champignon appelé *Peronosporafarinoso*. Elle est caractérisée par la présence de lésions chlorotiques sur les surfaces supérieures des feuilles, avec un mycélium blanc ou pourpre sur les surfaces inférieures (Valencia-Chamorro, 2003). Signalé dans tous les domaines de culture du quinoa, le mildiou est considéré comme endémique dans les hauts plateaux andins et constitue une contrainte importante à la production du quinoa puisqu'il entraîne une baisse de rendement significative.

D'autres maladies fongiques ont été signalées de manière plus sporadique, avec par exemple la fonte des semis (*Rhizoctonia*), la fusariose (*Fusarium*), la pourriture des semences et la fonte des semis (*Sclerotiumrolfsii*, *Pythiumzingiberum*), les tâches foliaires (*Ascochytahyalospora*) ou encore la pourriture brune de la tige (*Phomaexiguavar. Foveata*) (Danielsen et al., 2003).

Le kconakcona (*Scrobipalpulasp.*), petit insecte de l'ordre des lépidoptères (papillons), est probablement le ravageur le plus grave du quinoa. Lorsque les périodes de sécheresse et des températures élevées sont présents, les insectes attaquent intensément.

Les larves détruisent d'abord les feuilles et l'inflorescence. Plus tard, lorsque les plantes sont matures, les larves détruisent la panicule et les graines (Valencia-Chamorro., 2003).

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

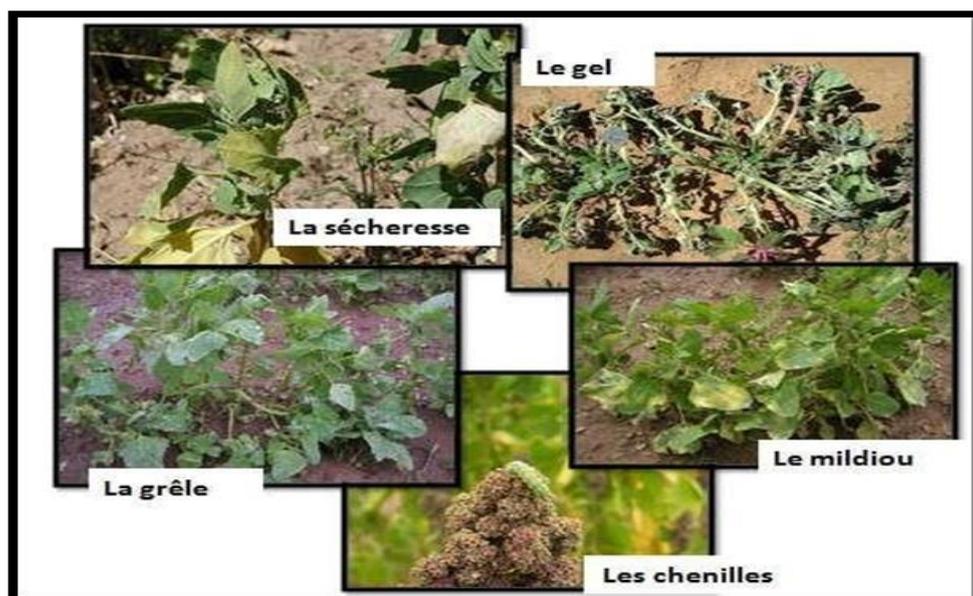


Figure 09. Quelques facteurs abiotiques et biotiques affectant la culture de quinoa dans l'altiplano

9. Utilisations du Quinoa

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). (Cercam, 2014).
- ✓ **Industrie alimentaire** : Les grains et la farine de Quinoa peuvent servir à la préparation de la plupart des produits de l'industrie alimentaire. Le Quinoa peut être associé aux légumineuses telles que les fèves, les haricots rouges afin d'améliorer la qualité nutritionnelle. (Cercam, 2014).
- ✓ **Alimentation animale** : La plante entière sert de fourrage vert pour nourrir les bovins et la volaille. (Cercam, 2014).
- ✓ **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. Il est également utilisé comme remède contre les entorses, les fractures et les hémorragies internes. (Cercam, 2014).
- ✓ **Autres utilisations industrielles** : Le Quinoa est un produit à partir duquel une série de sous-produits peuvent être obtenus pour être utilisés dans l'alimentation, dans les cosmétiques, les produits pharmaceutiques et d'autres utilisations par exemple : shampooing, détergents, le dentifrice, pesticide, antibiotique. (FAO, 2011).

II. Les composants biochimiques du Quinoa

Le Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Est une plante appartenant à la famille Amaranthacées, originaire des régions andines, il est adaptable à différents types de sols et de conditions climatiques.

Sa composition chimique a attiré l'attention de la communauté scientifique pour sa haute valeur nutritive, étant riche en protéines, en acides gras insaturés, en fibres alimentaires, en vitamines et en minéraux, avec un extraordinaire équilibre d'acides aminés essentiels. Elle se caractérise également par l'absence de gluten, qui permet son utilisation dans le régime alimentaire des patients de céliaques (Maradini A. et al., 2015) .

En raison de la teneur élevée en acides aminés essentiels de sa protéine, le quinoa est considéré comme le seul aliment à base de plantes fournissant tous les acides aminés essentiels, aussi l'équilibre en acides aminés essentiels de la protéine de quinoa est supérieur à celui du blé, de l'orge et du soja (FAO, 2011)

II.1. Valeur nutritive

Tableau 02. Valeur nutritionnelle moyenne de quinoa pour 100g (Souci et al 2008).

Apport énergétique	
Joules	1415 KJ
Calories	334 kcals
Principaux composants	
Lipides	5.04 g
Oméga-3	200 mg
Oméga-6	2430 mg
Oméga-9	1300 mg
Eau	12.7 g
Glucides	58.5 g
Fibres alimentaires	6.64 g
Macro et microéléments (oligoéléments)	
Fer	8.0 g
Magnésium	275 mg
Manganèse	2.8mg
Phosphore	328 mg
Potassium	804 mg
Sodium	9.6 mg
Zinc	505 mg
Calcium	80 mg
Chlore	105 mg
Cuivre	1.787 mg
Vitamines	
Vitamine B1	0.170 mg
Vitamine B3 (ou PP)	0.450 mg
Vitamine E	4.0 mg

II.1.1. Protéine

Les protéines et les acides aminés sont des macromolécules biologiques majeures qui servent de constituants structurels et de catalyseurs des réactions enzymatiques, des sources d'énergie et de la synthèse des protéines dans l'organisme. Le Quinoa a une valeur biologique élevée (73%), similaire à celle du boeuf (74%) et supérieure à celles du riz blanc (56%), du blé (49%) et du maïs (36%) (**Gordillo-Bastidas E. et al., 2016**), il contient tous les acides aminés, y compris les acides essentiels, c'est-à-dire ceux que l'organisme ne peut pas se synthétiser et qui doivent donc être fournis dans l'alimentation. (**FAO, 2011**).

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., 2015**). Il a également été constaté que les feuilles de quinoa ont une teneur élevée en protéines de qualité. (**FAO, 2011**).

*** Les Proteine des réserves**

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 globuloïdes, ceux-ci renfermant du phosphore, du potassium et du magnésium ; et sont localisés dans l'endosperme et l'embryon de la graine de Quinoa (**Prego et al., 1998**).

II.1.2. Les acides aminés

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 considéré comme presque indispensable dans la petite enfance, l'enfance et l'adolescence (**FAO, 2011**).

II.1.3. les lipides

Les lipides (du grec lipos, graisse) sont des molécules à caractère hydrophobe (à solubilité nulle ou faible dans l'eau) et solubles dans des solvants organiques (**Gerhenson et Croteau, 1991**).

II.1.4. les Acides gras

La graine du Quinoa est 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. 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 .et al,2015**). La teneur en acides gras insaturés est protégée par la vitamine E dans cette plante (**GordilloBastidas. et al., 2016**).

II.1.5. Les sucres

Les glucides sont les composants majeurs retrouvés dans les graines du Quinoa, leur teneur variant entre 67% et 74% de la matière sèche (**Herbillon., 2015**). La teneur en amidon du Quinoa varie entre 52 et 60%. Le composé d'amidon est situé dans le périsperme du graine et peut être présent sous forme d'unités simples ou d'agrégats sphériques. La teneur en amylose est d'environ 11% (**Valencia-Chamorro ., 2004**), de plus le Quinoa a une teneur élevée en D-xylose et en maltose et une teneur faible en glucose et en fructose.

II.1.6. Les sels minéraux

Les minéraux diététiques 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 des cofacteurs enzymatiques dans le corps (**GordilloBastidaset al., 2016**).

Le Quinoa possède un teneur élevée en calcium, magnésium, fer, cuivre et zinc (**Vega-Gálvez et al., 2010**). Contient: 874 mg / kg de calcium (Ca), fer (Fe) 948.5 mg / kg, phosphore (P) 2735 mg / kg-4543.3 mg / kg, potassium (K) 9562.2 mg / kg et magnésium(Mg) 1901.5 mg / kg (**Gordillo et al., 2016**).

II.1.7. Les acides organiques

Les acides organiques sont des composés chimiques comportent un ou plusieurs groupes fonctionnels ou d'autres éléments structurels qui subissent des réactions d'équilibre lors de la libération de protons avec de l'eau ou d'autres solvants protonables. (Gerhenson et Croteau, 1991).

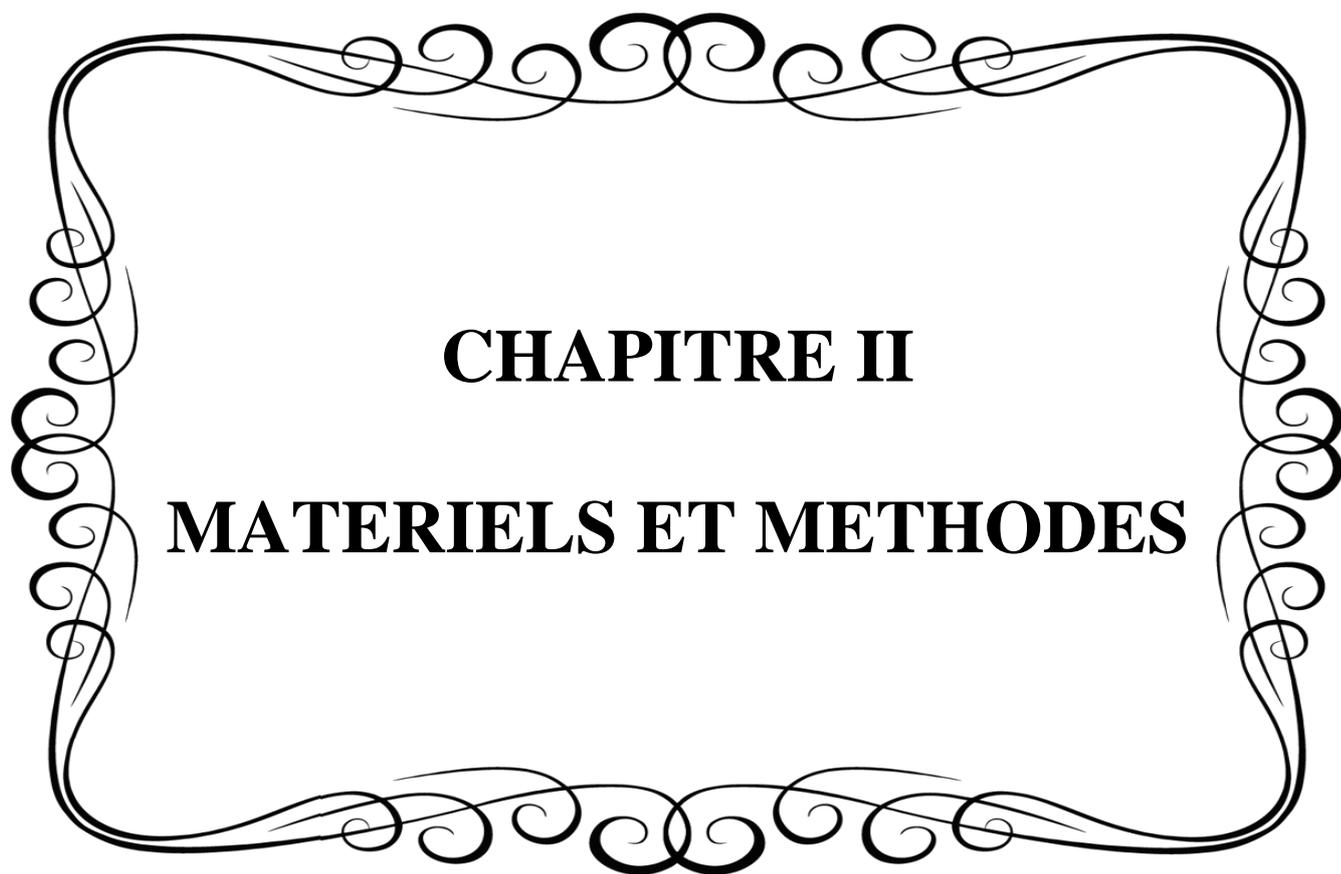
II.2. Facteur antinutritionnel*** La saponine**

Les saponines constituent un groupe de composés glycosidiques naturels largement distribués dans le règne végétal. Ces composés ont en commun la propriété d'être soluble dans l'eau et de former des solutions moussantes après agitation, Leur nom provient d'une plante appelée Saponaire (*Saponariaofficinalis* L.) dont la racine a largement été utilisée depuis des siècles comme savon, Les plantes contenant des saponines sont ainsi recherchées pour une utilisation dans les produits ménagers (Bruneton., 2009).

Les saponines sont tout d'abord des métabolites secondaires dont la fonction première est de protéger la plante des agressions naturelles en s'accumulant dans les régions les plus exposées à l'attaque des champignons, des insectes ou des oiseaux. Elles ont ainsi été détectées dans toutes les parties de la plante de quinoa, les feuilles, les fleurs, les fruits, et l'enveloppe des graines.

Elles sont malheureusement responsables du goût amer caractéristique des graines de quinoa et sont considérées comme toxiques en grandes quantités. Avant consommation, les graines doivent donc subir un traitement d'élimination de l'enveloppe dans laquelle les saponines sont particulièrement concentrées.

Leur concentration dans les graines varie selon la variété : pour le quinoa, on parle de variétés « normales » ou « amères » pour les plus concentrées en saponines, et de variétés « douces » avec des teneurs en saponines environ 50 fois inférieure à la normale. Le contenu en saponogénines dans les graines des génotypes doux varie de 0,2 à 0,4 g/kg ; contre 4,7 à 11,3 g/kg pour les génotypes amers (Mastebroek et al., 2000) .



CHAPITRE II

MATERIELS ET METHODES

I. Matériels végétales

Notre étude se concentre sur la comparaison de plusieurs paramètres biochimiques de l'espèce « *Chenopodium quinoa wild* » de différentes origines.

Les tableaux suivants représentent les variétés étudiées :

Tableau 03. Variétés étudiés par Pereira et *al.*, (2019) en Portugal et ses origines.

Pereira et al. (2019)	
La variété	L'origine
NegraCollana	Pérou
RojaPasankalla	Pérou
Salcedo INIA	Pérou
Blanca Kancolla	Pérou
Pasankalla	Pérou
RojaPasankalla	Pérou
Blanca Hualhus	Pérou
NegraPasankalla	Pérou

Tableau 04. Variétés étudiés par Pellegrini et *al.* (2018) en Italie et ses origines.

Pellegrini et al. (2018)	
La variété	L'origine
White Bolivian Real quinoa (WBQ1) et (WBQ2)	Bolivie
White Peruvian quinoa (WRQ)	Pérou
Red Bolivian Real quinoa (RBQ)	Bolivie
Black Bolivian quinoa (BBQ)	Bolivie

Tableau 05. Variétés étudiés par Saad-Allah et *al.* (2018) en Egypte et ses origines.

Saad-Allah et <i>al.</i> (2018)	
La variété	L'origine
KvL-Sra 2	Danemark
KvL-Sra 3	Danemark
Regalona	Chili
Q37	Chili
Q52	Chili

Tableau 06. Variétés étudiés par Gomez et *al.* (2021) en Espagne et ses origines.

Gomez et <i>al.</i> (2021)	
La variété	L'origine
Pasto	Pérou
Atlas	Pérou
Marisma	Pérou
Jessie	Pérou
Roja	Pérou
Pot_4	Pérou

Tableau 07. Variétés étudiés par Miranda et *al.* (2010) en Chili et ses origines.

Miranda et <i>al.</i> (2010)	
La variété	L'origine
Alpatino	Chili
Ancovinto	Chili
Cancosa	Chili
Villarrica	Chili

I. Méthode de travail

Les teneurs en composants biochimiques de la graine du quinoa ont été obtenus selon les méthodes officielles d'analyse pour chaque composant séparément.

a- Les protéines

Les fractions protéiques (albumines, globulines, prolamines et glutélines) ont été isolées sur la base du critère de solubilité selon la méthode proposée par Ribeiro, Teixeira et Ferreira, avec de légères modifications et solutions d'extraction. Pour l'extraction des albumines, la farine (1g) a été extraite avec 25 ml d'eau distillée 10 mmol L⁻¹ CaCl₂ et 10 mmol L⁻¹ MgCl₂ pendant 1h à température ambiante. Les protéines insolubles ont été éliminées par centrifugation à 9000 xg et 4°C pendant 30 min. Le surnageant contenait la fraction albumine. Pour l'extraction des globulines, le culot a été remis en suspension dans 25 ml de tampon Tris-HCl 100 mmol L⁻¹, pH 7,5 , contenant 100 g kg⁻¹ (p/v) de NaCl et 10 mmol L⁻¹ d'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA).

Les globulines solubilisées ont été obtenues par centrifugation à 9000 x g et 4 °C pendant 30 min. Le surnageant contenait la fraction de globuline. Pour l'extraction des prolamines, le culot a été mis en suspension dans 10 ml de méthanol et agité pendant 1 h. Après centrifugation à 9000 xg et 4°C pendant 30 min, la fraction prolamine a été obtenue. La procédure a été répétée séquentiellement pour obtenir la fraction de glutéline à partir du culot contenant la matière insoluble.

Le culot a été remis en suspension dans 5 mL de tampon Tris-HCl 50 mmol L⁻¹, pH 10, contenant (v/v) β -mercapto éthanol et 10 g kg⁻¹ (p/v) SDS (5 ml/masse de précipité sec). a été agité à température ambiante (pour maintenir le SDS sous une forme soluble) pendant 30 min. et centrifugé à 9000xg pendant 30 min. La teneur en protéines des extraits a été déterminée par la méthode de Bradford en utilisant de l'albumine de sérum bovin comme protéine standard.16 Cinquante microlitres d'échantillons ont été mélangés avec 950 μ L de réactif de Bradford et incubés pendant 15 min à température ambiante. Après ce temps, l'absorbance à 595 nm a été mesurée. La teneur en protéines a été calculée en g kg⁻¹ de poids sec (d.m.). (Sabota et al .,2019).

b- Acides aminés

Analyse des acides aminés (DAD) par pré-digestion avec HCl 37%, dérivatisation pré-colonne avec ortho-phthalaldéhyde (OPA) (Règlement CE 159, 2009) et chromatographie liquide (1260 Infinity, Agilent Technologies) équipé de Diodo Array Detector (Henderson et

al., 2000. Méthode Agilent) pour tous les acides aminés, sauf le tryptophane, à l'aide d'un détecteur alcalin. (Tryptophane pour la digestion et l'analyse de base avec HPLC et détecteur).

La fluorescence (FLD) (1260 Agilent Technologies) a été réalisée. Détecteur (FLD) (1260 Infinity, Agilent Technologies). Les résultats sont exprimés en g d'acides aminés pour 100 g de protéine. (**Miranda et al. 2012**).

c- Les lipides et les acides gras

Déterminé en traitant les esters méthyliques (FAME) d'échantillons d'extrait d'huile Soxhlet avec 2,0 M KOH dans du méthanol à température ambiante. Pour la séparation FAME et l'analyse quantitative, la chromatographie en phase gazeuse a été utilisée conformément à la norme de la Commission européenne (Règlement EC 2568, 1991).

L'analyse a été effectuée sur un chromatographe en phase gazeuse Agilent 7890A (Agilent Technologies, Californie, États-Unis) équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) Calvo et al. (2011). Les résultats pour chaque acide gras ont été exprimés de la même manière que collations. (**Rodriguez et al, 2021**).

d- Les sucres

Pour la cartographie des glycines, 1g d'échantillon a été soniqué avec 10 ml d'eau Milli-Q pendant 30 min , suivi d'une centrifugation à 12 000 tr/min pendant 10 min et filtré à travers un filtre en nylon 0,45 µm (Agilent Technologies). L'analyse a été effectuée sur un chromatographe liquide Agilent 1200 (Agilent Technologies, CA, USA) Couplage avec un détecteur d'indice de réfraction (RID) (G-1362).

La séparation a été effectuée dans Rezex™ RPM-Monosaccharide Pb+2 (300 × 7,8 mm, 8 µm) comme décrit dans Phenomenex® pour la détermination des saccharides. Des monosaccharides sélectionnés (glucose, fructose et saccharose) ont été achetés auprès de Sigma Aldrich (MO, USA). Les résultats sont rapportés en 1 g de sucre 100 g poids net. . (**Rodriguez et al.,2021**).

e- Les sels minéraux

La teneur en minéraux a été évaluée selon les méthodes officielles d'analyse (MAPA, 1995). La teneur en phosphore a été obtenue à 430 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis (Hitachi U-2810). Analyse de la teneur en potassium et en sodium par spectroscopie d'émission atomique de flamme (respectivement à 766,5 et 589,6 nm), et teneurs en calcium, magnésium et fer, par absorption atomique à la flamme (respectivement à 422,7, 285,2, 248,3 nm) (SpectrAA 110, Agilent), le tout après calcination des échantillons dans un four à moufle

à 550° VS, Effectuer 48 h et minéralisation avec HO et 35 % HCl. Les résultats sont exprimés en mg /100 g poids sec. . (Rodriguez G et al,2021).

f- Les acides organiques

Les acides organiques ont été analysés par UFLC (Chromatographie Liquide Ultrarapide; série Shimadzu 20A, Kyoto, Japon) et une photodiode à détecteur à réseau. Des étalons d'acides organiques (acide L(+)-ascorbique, acide citrique, acide malique, acide oxalique, acide shikonique, acide succinique, acide fumarique et acide quinique ; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, États-Unis) ont été utilisés pour identifier Comparaison chromatographique des pics d'échantillon.

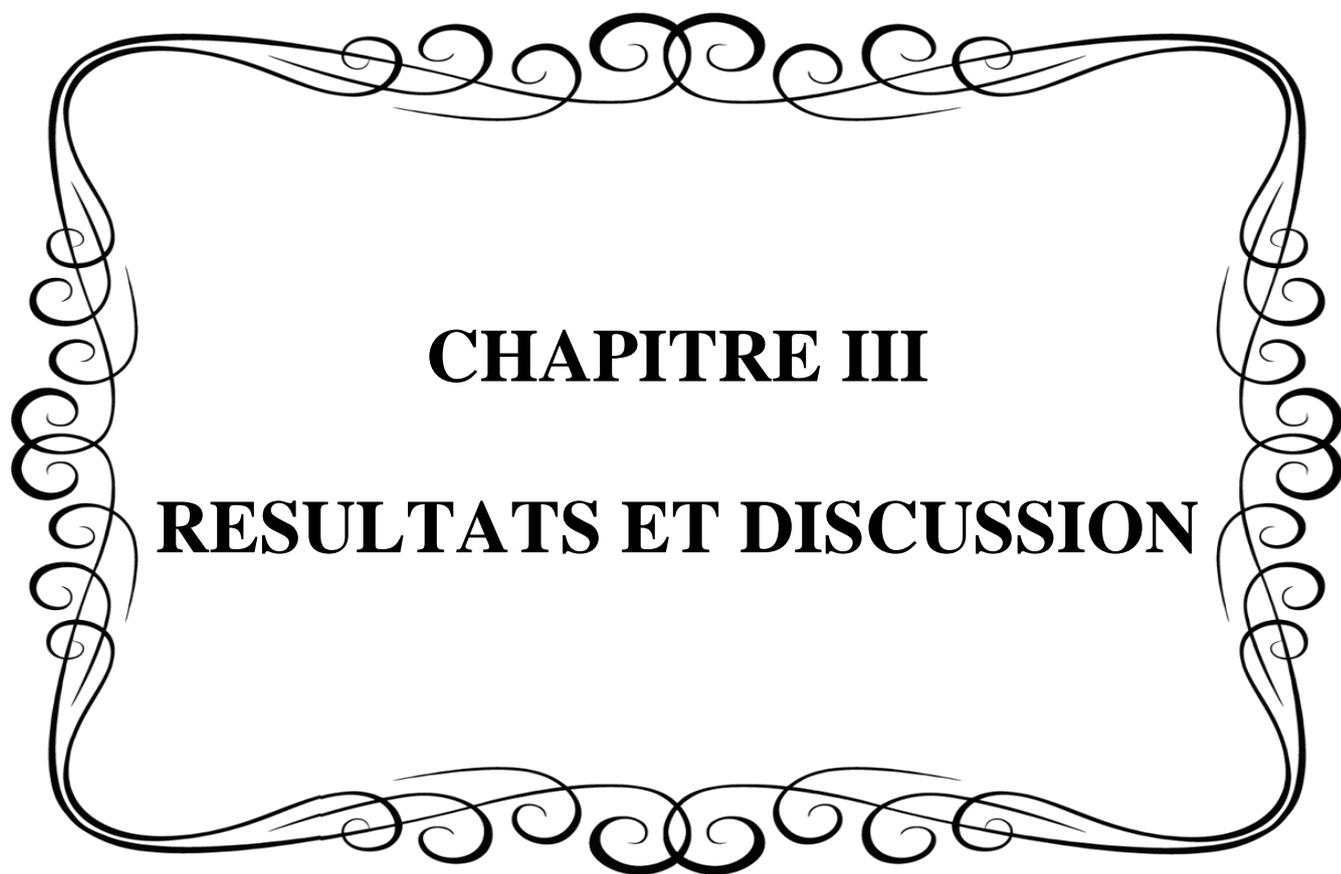
Ces normes ont également été exploitées dans la quantification, en utilisant l'épistémologie conforme alentours. Les résultats ont été formulés en mg pour 100 g de soupesée sec (ps).

Les tocophérols ont été marqués par hplc connectée à une fluorescence senseur (fp-2020; jasco) programmé pendant lequel une excitation à 290 nm et ciblé à 330 nm. Les iso formes incarnes dans l'échantillon ont été repérées par comparaisons chromatographiques avec des étalons authentiques (α -, β -, γ -, et les δ -tocophérols ; matreya, pleasant gap, pa, États-Unis), à l'dard d'un clarity 2.4Software (dataapex, podohradka, réauthenticifiée tchèque).

La mesure était basé sur la monitoire du éloge de fluorescence, en utilisant l'accoutumance normalisé (tocol, 50 mg/ml ; matreya, pleasant gap, pa, usa).Les résultats ont été autoritaires en μ g pour 100 g de soupesée sec (ps).

La teneur en acides a été rompue par gc-fid (chromatographie gaz-limpide repérage par ionisation d'enseigne) un contrefort capillaire. Les mixtes ont été numérotés en comparant les période de rétention relatifs Des pics famés à durement d'échantillons contre-poil des normes (réunion famé, standard 47885-u, sigma-aldrich,st. Paillette, mo, Etats-Unis).

Les résultats ont été conçus et engagements à l'soutien du programme csw 1.7 (dataa pex 1.7, Prague, reconfirmée tchèque) et étaient achevés en rapport (%). (Pereira et al.2019).



CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Les protéines

a- Les protéines totales

Tableau 08. La teneur de protéines totales de la graine du quinoa.

Références	Pellegrini et <i>al.</i> , (2017).	Pereira et <i>al</i> (2018).	Rodriguez Gomez et <i>al.</i> , (2021).	Ganjyal et <i>al.</i> , (2018).
Concentration des Protéines	13,66	15,6	18,73	15,58

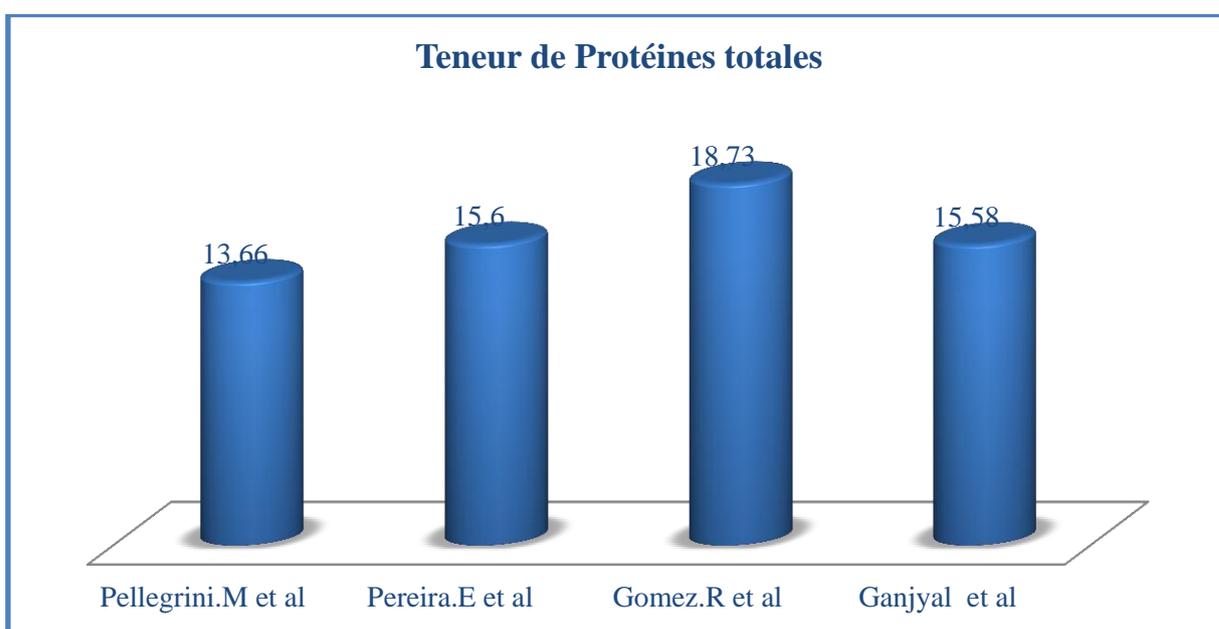


Figure 10. Histogramme de la Teneur de protéines totales de graine de Quinoa.

La teneur en protéines varie entre 13,6 et 18,7 % de différentes variétés. Il est à noter que la teneur obtenue par Gomez et *al* en protéines est supérieure aux valeurs obtenues par d'autres auteurs.

La valeur la plus élevée est marquée chez la variété *Atlas* d'Espagne et la valeur la plus basse est chez la variété Pot 4 .

Les résultats obtenus indiquent ainsi que le Quinoa constitue une riche source de protéines.

(Gomez et al 2021).

Le Quinoa a une valeur biologique élevée (73%), similaire à celle du boeuf (74%) et supérieure à celles du riz blanc (56%), du blé (49%) et du maïs (36%) (Gordillo-Bastidas. et

al., 2016), il contient tous les acides aminés, y compris les acides essentiels, c'est-à-dire ceux que l'organisme ne peut pas se synthétiser et qui doivent donc être fournis dans l'alimentation. (FAO, 2011)

b- Les protéines de réserve

Tableau 09. La teneur des protéines de réserve.

Protéines de réserve	Albumine	Globuline	Prolamine	Gluten
Concentration %	32,4	85,3	6,89	34,6

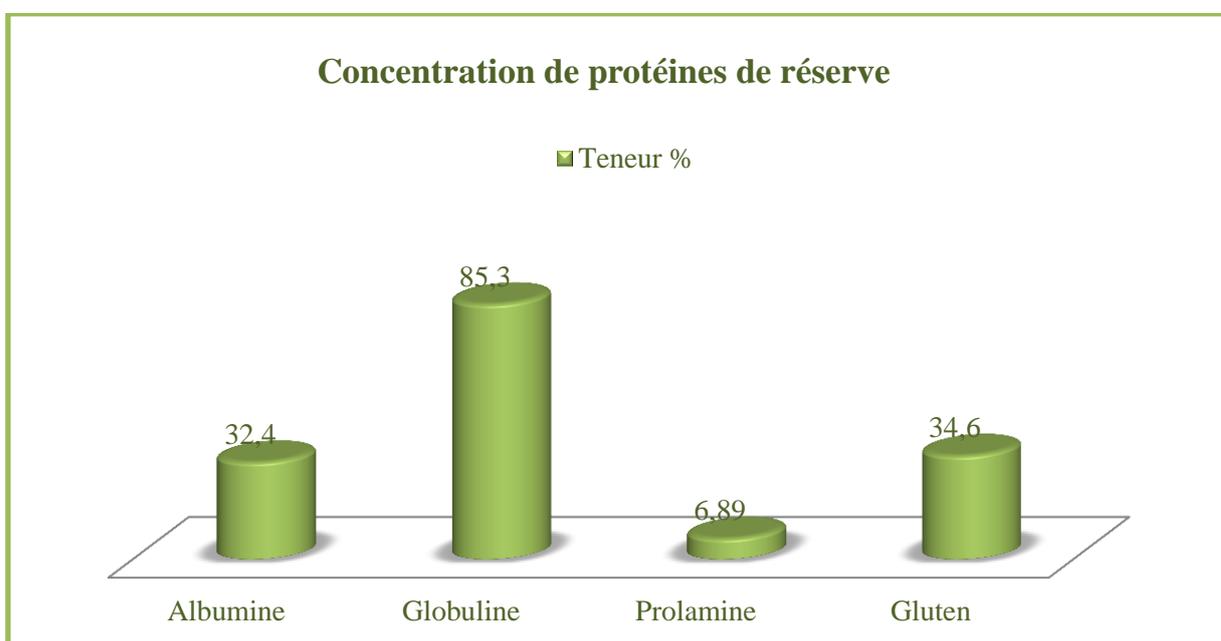


Figure 11. Histogramme de la teneur de protéines de réserves de graine de Quinoa.

Dans les cultivars étudiés, l'albumine et les globulines étaient les principales fractions protéiques (66 à 87 % des protéines totales). La teneur la plus élevée en albumines a été déterminée pour le jaune et les cultivars Titicaca White, tandis que le niveau le plus bas a été présenté par les cultivars Temuko et QQ 065. Les globulines, c'est-à-dire la dominante fraction, a montré la plus grande diversité quantitative. La teneur la plus élevée a été déterminée pour les cultivars Chile et Faro (Supérieure de 30% et 25% à la moyenne), tandis que la Vanille et les cultivars Colorado 407D avaient les plus faibles quantités de globulines (Inférieur de 41% et 29% à la moyenne). Le contenu des prolamines était faible et variait entre 3,98 g/ kg⁻¹ et 6,89 g/ kg⁻¹ à Titicaca Red et Temuko, respectivement. Le Quinoa contenait aussi quantités importantes de gluténines (18 à 28 % des protéines totales).

Les quantités de protéines déterminées dans l'étude sont de l'ordre de résultats rapportés précédemment. Comme dans l'étude menée par Abugoch35, la fraction dominante était constituée d'albumine et globuline. Le rapport de ces fractions dans les études mentionnées ci-dessus et les enquêtes menées par Ando et *al.*3 était d'environ 1:1, contrairement aux résultats actuels, qui montraient un rapport de 1:2. Ceci peut être causé par les différentes méthodologies utilisées pour le fractionnement des protéines.

Dans notre étude, les contaminations croisées entre l'albumine et globulines observées lors de l'isolement sur la base des critères de solubilité. (Aldona et *al.*,)

2. Les acides aminés

a- Les acides aminés essentiels

Tableau 10. La teneur des acides aminés essentiel de la graine de Quinoa.

Acide aminés essentiel	Bhargava et <i>al.</i> ,(2006)	Miranda et <i>al.</i> ,(2012)	Rodriguez et <i>al.</i> ,(2021)
Lysine	6 ,6 %	4,8% (Villarica)	13,55% (Jessie)
Isoleucine	6,4%	3,8% (Ancovinto)	4,46% (Jessie)
Methionine	2,4%	1,9% (Villarica)	1,64% (Atlas)
Threonine	4,8%	3,6% (Faro)	7,63% (Roja)
Histidine	2,7%	3,5% (Villarica)	8,31% (Roja)

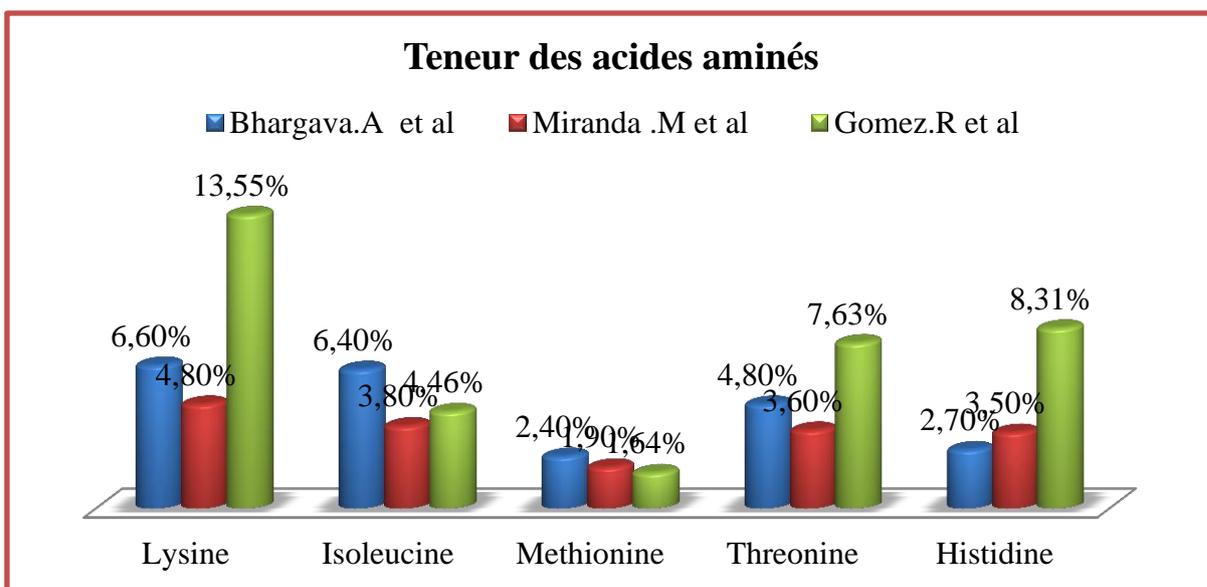
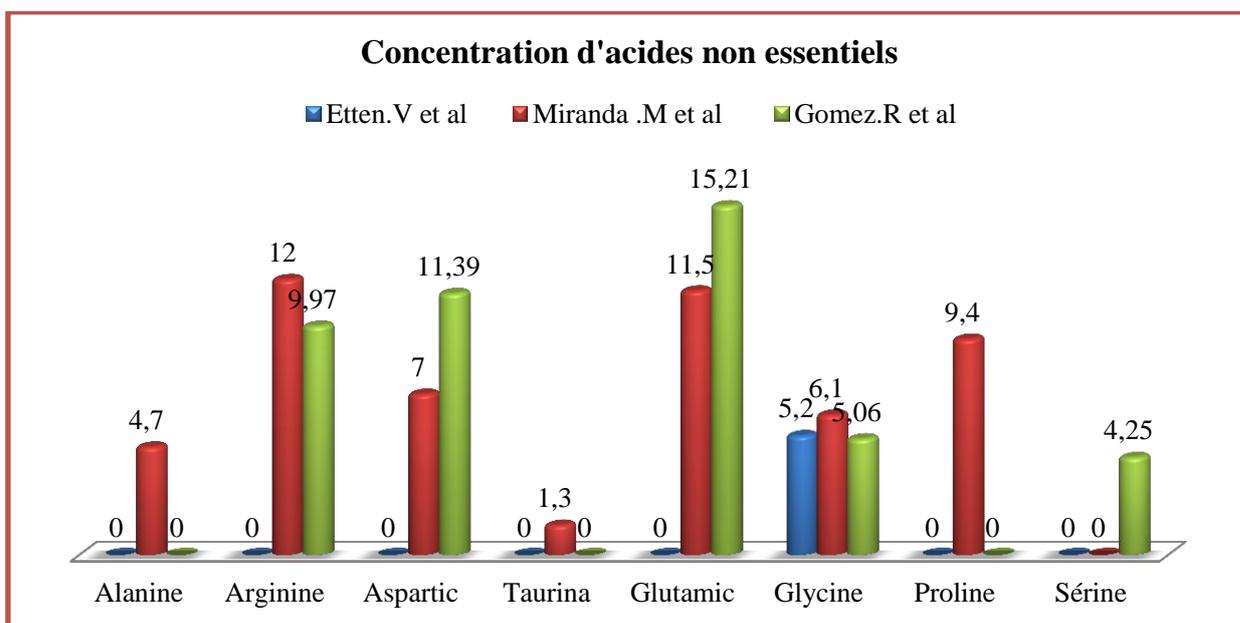


Figure 12. Histogramme de la teneur d'acides aminés essentiels de graine de Quinoa.

b- Les acides aminés non essentiels

Tableau 11. La teneur des acides aminés non essentiel de la graine de Quinoa.

Acide aminés non essentiel	Bhargava et al.,(2006)	Miranda et al.,(2012)	Rodriguez et al.,(2021)
Alanine	0	4,7	3 ,68
Arginine	0	12	9,97
Aspartic	0	7	11,39
Taurina	0	1,3	0
Glutamic	0	11,5	15,21
Glycine	5,2	6,1	5,06
Proline	0	9,4	0
Sérine	0	4 ,8	4,25

**Figure 13.** Histogramme de la teneur d'acides aminés non essentiels de graine de Quinoa.

Un profil équilibré en acides aminés est l'une des principales caractéristiques du quinoa. La composition en acides aminés, exprimée en g (100 g 1 protéine) , est indiquée dans tableau 10 et tableau 11 . Il y avait une variabilité dans la concentration en acides aminés de variétés de Quinoa, l'acide glutamique étant l'acide aminé prédominant dans toutes les variétés. Cela a été suivi par acide aspartique, arginine, lysine et thréonine, les deux derniers étant des acides aminés essentiels limitant dans les céréales conventionnelles, par exemple le blé et le maïs

(Dini et al.,2005). Inversement, l'acide aminé soufré méthionine s'est avérée avoir la teneur la plus faible dans toutes les variétés.

Ces résultats sont en accord avec (Motta et al.,2019), qui a trouvé que dans les grains de quinoa crus et autres pseudo-céréales, les acides aminés prédominants était l'acide glutamique et le moindre était la méthionine. Les valeurs obtenues pour les acides aminés sont dans ceux obtenus par (Nowak et al.,2016) pour le Quinoa échantillons. Différences non significatives entre les variétés pour chaque acide aminé ont été trouvées. (Gomez et al.,)

3. Les lipides

Tableau 12. La teneur des Lipides de graine du Quinoa.

Références	Pereira et al.,(2019)	Gomez et al., (2021).	Ganjyal et al., (2018)
Teneur des lipides	6,8	5,21	7,50

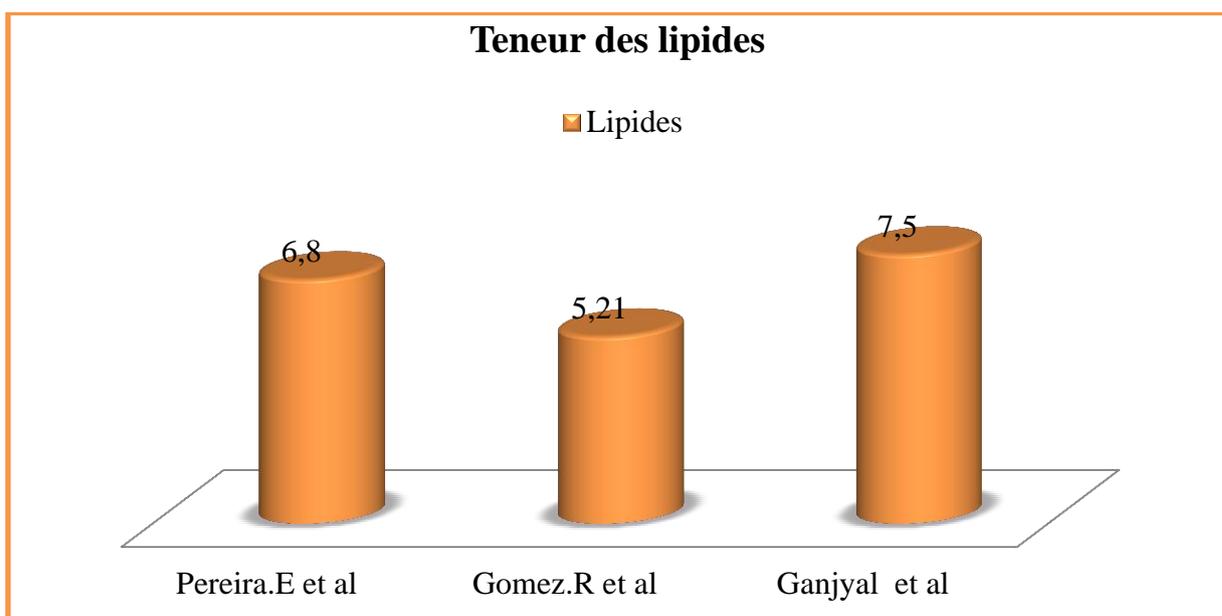


Figure 14. Histogramme de la teneur des lipides de la graine de Quinoa.

Les résultats ont montré la teneur des lipides varie entre 5,08 et 7,5% , la variété *Red Head* est la plus riche en lipides et la moins élevée est remarqué chez *Blanca* sachant qu'elles sont d'origine USA (Ganjyal et al.,2018) .

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% .

4. Les acides gras

Tableau 13. La teneur des acides gras de graine du quinoa.

	Margarita et al ,(2012)	Marika et al (2018)	Saad allah et al,(2018)
C14 :0Myristique	0,25	0,19	0,3
C16 :0Palmitique	8,97	/	10,8
C16 :1Palmitoleique	0,06	0,12	/
C17 :0Margarique	0 ,05	0,20	/
C17 :01Margaroleique	0,08	/	/
C18 :0Stéarique	0,75	0,82	0,90
C18 :1Oleique	27,87	29,84	24,1
C18 :2Linoleique	54,18	53,94	58,1
C18 :3α Linoleique	8,30	7,83	6,1
C20 :0Arachidique	/	0,51	0,50
C20 :1Gadoleique	0,33	1,41	1,8
C20 :3Dihomo γ linoleique	1,85	/	/
C20 :4Arachidonique	0,11	/	/
C21 :0Héneicosylique	0,06	/	/
C22 :0 Béhinique	/	0 ,61	1,1
C23 :0Tricosylique	6,81	/	/
C24 :0Ligocérique	0 ,27	0,20	/
C25 :1Hyénique	/	/	0,2

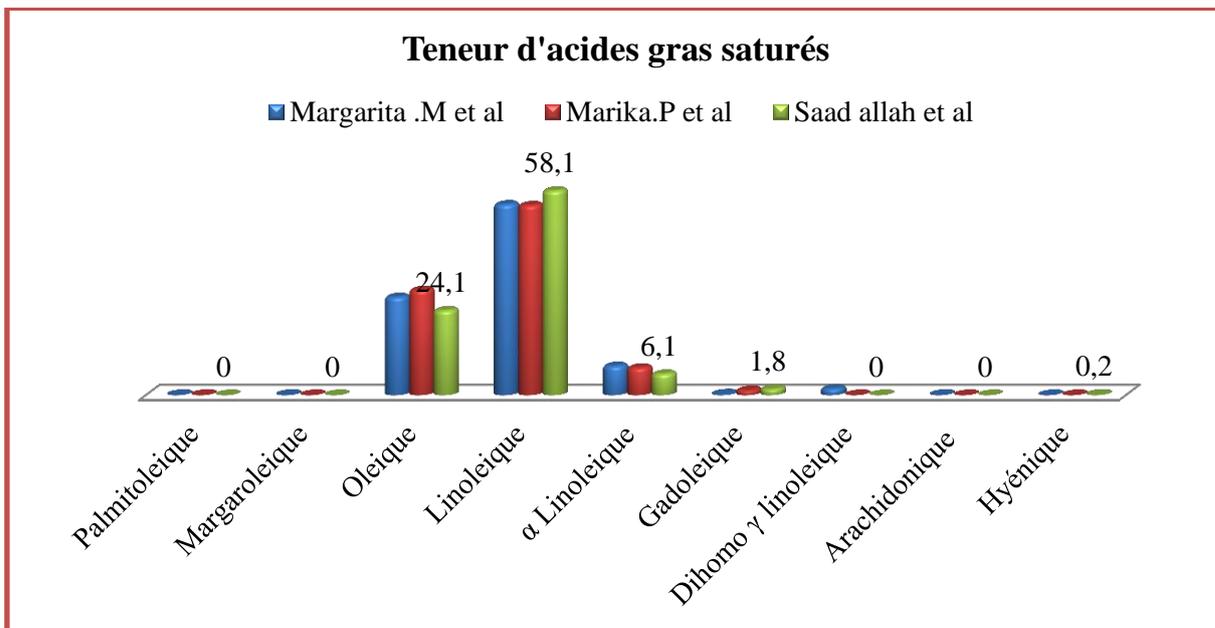


Figure 15. Histogramme de la teneur d'acides gras saturés de la graine de Quinoa .

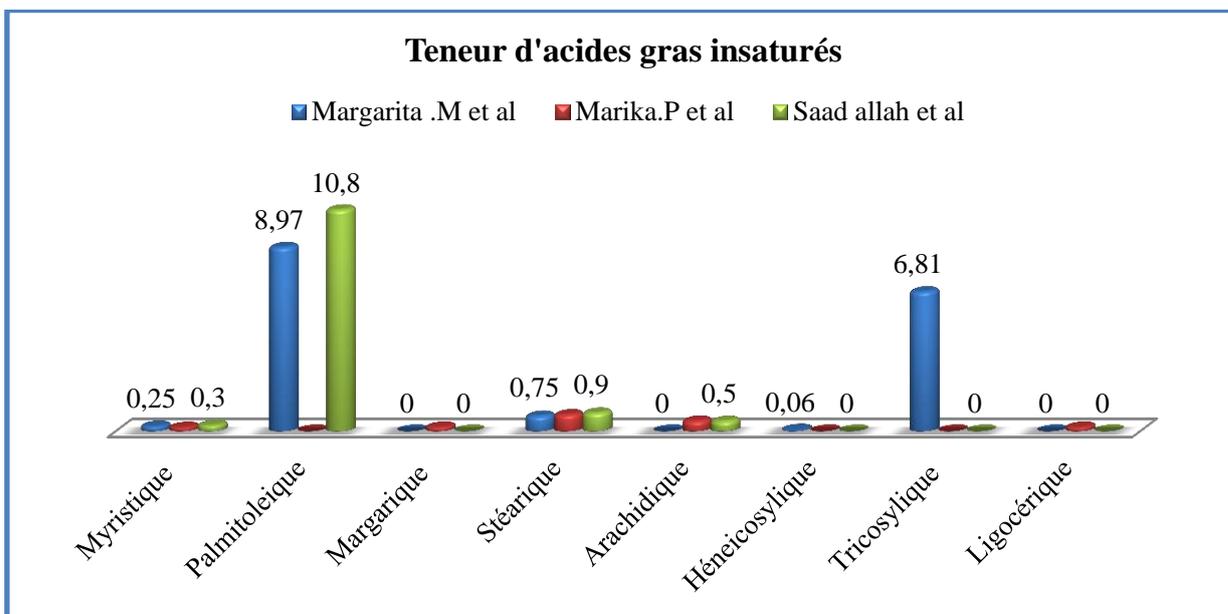


Figure 16. Histogramme de la teneur d'acides gras insaturés de la graine de Quinoa.

Les graisses les plus abondantes sont les acides étaient a-linolénique (C18:3), palmitique (C16:0) et acide linoléique (C18:2). L'acide linoléique s'est produit sous forme de 9,12-cis isoforme des génotypes kvl-sra2, kvl-sra3 et Regalona et en tant qu'iso forme, 11-trans dans les Q37 et Q52 génotypes. En général, l'acide linoléique représentait plus plus de la moitié des acides gras totaux (53,8–58,1 %). Non saturé les acides gras (UFA) représentaient la plus forte teneur en acides gras totaux (86,3–86,8 %); les UFA les plus courantes étaient oléiques (18,4–24,1%), a-linoléiques et éruciques acide (1,1–2,0%). De plus, les différentes iso formes du les UFA variaient selon les génotypes étudiés.

Les principaux acides gras saturés (AGS) étaient palmitiques (10,6–10,9%), stéarique (0,6–0,9%) et acide myristique (0,3–0,4%). Acide caprylique (C8:0) et acide caprique (C10:0) étaient caractéristiques de kvl-sra2. Cependant, l'acide arachidique C20:0) et béhénique (C22:0) ont été enregistrés dans tous génotypes de Quinoa sauf kvl-sra2. Les résultats ont montré que le pourcentage de SFA n'a pas varié de manière significative (13,2–13,7 %) parmi les génotypes et que le type d'AGS était le plus caractéristique des génotypes.

Les UFA courants obtenus ici ont également été rapportés par (Ruales et Nair 1993) [acide linoléique (52,3%), oléique (24,1 %) et acide linoléique (3,8 %)]. De plus, (Miranda et al 2012) ont rapporté 10 % d'acide palmitique, 30 % d'acide oléique , 57 % d'acide linoléique et 12 % d'acide a-linolénique . (Miranda et., al)

5. Les sucres

Tableau 14. La teneur des sucres de graine du quinoa

Sucres	Miranda et al.,(2012).	Pellegrini et al., (2017).	Pereira et al., (2019).	Rodriguez et al., (2021).
Fructose	0.26	0.16	0.27	0.86
Glucose	0.40	0.78	0.64	0.99
Saccharose	3.05	1.49	1.70	1.81

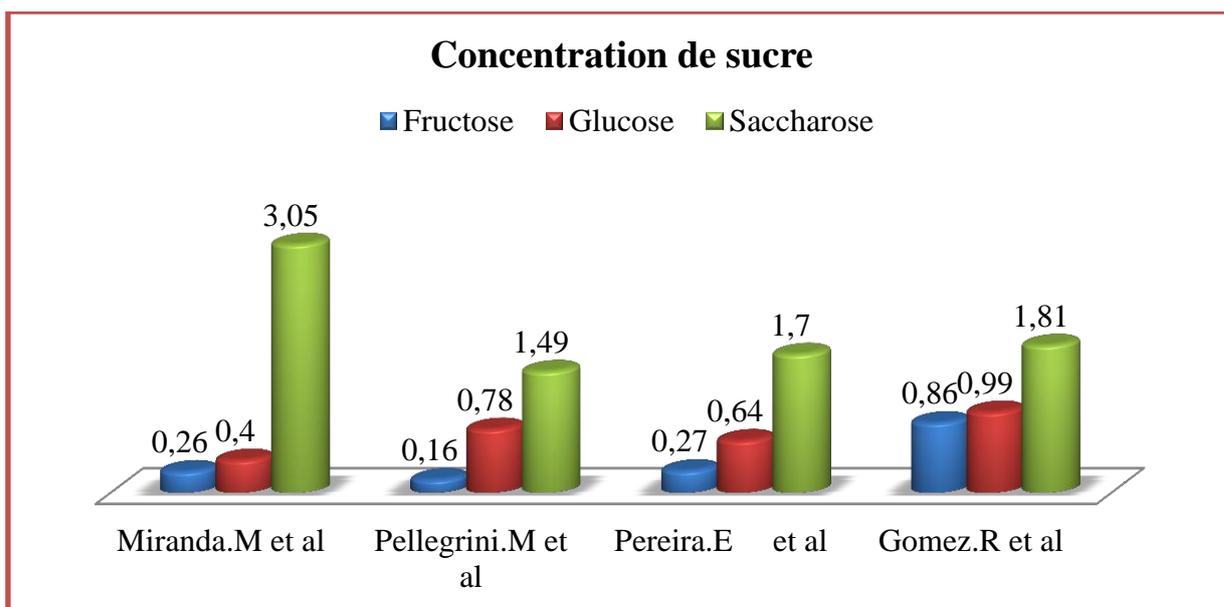


Figure 17. Histogramme présentant la teneur des sucres de la graine de Quinoa.

Les quantités de fructose, de glucose et de saccharose dans les génotypes sont qui donnés dans le tableau 14. Les concentrations de le fructose et le glucose parmi les génotypes se sont avérés être significativement différent ($p < 0,05$), mais les teneurs en saccharose n'étaient pas trouvé statistiquement différent parmi les génotypes ($p < 0,05$). Comme le montre le tableau 14, le saccharose a montré des concentrations plus élevées par rapport aux autres sucres dans tous les génotypes expérimentaux, suivi du glucose et du fructose la teneur en saccharose variait entre 2,52 et 3,05 g. /100g, valeurs obtenues de Cancosa et génotypes de Villarrica, respectivement. Ces données sont conformes avec ceux rapportés par (Miranda et al. 2010) et (Repo-Carrasco, Espinoza et Jacobsen 2003). Cependant, Dini, Tenore et (Dini 2005), travaillant avec une variété de quinoa appelée Kancolla, ont rapporté teneur en saccharose plus faible (1,85 g./100 Génotype Ancovinto présentaient les teneurs moyennes les plus élevées en fructose et en glucose, contrairement aux génotypes Cáhuil et Villarrica, qui avaient le teneur moyenne en saccharose la plus élevée.

6. Les sels minéraux

Tableau 15. La teneur des sels minéraux de graine du quinoa

Selminéraux (mg)	Rodriguez et al., (2021).	Bhargava et al (2006).
P	582,9	3869
K	1323,6	6967
Ca	103,4	1274
Mg	231,9	0
Na	15,9	115
Fe	9,4	0
Zn	0	48

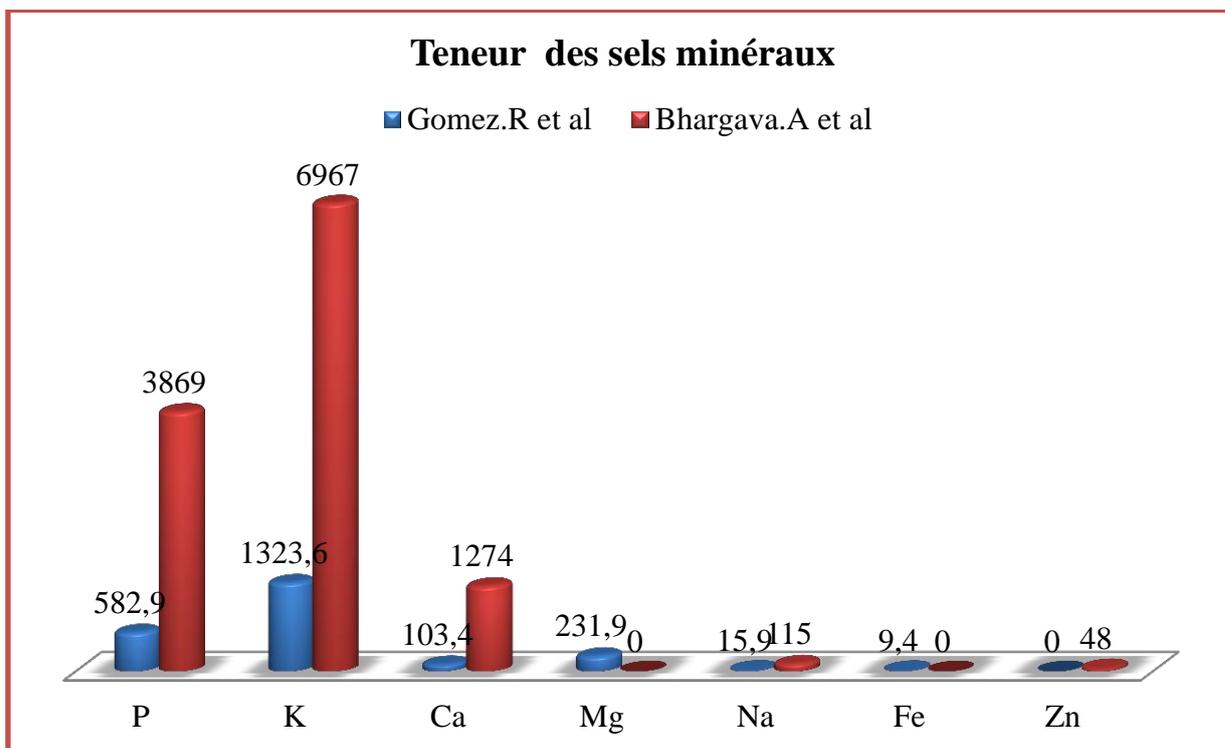


Figure 18. Histogramme de la teneur de sels minéraux de la graine de Quinoa

Les grains de quinoa contiennent de grandes quantités de minéraux comme Ca , Fe, Zn, Cu et Mn (Repo-Carrasco et *al.*, 2003). Le calcium et le fer sont significativement plus élevé que les céréales les plus couramment utilisées (Ruales et Nair 1992) ont également signalé de grandes quantités de fer (81 mg/kg) et de calcium (874 mg/kg) dans le quinoa. Il contient environ 0,26% de magnésium en comparaison à 0,16% de blé et 0,14% de maïs.

7- Les acides organiques

Tableau 16. La teneur des acides organique de graine du quinoa

	Pereira et <i>al.</i> ,(2019).	Pellegrini et <i>al.</i> , (2018).
Acide oxalic	6,30	0,98
Acide citric	3,17	0,71
Acide fumaric	8,42	0
Acide malic	0	0,36
Acide succinic	0	21,19

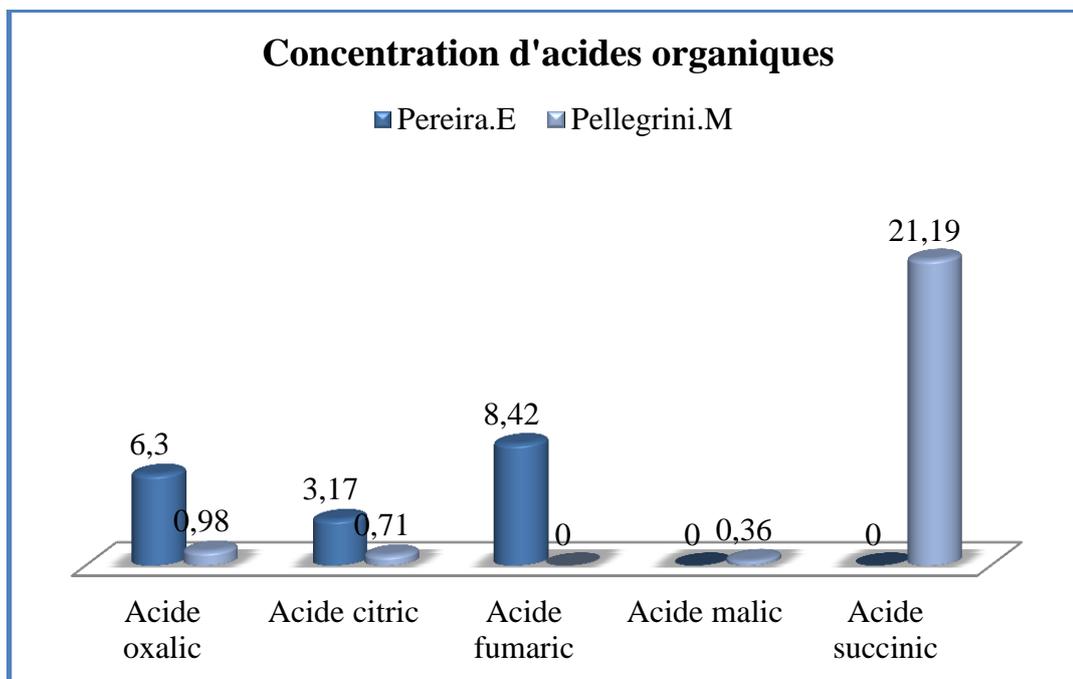


Figure 19. Histogramme présentant la teneur d'acides organiques de la graine de Quinoa

Les acides organiques détectés dans les trois types de quinoa étaient oxalique acides citrique et fumarique (tableau 3B). L'acide oxalique s'est démarqué comme l'acide organique acide présent dans les concentrations les plus élevées dans toutes les variétés de couleur (noir, rouge et blanc), oscillant entre 340 et 630 mg/100 g de poids sec. Cette acide était le seul où des différences statistiquement significatives étaient détecté, ayant les graines rouges la concentration la plus élevée (630 mg/100 ps), suivi de graines blanches et noires avec 415 et 340 mg/100 g ps , respectivement. L'acide oxalique a été associé à la réduction de la disponibilité de Ca alimentaire et plusieurs maladies rénales, telles que le tartre (Guil, Torija, Giménez, Rodríguez-García et Giménez, 1996). En outre, plusieurs auteurs ont également rapporté une interférence directe entre l'acide oxalique et les vitamines, notamment la vitamine C (Liu *et al.*, 2018), conduisant à son oxydation.

Les concentrations moyennes d'acide citrique étaient de 317 mg/100 g de poids sec pour le blanc, 213 mg/100 g de poids sec pour le rouge et 210 mg/100 g de poids sec pour les grains noirs.

L'acide fumarique n'a été quantifié qu'à l'état de traces dans les trois types d'échantillons de quinoa. Ainsi, les concentrations moyennes de matières organiques totales les acides étaient de 550 mg/100 g de poids sec pour les grains noirs, 732 mg/100 g de poids sec pour les grains blancs et 842 mg/100 g de poids sec pour les grains rouges.

Pellegrini *et al.*, (2018) ont entrepris une étude sur les propriétés chimiques de farine de Quinoa et a également détecté plusieurs composés d'intérêts nutritionnels et intérêt bioactif, nommément acides organiques. Ces auteurs ont identifié oxalique (environ 0,64 mg/g) et

acide citrique (environ 0,54 mg/g), à des concentrations conformes à la présente étude ; cependant, ils ont également détecté de l'acide malique et succinique, montrant la ce dernier la quantité la plus élevée (environ 17 mg/g).

Discussion

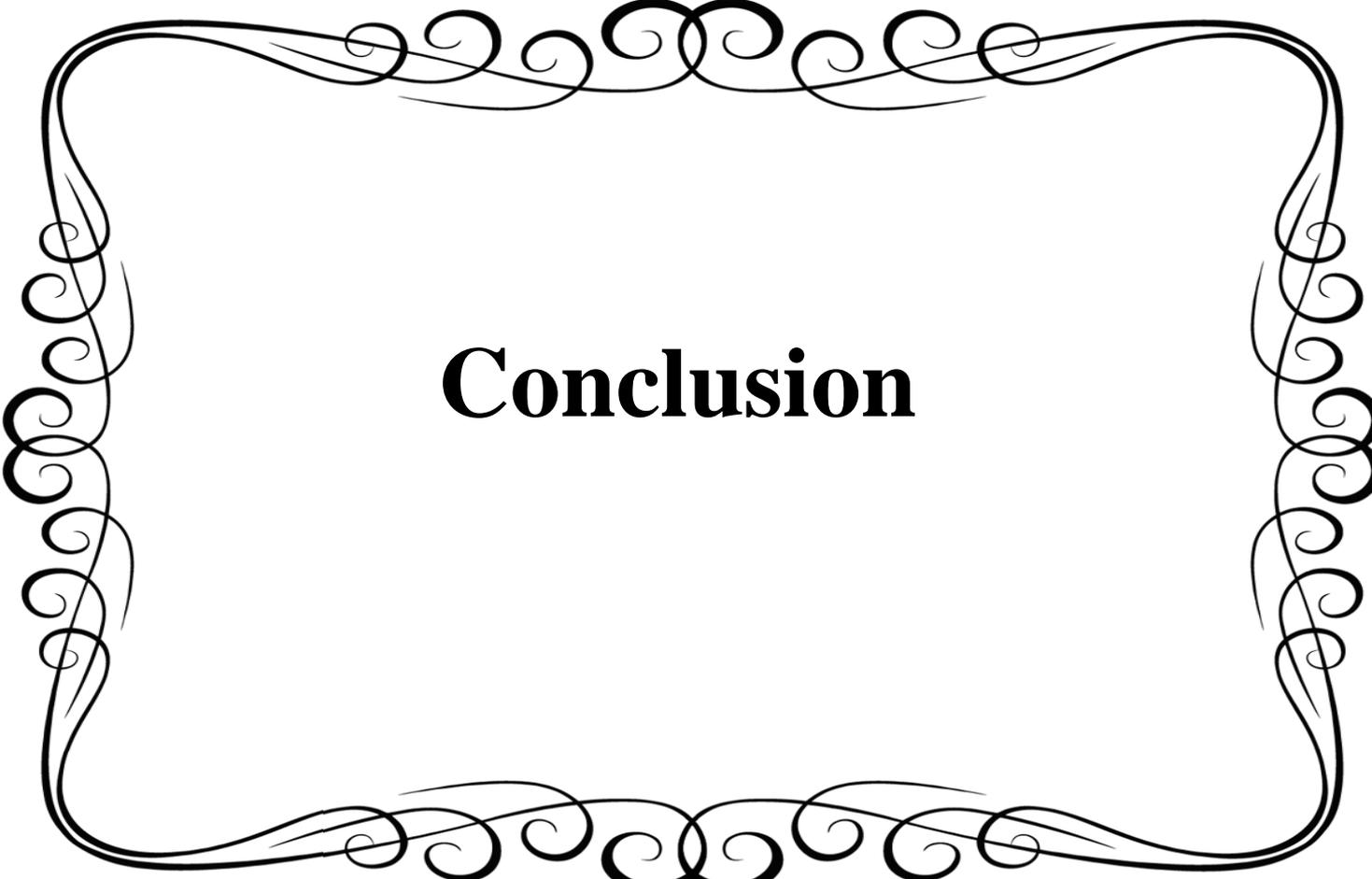
Notre étude confirme une teneur élevée en protéines entre 15,6-18,7% pour toutes les variétés avec une contribution significative des acides aminés essentiels, principalement l'arginine, la lysine et la leucine, la teneur en matières grasses était élevée (3,9-5,2 g 100 g 1 pc).

En ce qui concerne le profil lipidique, environ 85 % du contenu total était constitué par la somme de MU et de MG. la teneur totale était la somme des AGMI et des AGPI, qui se composaient presque entièrement d'acide linoléique (acide gras).

Presque entièrement de l'acide linoléique (18:2n-6, Ω 6) (58-61 %), de l'acide oléique (18:1n-9) (58-61 %) et de l'huile de palme (58-61 %). (18:1n-9) (18-20 %) et d'acide α -linoléique (18:3n-3, Ω 3) (6-8 %). L'acide palmitique était le principal AGS saturé (9-10 %).

Les graines étudiées présentaient une teneur élevée en cendres (2,9-3,8 g 100 g 1 p.c.), au moins trois fois plus élevée que celle d'autres céréales telles que le blé, l'orge, le soja et le maïs. Trois fois plus élevée que celle d'autres céréales comme le blé, le maïs et le riz. De phosphore, potassium, calcium, magnésium, sodium et fer.. Le profil des sucres montre que le saccharose est le principal sucre (environ 1,5 %) et que les valeurs de fructose et de glucose sont plus faibles. et des valeurs plus faibles pour le fructose et le glucose, ce qui suggère que les graines ont un faible indice glycémique. Faible indice glycémique.

Les résultats indiquent que dans les conditions agro-environnementales du sud de l'Europe les variétés étudiées ont des valeurs nutritionnelles selon la composition traits signalés pour le Quinoa.

A decorative border consisting of black, flowing scrollwork lines that form a rectangular frame around the central text. The scrolls are intricate and symmetrical, with some overlapping loops.

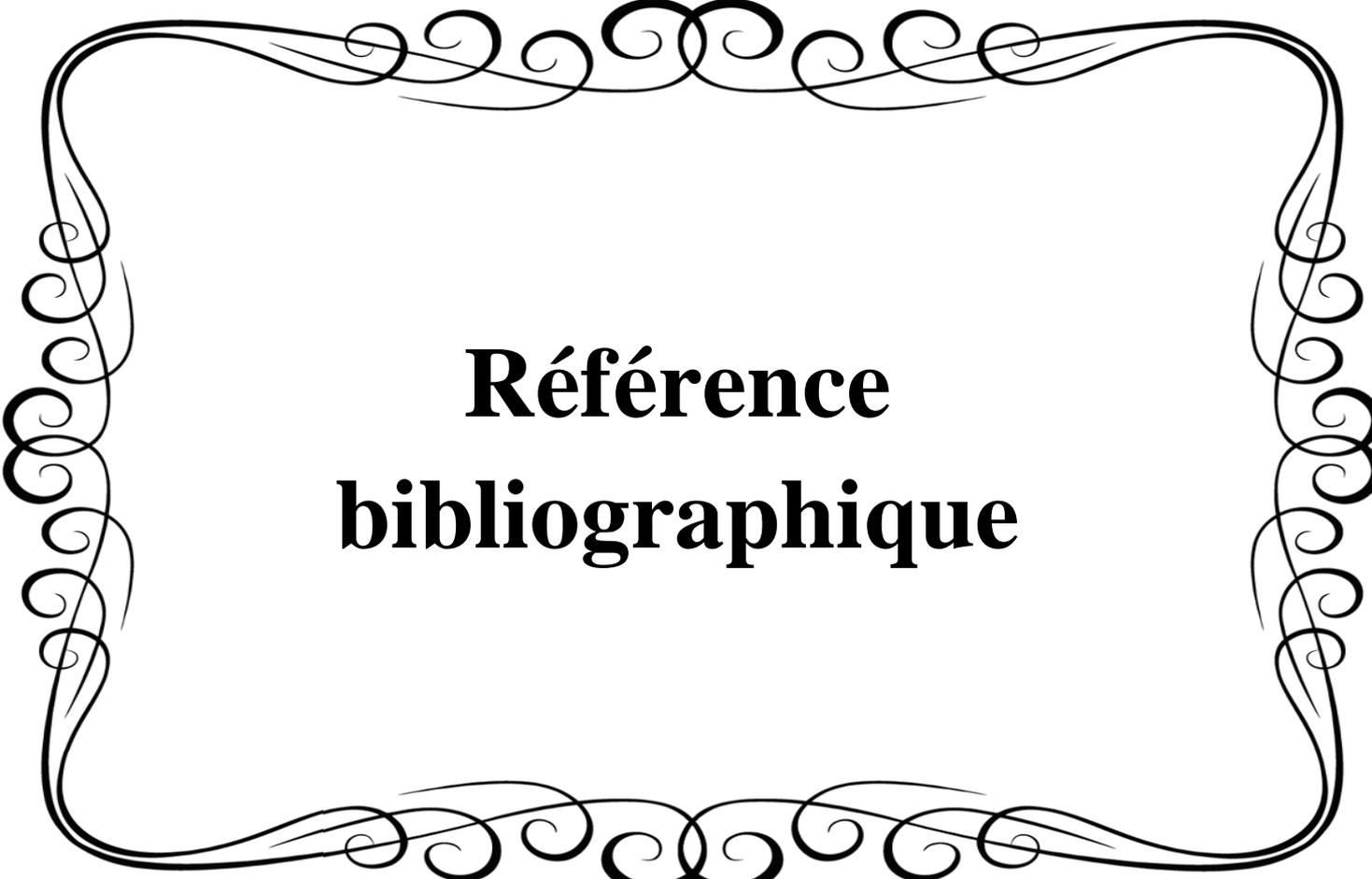
Conclusion

Le quinoa est une plante herbacée annuelle de la famille des Chénopodiacées, il est bien adapté à différentes conditions environnementales grâce à sa diversité génétique. On outre ces caractéristiques, les grains de quinoa jouent un rôle important dans l'alimentation humaine en fournissant des nutriments essentiels et des composés améliorant la santé .

Au cours des dernières années, le quinoa a suscité un intérêt croissant à l'échelle mondiale et sa culture a commencé à étendre dans de nombreux pays d'Europe, d'Afrique et d'Asie.

Les résultats montrent des valeurs nutritionnelles en consonance avec celles rapportées pour le quinoa en raison de la teneur élevée et de la qualité des sucres et des protéines, avec un large spectre d'acides aminés, riches en arginine et lysine, et en acides gras insaturés (environ 85 %) , la composition minérale a montré des teneurs élevées en potassium, phosphore et Magnésium, Le sucre principal était le saccharose (env. 1,5 %), avec une faible teneur en fructose et en glucose.

Les résultats indiquent que dans les conditions agro-environnementales du sud d'Europe, les variétés étudiées ont des valeurs nutritionnelles conformes aux caractéristiques de composition rapportées pour les quetsches. Les valeurs nutritionnelles conformes aux caractéristiques de composition rapportées pour le Quinoa.



**Référence
bibliographique**

- 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.
- Benhabib O., 2005.** Les cultures alternatives quinoa ,amarante et épeautre. Royaume du Maroc. N° 133, p1-4.
- Bhargava A., Shukla S., Rajan S., Ohri D., 2006.**Geneticdiversity for morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm. National BotanicalResearch Institute. Lucknow. India. 54:167–173.
- Bhargava A., Srivastava S., 2013.** Quinoa Botany, production and Uses. Typeset by SPI Pondicherry. India, p:25.
- Bioversity International et FAO., 2013.** Quinoa et ses espèces sauvages apparentées. Bolivie. N° 538, pp:3-38.
- Brack Egg A., 2003.**Perú: diez mil años de domesticación. Lima: EditorialBruño. 12p.
- Cercam., 2014.** Fiche de synthèse QUINOA Une culture à fort potentiel d’adaptation et de production pour le Maroc. Maroc, 3 p.
- DanielsenS., Bonifacio A., Ames T., 2003.**Diseases of quinoa (*Chenopodium quinoa*). Food Rev. Int., 19(1-2), 43-59.
- Del Castillo C, Mahy G, Winkel T., 2008.** La quinoa en Bolivie: une culture ancestrale devenue culture de rente “ bio-équitable ”. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. Bolivie .12(4): 421-435.
- Del Castillo C., Mahy G., Winkel T., 2008-** Le quinoa en Bolivie: une culture ancestraledevenue culture de rente“ bio-équitable ”. Biotechnol.Agron. Soc. Environ.Bolivie.12(4): 421-435.
- FAO, (2013),** Quinoa: An ancientcrop to contribute to world foodsecurity. 55 pages
- FAO, 2011 ,.** Quinoa: An ancientcrop to contribute to world foodsecurity. Latin America and the Caribbean, pp: 3-14.
- FAO,1994,.** Cultures marginalisées 1492: Une autre Perspective. Production végétale et protection des plantes. n°26, pp: 141-145.
- Gallardo M., Pardo F., Gonzales J. 1996.**EfectodelCINa sobre el contenido de betalainas en *Chenopodium quinoa* Willd. XXI Reunión Argentina de FisiologíaVegetal. 20-22 de marzo, Mendoza, Argentina, 284-285.
- Galwey N.W., Leakey C.L.A., Price K.R., Fenwick G.R. 1990,.**Chemical composition and nutritionalcharacteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Food Sci. Nutr., 42F(4), 245-261.
- Gandarillas ,H.,1979.** La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Genética y origen.In: La Quinua y IaKaniwacultivosandinos.Tapia,ME.2000.Cultivosandinossubexplotados y su

aporte a la alimentación. In : Mujica, A., Jacobsen, S. E., Izquierdo, J., Marathee, J. P. y FAO, editors. Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): ancestral cultivoandino, alimentodelpresente y futuro. CIP, UNAP. FAO, CD CultivosAndinos, version 1.0. Santiago, Chile.

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.

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.

Herbillon M., 2015- Le Quinoa: Intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. Thèse doctorat en pharmacie. Université de rouenu.f.r de médecine et de pharmacie. France, p:27 50.

Herbillon. M, 2015., Le Quinoa: Intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. Ed; Université de Rouen-Normandie. Rouen. France. P34.

Lebon V., 2008. Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'Altipano bolivien . Thèse de doctorat , Agro Paris Tech , France.

Lutz M, Bascuñán-Godoy L., 2017. The Revival of Quinoa: A Crop for Health. A Crop for Health, p:38-42.

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., Izquierdo J., Marathee J.P., 2001. Origen y descripción de la quinoa. Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) : ancestral cultivoandino, alimentodelpresente y futuro.

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.

Pedersen S F., Tingvoll B Ø., 2013. Quinoa Opprinnelse, dyrkingog anvendelse. BioforskReport.Vol (8). Nr155. p: 9.

Pereira E, et all., 2019. Food Chemistry, Contents lists available at Science Direct 280 p 110–114 .

Prego I., Maldonado S. & Otegui M., 1998. Seed structure and localization of reserves in Chenopodium quinoa. Ann. Bot., 82, 481-488.

Quispe J.I., Fernandez C., Cortes G. 1976. Contribución al estudio morfológico del grano de quinoa. In : Segunda Convención Internacional de Quenopodiáceas, Potosí, Bolivia.

Rajeibi.W, Kahlaoui.B et Hachicha. M 2015., Effet de l'irrigation avec des eaux salées sur une culture de quinoa Ed; Editions Universitaires Européennes. Paris. France. P p44-51.

Rodriguez Calle J P., 2006. "Modélisation de la culture du quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). En vue de choix des variétés adaptées à chaque région de l'Altiplano Bolivien". Mémoire de master .Université des sciences et techniques du languedoc, p:1.

Rodríguez M. et al., 2021. a Journal of Food Composition and Analysis 99 Contents lists available at Science Direct .

Sophie Foucault A., 2014. Effets d'un extrait de quinoa enrichi en 20- hydroxyecdysone dans un modèle d'obésité nutritionnelle: Application clinique.Thèse Doctorat Médecine humaine et pathologie. AgroParisTech. Français, p: 112.

Touati I., 2018.,Etude de potentiel de croissance et de production de plusieurs variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) sous les conditions arides de sud de l'Algérie (Cas de Ouargla).UniversitéKasdimerbah. Ourgla, p: 6-48-54-56-60.

Valencia Chamorro S A., 2004. Quinoa. Ecole Polytechnique Nationale, Quito. Equateur, p: 1-7.

Vega-G' alvez A, Miranda M, Vergara J, Uribe E, Puente L, Amart'inez E., 2010- Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*). J Sci Food Agrican . Society of Chemical Industry. Chile, p: 2543-2545.

Yazar A, İnce Kaya C., 2014. A New Crop for Salt Affected and Dry Agricultural Areas of Turkey: Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). ÇukurovaUniversity. Adana. Turkey. Vol (2). 1440-1446.

Résumé

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est une plante annuelle originaire des Andes. Son intérêt nutritionnel repose sur la présence de protéines (tous les acides aminés essentiels), de minéraux, de vitamines, d'acide linoléique (omega-3).

Dans le but de valoriser l'espèce *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa), ainsi que d'encourager la consommation de ses grains, cette étude visait à fournir une évaluation détaillée de la valeur nutritionnelle et de la composition chimique de ses grains de différentes variétés de différentes zones géographiques.

Les résultats ont démontré une excellente composition, notamment par la présence de nombreux composés d'intérêt, tels que les acides organiques, les acides gras, les acides aminés, les lipides, sels minéraux ainsi qu'un profil nutritionnel très favorable des glucides et protéines étant les plus importants.

L'analyse officielle a montré que les variétés les plus riches de composants biochimiques sont les variétés du Sud d'Europe spécialement à Pérou et Chili.

Summary

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is an annual plant native to the Andes. Its nutritional interest is based on the presence of proteins (all essential amino acids), minerals, vitamins, linoleic acid (omega-3).

With the aim of valuing the species *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa), as well as encouraging the consumption of its grains, this study aimed to provide a detailed evaluation of the nutritional value and chemical composition of its grains of different varieties of different geographical areas.

The results demonstrated an excellent composition, in particular by the presence of many compounds of interest, such as organic acids, fatty acids, amino acids, lipids, mineral salts as well as a very favorable nutritional profile of carbohydrates and proteins. being the most important.

Official analysis has shown that the varieties richest in biochemical components are the varieties from southern Europe, especially Peru and Chile.

ملخص

الكينوا (*Chenopodium quinoa Willd*) هو نبات سنوي موطنه الأصلي جبال الأنديز. لها فوائد غذائية عديدة و هي غنية بالبروتينات (جميع الأحماض الأمينية الأساسية) والمعادن والفيتامينات وحمض اللينوليك (أوميغا 3). بهدف تقييم أنواع و أصناف (*Chenopodium quinoa Willd (quinoa)*) ، وكذلك تشجيع استهلاك حبوبها ، هدفت هذه الدراسة إلى تقديم تقييم مفصل للقيمة الغذائية والتركيب الكيميائي لحبوبها من أصناف مختلفة من مناطق جغرافية مختلفة.

أظهرت النتائج تركيبة ممتازة ، لا سيما من خلال وجود العديد من المركبات ذات الأهمية ، مثل الأحماض العضوية ، الأحماض الدهنية ، الأحماض الأمينية ، الدهون ، والأملاح المعدنية بالإضافة إلى ملف غذائي مفيد للغاية للكربوهيدرات والبروتينات. كونها الأكثر أهمية.

أظهر التحليل الرسمي أن الأصناف الغنية من ناحية المكونات البيوكيميائية هي أصناف من جنوب أوروبا ، وخاصة بيرو وشيلي.

INTITULE : Etude comparative des composants biochimiques de plusieurs variétés de l'espèce « *Chenopodium quinoa* Willd » cultivés dans différentes régions .

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

Résumé

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est une plante annuelle originaire des Andes. Son intérêt nutritionnel repose sur la présence de protéines (tous les acides aminés essentiels), de minéraux, de vitamines, d'acide linoléique (omega-3).

Dans le but de valoriser l'espèce *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa), ainsi que d'encourager la consommation de ses grains, cette étude visait à fournir une évaluation détaillée de la valeur nutritionnelle et de la composition chimique de ses grains de différentes variétés de différentes zones géographiques.

Les résultats ont démontré une excellente composition, notamment par la présence de nombreux composés d'intérêt, tels que les acides organiques, les acides gras, les acides aminés, les lipides, sels minéraux ainsi qu'un profil nutritionnel très favorable des glucides et protéines étant les plus importants.

L'analyse officielle a montré que les variétés les plus riches de composants biochimiques sont les variétés du Sud d'Europe spécialement à Pérou et Chili.

Mots clés : le quinoa, Composants biochimiques

Jury d'évaluation

Examineur : BOUZID Salha

Prof- MCB Constantine 1

Rapporteur : BOUCHARB RADIA

MCB- UFM Constantine 1

Examineur : DJEROUNI Aissa

Prof- MCB Constantine 1

Date de soutenance : Juin 2022