



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

N série::.....

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الشهيد حمزة لخضر الوادي

Université Echahid Hamma Lakhdar -El OUED

كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا الخلوية والجزيئية

Département de biologie Cellulaire et Moléculaire

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en

Sciences Biologiques

Spécialité : Biodiversité et Physiologie Végétale

THEME

Etude comparative des quatre variétés de quinoa
(*Chenopodium quinoa* Willd) cultivées dans la
région d'Oued Righ "Djamaa"

Présentés Par :

M^{elle} DJEDEI Sara

M^{elle} MERABET Rehab

Devant le jury composé de :

Président: Mr LAOUADJ H.

M.A.A,

Université d'El Oued.

Promoteur: M^{me} BEN KADDOUR M.

M.C.B,

Université d'El Oued.

Examineur: Mr BELHABIB A.

M.A.A,

Université d'El Oued.

- Année universitaire 2018/2019-

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Avant toute chose, nous remercions « Allah », pour nous avoir donné la force, la patience et le courage d'accomplir ce modeste travail.

Au terme de la rédaction de ce mémoire, c'est un devoir agréable d'exprimer en quelques lignes notre reconnaissance que je dois à tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à l'élaboration de ce travail.

nous exprimons d'abord notre profonds remerciements à notre encadreur Mme BENKADDOUR Mounia, pour avoir dirigé ce thème, ainsi que pour ses conseils, sa confiance, ses encouragements, et son soutien pour finir ce travail .

nous remercions chaleureusement Mr LAOUADJ Hassen, pour avoir accepté de présider le jury de cette thèse et Mr BELAHBIB Abdelhamid pour avoir accepté de faire partie de ce jury.

notre sincères remerciements vont Aux directeur et personnels de l'ITDAS de Djamaa, pour leur aide dans ce travail.

notre remerciements vont Aux personnels du laboratoire de l'Algérienne des eaux- El oued- et CRSTRA -BISKRA.-

À tous notre amis et notre collègues du travail.

À tous les étudiants de la promotion 2019 .

À toute personne qui a participé de près ou de loin, directement ou indirectement, à la réalisation de ce travail.

Résumé

Résumé

Cette étude est consacrée pour une comparaison entre quatre variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) qui sont (*Amarilla marangani*; *Amarilla sacaca*; *Blanca de junin* et *Salcedo inia*), par l'évaluation du comportement morphologique, physiologique, biochimique et agronomique de ces variétés. Ce travail est réalisé au champ au niveau de la station expérimentale d'ITDAS d'El-Arfiane, Djamaa, wilaya d'El-oued sud est Algérie est présenté comme une zone aride.

Les résultats obtenus ont montré une supériorité chez la variété *Amarilla marangani* en paramètres physiologique tel que la biomasse aérienne et racinaire, les paramètres biochimiques des feuilles et graines de la variété *Amarilla sacaca* est plus élevée que les autres. La variété *Amarilla marangani* possède un effet de détoxification plus que les autres génotypes.

Le paramètre agronomique étudié est le poids de 1000 grains(PMG), ce paramètre est plus élevé chez les trois variétés à l'exception de la variété *Amarilla marangani* qui a donné un rendement faible.

Mots-Clés: quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), morphologique, physiologique, biochimique, agronomique, zone aride.

الملخص

تكرس هذه الدراسة للمقارنة بين أربعة أنواع من الكينوا (*Chenopodium quinoa* Willd) وهي (*Amarilla marangani*, *Amarilla sacaca*, *Blanca de junín* و *Salcedo inia*)، وذلك من خلال تقييم السلوك المورفولوجي، الفسيولوجي، البيوكيميائي و الفلاحي لهذه الأصناف. تم تنفيذ هذا العمل في الميدان في محطة ITDAS التجريبية في الأغفيان، جامعة، ولاية الوادي جنوب شرق الجزائر (منطقة جافة). أظهرت النتائج المتحصل عليها تفوق في المعايير الفسيولوجية مثل الكتلة الحيوية للجزأين الهوائي و الجذري عند الصنف *Amarilla marangani*، المعايير البيوكيميائية لأوراق و بذور الصنف *Amarilla sacaca* مرتفعة مقارنة بالأصناف الأخرى. الصنف *Amarilla marangani* يملك القدرة على إزالة السموم بصفة أكثر من بقية الأصناف المدروسة.

تتمثل المعايير الفلاحية المدروسة في وزن 1000 بذرة، حيث وجد أن هذا المعيار مرتفع عند ثلاثة أصناف باستثناء الصنف *Amarilla marangani* الذي أعطى مردود ضعيف.

الكلمات المفتاحية: الكينوا (*Chenopodium quinoa* Willd)، المورفولوجي، الفسيولوجي، البيوكيميائي،

الفلاحي، منطقة جافة.

Résumé

Summary

This study is focused on comparing four species of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) (*Amarilla marangani*; *Amarilla sacaca*; *Blanca de junín* et *Salcedo inia*) by assessing the morphological, physiological, biochemical and agricultural behavior of these species. This work was applied in the field at ITDAS Experimental Station in El-arfiane, Djamaa, El-Oued in southeastern Algeria (arid zone).

The results obtained show that there is superiority in the physiological parameters such as the biomass of the aerial parts and root parts of the *Amarilla marangani* species. The biochemical parameters of the leaves and seeds of the *Amarilla sacaca* are high compared to other varieties. The class *Amarilla marangani* has the ability to detoxify more than the rest of the studied varieties.

The measured agricultural parameters are the weight of 1000 seeds, where it was found that this standard is high in three varieties except the *Amarilla marangani* specie, which gave a weak yield.

Key words: quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), morphological, physiological, biochemical, agronomic, arid zone.

SOMMAIRE

Remerciements	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abbreviations	
Introduction générale	01
Première partie: Analyse bibliographique	
Chapitre I:Généralité sur le quinoa	
Introduction	03
1. Historique	04
2. Répartition géographique	04
3. Importance économique de quinoa	05
4. Classification de quinoa	06
5. Ecotypes	07
5.1. Le quinoa des zones situées au niveau de la mer	07
5.2. Le quinoa des vallées arides et des vallées humides	07
5.3. Le quinoa des zones tropicales	08
5.4. Le quinoa des « Salares »	08
5.5. Le quinoa des hauts plateaux	08
6. Description botanique	08
6.1. Appareil végétatif	09
6.1.1. Les racines	09
6.1.2. La tige	10
6.1.3. Les ramifications	10
6.1.4. Les feuilles	10
6.2. Les organes floraux	11
6.2.1. Les panicules	11
6.2.2. Les fleurs	12
6.2.3. Les graines (les fruits)	12
7. Caractères physiologique	13
8. Phénologie de quinoa	16
8.1. Phénologie des quelques variétés de quinoa	19

9. Besoin écologique de quinoa	22
10. Les maladies et ravageurs de quinoa	23
11. Utilisations	27
12. Intérêt mondial pour la culture du quinoa	28
Chapitre II: Les compositions biochimiques de quinoa	
Introduction	29
1. Valeur nutritive	30
1.1. Protéine	30
1.2. Carbohydrates	30
1.3. Lipides	31
1.4. Fibres	31
1.5. Vitamines	31
1.6. Les minéraux	32
2. Composés bioactifs dans le quinoa	32
2.1 Saponines (triterpenoïde glycosides)	32
2.2. Acide phytique	32
2.3. Les polyphénols	33
2.4. Les tanins	33
2.5. Caroténoïdes	34
Conclusion	35
Deuxième parties: Etude expérimentale	
Chapitre III: Matériel et méthodes	
1. Présentation de site d'étude	36
1.1. Situation géographique de la région d'étude	36
1.2. Situation géographique de la station d'étude (ITDAS d'El-Arfiane)	36
1.3. Caractéristiques climatiques de site d'étude	37
2. Matériel végétal utilisé	38
3. Méthodes	38
3.1. Dispositif expérimental	38
3.2. Mode de culture de quinoa	41
3.2.1. Préparation de sol	41
3.2.2. Semis	41
3.2.3. Irrigation	42

3.2.4. Récolte	42
3.2.5. Séchage	42
3.2.6. Criblage	43
3.3. Paramètres étudiées	43
3.3.1. Analyse de sol	43
3.3.2. Analyse d'eau d'irrigation	43
3.3.3. Test de germination	44
3.3.4. Paramètres morphologiques de quinoa	44
3.3.4.1. La longueur des plantes	44
3.3.4.2. Surface foliaire	44
3.3.5. Paramètres physiologiques et biochimique de quinoa	44
3.3.5.1. Estimation de la biomasse fraîche et sèche des plantes	44
3.3.5.2. Paramètres physiologiques et biochimique des feuilles	45
3.3.5.2.1. Dosage des pigments photosynthétiques	45
3.3.5.2.2. Dosage des glucides solubles	46
3.3.5.2.3. Dosage des protéines totaux	46
3.3.5.3. Paramètres physiologiques et biochimique des graines	47
3.3.5.3.1. Dosage des glucides solubles	47
3.3.5.3.2. Dosage des protéines totaux	48
3.3.5.3.3. Activité antioxydant DPPH'	48
3.3.5.3.4. Recherche des Saponosides	50
3.3.6. Poids des 1000 graines (PMG)	50
3.4. Analyses statistiques	51
Chapitre IV: Résultats et Discussion	
1. test de germination	52
2. paramètres morphologiques de quinoa	52
2.1. La longueur des plantes	52
2.2. Surface foliaire	53
3. Paramètres physiologiques et biochimiques de quinoa	54
3.1. Estimation de la biomasse fraîche et sèche des plantes	54
3.1.1. Le poids frais de plante	54
a. Partie aérienne	54
b. Partie racinaire	54

3.1.2. Le poids sec de plante	55
a. Partie aérienne	55
b. Partie racinaire	56
3.2. Paramètres physiologiques et biochimiques des feuilles	56
3.2.1. Paramètres des pigments photosynthétiques	56
a. Chlorophylle (a)	56
b. Chlorophylle (b)	57
c. Chlorophylle (a+b)	58
d. Caroténoïde	58
3.2.2. Contenu en sucres solubles	59
3.2.3. Contenu en protéines totaux	60
3.3. Paramètres physiologiques et biochimiques des graines	61
3.3.1. Contenu en sucres solubles	61
3.3.2. Contenu en protéines totaux	62
3.3.3. Activité antioxydant par le test du DPPH'	63
3.3.4. Recherche des Saponosides	64
4. Poids de 1000 graines	64
Conclusion générale	66
Références bibliographiques	
Annexes	

LISTE DES FIGURES

Numéro	Titre	Page
Figure 01	Répartition géographique de quinoa	05
Figure 02	Panicule de quinoa	06
Figure 03	Culture de Quinoa en Bolivie	09
Figure 04	Racine de quinoa	09
Figure 05	Feuille du quinoa	11
Figure 06	Panicule de quinoa	11
Figure 07	Les formes d'inflorescences du quinoa	11
Figure 08	Fleurs hermaphrodites et femelles de quinoa.	12
Figure 09	Forme des grains	13
Figure 10	Phénologie de quinoa	18
Figure 11	Les champignons qui affectant le quinoa	24
Figure 12	Les bactéries qui affectant le quinoa	25
Figure 13	Les nématodes qui affectant le quinoa	25
Figure 14	Les insectes qui affectant le quinoa	26
Figure 15	Les utilisations de quinoa	27
Figure16	Présentation satellitaire de Djamaa	36
Figure17	Présentation satellitaire de la station ITDAS d'El-Arfiane	36
Figure18	Semences des quatre variétés de quinoa	38
Figure19	Dispositif experimental	39
Figure20	Dispositif experimental	40
Figure21	Le laboure du sol	41
Figure22	Tracement des lignes et semis	41
Figure23	Irrigation par la submersion	42
Figure24	Le séchage des panicules	42
Figure25	Le poids frais et sec des parties aériennes et racinaires	45
Figure26	La longueur des quatre variétés de quinoa.	52
Figure27	Surface foliaire des quatre variétés de quinoa.	53
Figure28	Le poids frais des parties aériennes des quatre variétés de quinoa.	54
Figure29	Le poids frais des parties racinaires des quatre variétés de quinoa.	55
Figure30	Le poids sec des parties aériennes des quatre variétés de quinoa.	55

Figure31	Le poids sec des parties racinaires des quatre variétés de quinoa.	56
Figure32	Contenu en chlorophylle (a) dans les feuilles des quatre variétés de quinoa	57
Figure33	Contenu de chlorophylle (b) dans les feuilles des quatre variétés de quinoa.	57
Figure34	Contenu en chlorophylle (a+b) dans les feuilles des quatre variétés de quinoa.	58
Figure35	Contenu en caroténoïde dans les feuilles des quatre variétés de quinoa.	59
Figure36	Contenu en sucres solubles dans les feuilles des quatre variétés de quinoa.	60
Figure37	Contenu en protéines totaux dans les feuilles des quatre variétés de quinoa.	61
Figure38	Contenu en sucres solubles dans les graines des quatre variétés de quinoa.	62
Figure39	Contenu en protéines totaux dans les graines des quatre variétés de quinoa.	62
Figure40	antioxydant du radical libre DPPH* par les quatre variétés de quinoa.	63
Figure41	le poids des1000 graine des quatre variétés de quinoa.	65

LISTE DES TABLEAUX

Numéro	Titre	Page
Tableau 01	Classification scientifique de quinoa	06
Tableau 02	Mécanismes de résistance de quinoa au froid	15
Tableau 03	Phénologie d' <i>Amarilla Marangani</i>	19
Tableau 04	Phénologie d' <i>Amarilla Sacaca</i>	20
Tableau 05	Phénologie de <i>Blanca de junin</i>	21
Tableau 06	Phénologie de <i>Salcedo Inia</i>	22
Tableau 07	Données climatiques de la région de Touggourt (2017-2018)	37
Tableau 08	Caractérisation physico-chimique du sol de site expérimentale	43
Tableau 09	Les paramètres physico-chimiques d'eau irrigation	43
Tableau 10	pourcentage du test de germination	52
Tableau 11	Valeurs des IC ₅₀ des extraites des quatre variétés de quinoa.	64
Tableau 12	Recherche des saponosides chez des quatre variétés de quinoa.	64

LISTE DES ABREVIATION

% : Pourcentage.

°C : Degré Celsius.

A.As: acide ascorbique.

ANOVA: Analysis of Variance.

BBC: Bleu brillant de coumassie R-250.

BSA: Bovine serum albumin.

Ca Co³: Carbonates de calcium.

Ca: Calcium.

CE: Conductivité électrique.

Chl: Chlorophylle.

Cl : Chlorure.

Cm: Centimètre.

CRSTRA: Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides

DO: Densités optiques.

DPPH: 2, 2- diphenyl-1- picrylhydrazyl.

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

g : Gramme.

G%: Pourcentage de germination.

H %: Humidité.

I : indice de mousse.

IC50: Concentration inhibitrice à 50%.

ITDAS: Institut technique pour le développement agricole de la saharienne.

m mol: Millimole.

M : Molarité.

m² : mètre carrée.

MF: Matière frais.

Mg⁺⁺: Magnésium.

min : Minute.

ml : Millilitre.

MO : Matière organique.

MS: Matière sec.

NTU: Nephelometric Turbidity Units.

pH: Potentiel d'Hydrogene.

PMG: Poids de mille graines.

T: Température.

TCA: Acide trichloracétique.

TDS: Taux d'adsorption de sodium.

Tr: Tour.

V : Vents.

V: Volume.

μL: Microlitre.

μS : Microsimens.

Introduction générale

Introduction générale

En dépit de la croissance démographique rapide et du changement climatique qui menace les ressources terrestres et en eau de plusieurs régions du monde, doit être produire suffisamment de nourriture pour tous les habitants de la planète. Dans ce cadre, le quinoa est une pseudo-céréale considérée comme une culture alternative majeure pour répondre aux pénuries alimentaires de ce siècle (**Touati I., 2018**).

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Est une pseudocéréale originaire des régions andines d'Amérique du Sud, cette plante peut s'adapter aux conditions défavorables, ce qui lui permet de résister à la sécheresse, la salinité, Acidité du sol et au froid, aussi peut être cultivé à haute altitude dans les régions montagneuses (**Repo-Carrasco-Valencia R. et al., 2009**). En conséquence, le quinoa connaît par sa valeur nutritionnelle supérieure de ces graines par rapport aux céréales conventionnelles, notamment à cause de leur teneur élevée en protéines, mais aussi de ses effets bénéfiques probables sur la santé, a cette particularité de quinoa suscite alors un intérêt croissant économique et nutritionnelle dans le monde (**Herbillon M., 2015**).

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. Il contient 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, et dans ce cas offre une alternative alimentaire précieuse pour les sujets souffrant de la maladie céliaque (**Herbillon M., 2015**).

Cette plante peut être divisé en cinq groupes des variétés répartis par zones d'adaptation écologique tels que: Quinoas des vallées arides et des vallées humides, Quinoa des déserts de sel, Quinoas du niveau de la mer...etc (**Cercam, 2014**). Ces variétés sont-elles différentes dans ses propriétés morphologique et physiologique? Sont-elles différentes dans ses valeurs nutritives?

Pour répondre à ces questions, on a choisi quatre variétés (*Amarilla marangani*, *Amarilla sacaca*, *Blanca de junin* et *Salcedo inia*) pour faire une étude comparative, les quatre variétés sont cultivés dans la région d'Oued Righ "Djamaa".

Introduction générale

Notre objectif de travail vise à comparé ces variétés de quinoa en termes de propriétés morphologiques, physiologique biochimiques, agronomiques et antioxydants.

Notre étude comporte deux parties:

La première partie concerne une étude bibliographique, comportant deux chapitres:

Chapitres I: Généralités sur le quinoa.

Chapitres II: Etude biochimique de quinoa.

La deuxième partie on s'intéresse à l'étude expérimentale comportant deux chapitres:

Chapitres III: Matériel et Méthodes.

Chapitre IV: Résultats et Discussion.

Conclusion et résumés

Annexes

Première partie

Analyse bibliographique

Chapitre I

Généralités sur le quinoa

Introduction

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est une plante herbacée annuelle de la famille des Amaranthaceae (**Herbillon M., 2015**), originaire des Andes de l'Amérique du Sud, elle a été domestiquée par les peuples autochtones pendant des milliers d'années (**Bazile D., 2013**). Elle est actuellement considérée comme une «Pseudocéréale» puisqu'elle appartient à la famille des Chénopodiacées et non à celle des Poacées (**Herbillon M., 2015**).

C'est une plante caractérisée par sa bonne valeur nutritionnelle et surtout par sa résistance considérable aux conditions défavorables du climat tel que, la sécheresse, la salinité et au froid et peut être cultivé à haute altitude dans les régions montagneuses (**Maradini A. et al., 2015; Repo-Carrasco-Valencia R. et al., 2009; Valencia C., 2004**).

1. 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 XVI^e 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 XX^e 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**)

2. Répartition géographique

La plante de quinoa est une pseudo-céréale largement répandue géographiquement. La faculté d'adaptation de l'espèce est très grande puisqu'elle peut la cultiver depuis le niveau de la mer au Chili, jusqu'à plus de 4000 m d'altitude sur l'Altiplano boliviano-péruvien, sous des climats allant du froid aride jusqu'au tropical humide (**Touati I., 2018**).

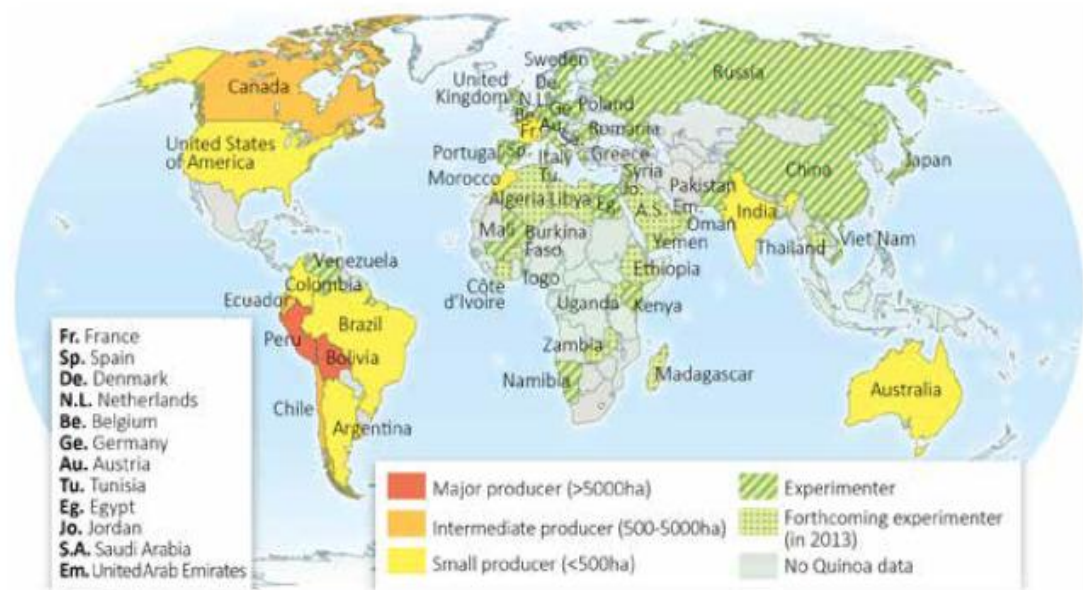


Figure 01: Répartition géographique de quinoa (FAO & CIRAD, 2015).

3. Importance économique de quinoa

En 1996, la FAO a classé le quinoa parmi les cultures prometteuses pour l'humanité, en raison non seulement de ses importantes propriétés bénéfiques et de ses nombreuses utilisations, mais aussi du potentiel qu'elle offre pour résoudre les graves problèmes de malnutrition humaine. Il est idéal pour l'organisme et pour la diversité de ses modes d'utilisations traditionnelles, non traditionnelles et pour des innovations industrielles. Face à la nécessité d'identifier d'autres formes de production d'aliments de qualité au niveau mondial, le quinoa est une culture à fort potentiel, tant par ses qualités nutritionnelles que par sa versatilité agronomique, pour contribuer à la sécurité alimentaire de diverses régions de la planète. C'est le cas en particulier des pays où les populations n'ont pas accès à des sources de protéines et/ou dont la production alimentaire est limitée, et qui se voient ainsi dans l'obligation d'avoir recours à des importations ou à l'aide alimentaire. Le quinoa peut fournir à ces pays la possibilité de subvenir eux-mêmes à leurs besoins alimentaires. Il présente un grand intérêt pour différentes régions du globe en raison de son extraordinaire capacité d'adaptation à des conditions écologiques extrêmes (Bioversity International et FAO, 2013).

4. Classification de quinoa

Le quinoa « *Chenopodium quinoa* » de la famille des Chénopodiacées, qui comprend également l'épinard ou la betterave. Elle appartient au genre *Chenopodium* qui contient environ 250 espèces. On connaît environ 1800 variétés de quinoa. Elle est souvent définie comme une « pseudocéréale » (Foucault A., 2014).

Il existe deux classifications de quinoa:

Tableau 01: Classification scientifique de quinoa (Herbillon M., 2015).



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

Figure 02: Panicule de quinoa (Djedei S. et Merabet R., 2018)

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).

5. Ecotypes

Ecotype signifie toutes les variétés d'un type particulier développé des adaptations morphologiques et physiologiques avec l'écosystème dans lequel ils vivent, sans modification de leur matériel génétique, qui sont transmis à leurs descendants. (**Herbillon M., 2015**)

Le quinoa est cultivé en Amérique du Sud (en particulier dans et autour des Andes), à des latitudes de 4°N en Colombie jusqu'à 40°S au Chili, à partir du niveau de la mer jusqu'à une altitude de 4000 mètres.

Environ 3000 variétés de quinoa sauvages ou cultivées ont pu être regroupées en cinq catégories ou écotypes, chaque groupe de quinoa présente des caractéristiques spécifiques du fait des différences dans les conditions de milieux et dans les pratiques agricoles associées (**Herbillon M., 2015 ; Bazile D., 2015**).

5.1. Le quinoa des zones situées au niveau de la mer

Il provient du Chili, à une latitude de 30 °S sud. Les plantes poussent entre le niveau de la mer et 500 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le quinoa pousse sous une pluviométrie annuelle allant de 400mm à plus de 1500-2000 mm .Sa longueur est comprise entre 1 et 1,4 mètre, ils sont dépourvus de branches et s'épanouissent pendant les jours les plus longs. Ils ont des petites graines, plates, jaunes, transparentes et riches en saponines (**Herbillon M., 2015 ; Bazile D., 2015**).

5.2. Le quinoa des vallées arides et des vallées humides

Les quinoas des vallées inter-andines (entre 2000 et 3500 mètres d'altitudes), souvent considérés comme un groupe à part entière, se divisent pourtant entre les quinoas des vallées arides (par exemple, Junín) et ceux des vallées humides (par exemple, Cajamarca), ces quinoas poussent avec des précipitations pouvant atteindre ou dépasser 800 à 1000 mm par an. Ils sont adaptés à des températures comprises entre 10 et 18°C et ne résistent pas au gel. La plupart sont ramifiées et produisent des grains de petite taille, contenant peu de saponines (**Herbillon M., 2015 ; Bazile D., 2015**).

5.3. Le quinoa des zones tropicales

Les quinoas yungas (et les vallées forestières) en Bolivie poussent dans des conditions subtropicales à des altitudes comprises entre 1500 et 2000 mètres. Leur adaptation aux climats subtropicaux leur permet de tolérer de fortes précipitations mais aussi de fortes chaleurs (températures moyennes annuelles supérieures à 20 C°).

maturité, les plantes ont une tige orange distincte, les graines sont petites, blanches ou oranges (**Herbillon M.,2015 ; Bazile D., 2015**).

5.4. Le quinoa des « Salares »

L'écotype «salares» est distribué dans le nord du Chili et du sud de la Bolivie, avec des altitudes supérieures à 3 000 m, les précipitations fluctuant entre 100 et 200 mm. Les plantes peuvent résister à des conditions extrêmes : des températures de -8°C, des sols alcalins jusqu'à un pH de 8 et une haute salinité. Les graines de ces quinoas sont grosses avec une haute teneur en saponines (**Enrique A. et al., 2015 ; Herbillon M., 2015**).

5.5. Le quinoa des hauts plateaux

Il provient des régions montagneuses autour du Lac Titicaca (3800m d'altitude en moyenne) où les conditions de culture sont variables.

Les précipitations faibles (400 à 600 mm par an) et de températures favorables aux abords du Lac Titicaca, d'où sont originaires les variétés.

Les plantes sont de petite taille (entre 0,5 et 1,5 mètre de hauteur) avec des tiges droites et présentent une courte période de croissance (**Herbillon M., 2015 ; Bazile D., 2015**).

6. Description botanique

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) appartient au dicotylédone herbacée, autogame, annuelle, elle peut atteindre sa hauteur jusqu'à 3m. Il est considéré comme une pseudo-céréale (**Carmen Del C. et al., 2008; Gordillo-Bastidas E. et al., 2016**).



Figure 03 : Culture de Quinoa en Bolivie (Touati I., 2018).

6.1. Appareil végétatif:

6.1.1. 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 rapport étroit avec celle de la partie aérienne, par exemple des plantes atteignant 1,70 m de hauteur ont développé des racines de 1,50 m, et d'autres de 90 cm de hauteur avec une racine de 80 cm (**Carmen Del C. et al., 2008; Herbillon M., 2015**).



Figure 04: Racine de quinoa (Djedei S. et Merabet R., 2019).

6.1.2. La tige:

La tige est cylindrique, Son diamètre varie entre 3 et 5 cm et sa hauteur entre 50 cm et 2 m, selon les variétés et les conditions de culture. Elle peut être unique ou bien présenter de nombreuses ramifications (**Herbillon M., 2015 ; Gordillo-Bastidas E. et al., 2016**).

Elle contient une moelle de texture tendre chez les jeunes plantes, devenant spongieuse et creuse à maturité, avec une écorce ferme et compacte

La couleur de la tige est également très variable. Elle peut être blanche ou jaune ou marron clair à rouge. (**Gordillo-Bastidas E. et al., 2016**).

6.1.3. Les ramifications:

Les branches sortent de l'aisselle de chaque feuille sur la tige. Leur longueur varie selon la variété et les conditions environnementales (**Herbillon M., 2015**).

Selon le développement de la ramification, on trouve: des génotypes très ramifiés (quinoa des vallées), et parfois même à partir de la base (quinoa du niveau de la mer) tandis que d'autre présentent une tige unique (quinoa des hautes plaines) (**Carmen Del C. et al., 2008**).

6.1.4. 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 05: Feuille du quinoa (Touati I., 2018).

6.2. Les organes floraux:

6.2.1. Les panicules:

Le quinoa présente des fleurs disposées en inflorescences appelés panicules, qui mesurent de 5 à 30 cm de diamètre et de 15 à 70 cm de longueur. La panicule est constituée de petites fleurs produisant une graine par fleur (Yazar A. et al., 2014; Bhargava A. et al., 2006).

Il a été décrit deux types des panicules chez le quinoa :

1. Panicule Glomérulaire: les glomérules (courtes ramifications portant un groupe de fleurs) sont insérés sur les axes tertiaires prenant naissance à partir des axes secondaires.
2. Panicule amaranthiforme: les glomérules sont directement insérés sur des axes secondaires (Herbillon M., 2015).



Figure 06: Panicule de quinoa (Djedei S. et Merabet R. 2018).

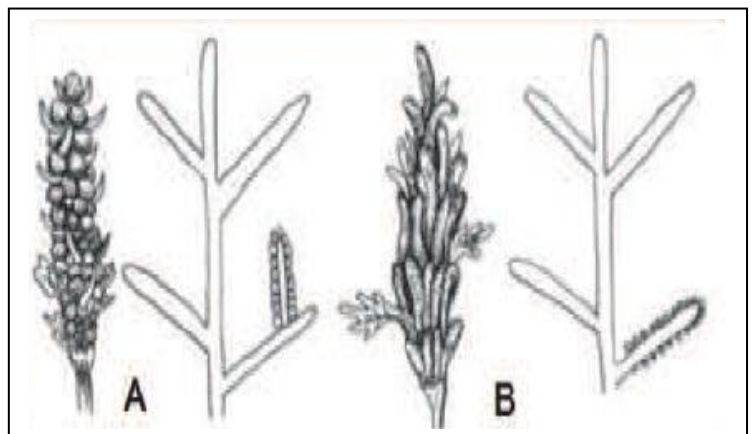


Figure 07: Les formes d'inflorescences du quinoa A) glomérulaire; B) amaranthiforme (Herbillon M., 2015).

6.2.2. Les fleurs:

Le quinoa ont des fleurs incomplètes, ils n'ont pas de pétales (apétales), très petites (3 mm au maximum) (**Carmen Del C. et al., 2008**).

Une caractéristique importante du quinoa est la présence de fleurs hermaphrodites et de fleurs femelles unisexuées. les hermaphrodites localisées à l'extrémité proximale, sont constituées 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, tandis que La fleur femelle se compose seulement d'un périgone et d'un gynécée (**Herbillon M., 2015; Bhargava A. et al., 2006**).

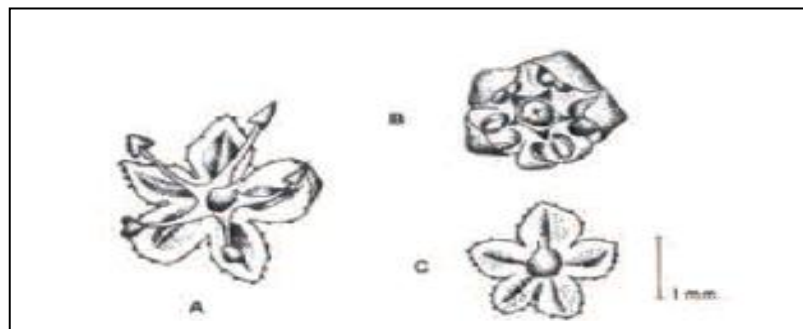


Figure 08: Fleurs hermaphrodites et femelles de quinoa.

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

6.2.3. Les graines (les fruits):

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 qui pouvant atteindre jusqu'à 2,66 mm de diamètre selon la variété (**FAO, 2011; Bhargava A. et al., 2006**). Le péricarpe contient de la saponine qui donnent le goût amer caractéristique du quinoa, chez certaines variétés (formes cultivées), le saponine séparé facilement, tandis que dans d'autres (formes sauvages), il reste difficile à éliminer (**Valencia-Chamorro S A., 2004; Carmen Del C. et al., 2008**).

la couleur des graines sont variables du blanc, jaune, rouge au noir, selon les espèces (**Yazar A. et al., 2014**). Il existe quatre formes de graines: conique, cylindrique, ellipsoïdale et Lenticulaire (**Bioversity International et FAO, 2013**).

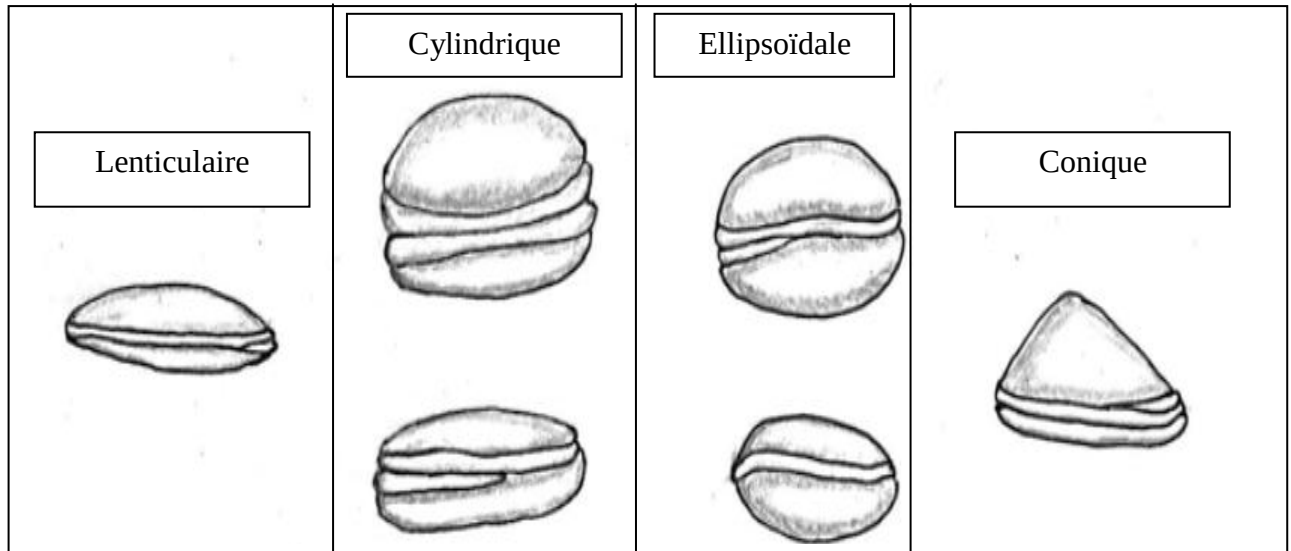


Figure 09: Forme des grains (Bioversity International et FAO, 2013).

7. Caractères physiologique

De par sa grande variabilité génétique, il présente des variétés de jours courts, de jours longs ou indifférents à la photopériode ; ainsi le quinoa s'adapte facilement à des conditions de luminosités très différentes (Lebonvallet S., 2008).

Le quinoa présente des facultés d'adaptation des conditions défavorables du milieu, notamment la tolérance au froid, à la sécheresse et à la salinité.

Résistance à la sécheresse:

A fin 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 phénologique 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).

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**).

Tableau 02 : Mécanismes de résistance de quinoa au froid (Del Castillo C. et *al.*, 2008).

Types de mécanismes	Caractéristiques
Morphologiques	Chute de feuilles. Réduction de la taille des feuilles. Réduction de la taille de la plante.
Physiologiques	Mouvements des feuilles et de la tige. Osmorégulation de la formation de glace dans l'apoplaste et résistance au sous refroidissement.
Anatomiques	Stomates moins nombreux et plus grands.
Phénologiques	Phases phénologiques plus tolérantes au froid, prolongation ou raccourcissement des phases phénologiques
Biochimiques	Accumulation de métabolites (sucres solubles, proline et Protéines).

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).

8. Phénologie de quinoa :

Selon Mujica et Canahua (1989), le cycle de croissance du quinoa peut être différencié en 12 phases, les durées indiquées de chaque phase sont des nombres des jours moyens. Les différents stades sont illustrés en Figure10.

- **Stade Levée**

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

- **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 cotylédonaire, lancéolées. Elles sont très sensibles aux attaques d'insectes.

- **Quatre feuilles vraies**

La deuxième paire de feuilles vraies se déploie 25 à 30 jours après le semis. Les feuilles cotylédonaire 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.

- **Six feuilles vraies**

L'apparition de la troisième paire de feuilles vraies se produit 35 à 45 jours après le semis, alors que les feuilles cotylédonaire commencent à se flétrir.

- **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.

- **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.

- **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.

- **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.

- **Floraison**

L'ouverture de 50% des fleurs de l'inflorescence se produit aux environs du 90ème ou 100ème jour. 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. Les feuilles inférieures, flétries, tombent.

- **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.

- **Grain pâteux**

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

- **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 S., 2008).



Figure 10: Phénologie de quinoa (Rodriguez Calle J., 2006).

8.1. Phénologie des quelques variétés de quinoa

Tableau 03: Phénologie d' *Amarilla Marangani* (Vidal A. et al., 2013).

Phénologie d' <i>Amarilla Marangani</i>							
Phase Végétative					Phase de Reproduction		
							
Germination	Urgence des semis	Deux vraies feuilles	Quatre vraies feuilles	Six vraies feuilles	Branche	Début de panicule et floraison	Maturité physiologique
Jours jusqu'à l'apparition des plantules à la surface du sol:6 jours							
Jours avant le début de la panicule: 95 jours							
Jours avant la floraison: 135 jours							
Jours à maturité physiologique: 190 jours							

Tableau 04: Phénologie d' *Amarilla Sacaca* (Vidal A. et al., 2013).

Phénologie d' <i>Amarilla Sacaca</i>							
Phase Végétative					Phase de Reproduction		
							
Germination	Urgence des semis	Deux vraies feuilles	Quatre vraies feuilles	Six vraies feuilles	Branche	Début de panicule et floraison	Maturité physiologique
Jours jusqu'à l'apparition des plantules à la surface du sol: 7 jours							
Jours avant le début de la panicule: 85 jours							
Jours avant la floraison: 125 jours							
Jours à maturité physiologique: 160 jours							

Tableau 05: Phénologie de *Blanca de junin* (Vidal A. et al., 2013).

Phénologie de <i>Blanca de junin</i>							
Phase Végétative					Phase de Reproduction		
							
Germination	Urgence des semis	Deux vraies feuilles	Quatre vraies feuilles	Six vraies feuilles	Branche	Début de panicule et floraison	Maturité physiologique
Jours jusqu'à l'apparition des plantules à la surface du sol: 7 jours							
Jours avant le début de la panicule: 75 jours							
Jours avant la floraison: 130 jours							
Jours à maturité physiologique: 170 jours							

Tableau 06: Phénologie de *Salcedo Inia* (Vidal A. et al., 2013).

Phénologie de <i>Salcedo Inia</i>							
Phase Végétative					Phase de Reproduction		
							
Germination	Urgence des semis	Deux vraies feuilles	Quatre vraies feuilles	Six vraies feuilles	Branche	Début de panicule et floraison	Maturité physiologique
Jours jusqu'à l'apparition des plantules à la surface du sol:7 jours							
Jours avant le début de la panicule: 57 jours							
Jours avant la floraison: 95 jours							
Jours à maturité physiologique: 150 jours							

9. Besoin écologique de quinoa

- **Besoins climatique :**

Le quinoa est une culture peut pousser à des températures allant de -4 à 38°C et la température optimale est de 15 à 20°C (**Pedersen S F. et Tingvoll B., 2013**). Mais au stade floraison; la plante est très sensible aux fortes températures celles supérieures à 35°C peuvent être conduire à la dormance et la stérilité du pollen (**Cercam, 2014**).

Selon la zone agro-écologique et le génotype aux quels la plante appartient, le Précipitation varie de 250 mm dans zone des salines de Bolivie à 1500 mm dans les vallées inter andines. Bien que le quinoa fasse preuve d'une forte résistance aux périodes de sécheresse, elle exige une .humidité suffisante au début de la culture (**FAO, 1994**).

Alors les autorités boliviennes placent le quinoa parmi les 21 cultures les plus résistantes au changement climatique. (**Pedersen S F. et Tingvoll B., 2013**)

- **Besoins terrestre:**

La culture de la plante de quinoa nécessite un sol sableux ou un loam qui peut retenir une quantité suffisante d'humidité (**Line B., 2016 ; Valencia-Chamorro S A., 2004**) et riches en matières organiques et en pente modérée. Dans le même temps, le quinoa a bien adapté pour se développer dans des sols et des conditions climatiques défavorables. Il a été cultivé sur divers types de sols, y compris des sols marginaux très pauvres, salins ou mal drainés, avec un large intervalle de pH allant de 4,8 à 8,5 dans les plaines salées boliviennes (**Yazar A. et Ince Kaya A., 2004**). De plus le quinoa tolère le déficit hydrique, le gel (-1 à 0°C) et s'adapte bien aux hautes altitudes de 2000 à 3000 mètres (**Cercam, 2014**).

Pour la germination des graines de quinoa, La température optimale du sol doit être de 8 à 10 ° C et la profondeur de semis optimale de 1 à 2 cm. cette plante répond bien aux engrais azotés, les doses allant à 150 mg / kg de sol pour accroître les rendements en grains de quinoa (**Yazar A. et Ince Kaya A., 2004**).

10. Les maladies et ravageurs de quinoa

Le quinoa est infecté par une variété d'agents pathogènes et d'insectes nuisibles qui l'attaquent et lui causent d'importants dégâts. De plus les oiseaux s'attaquent au quinoa, principalement au stade de l'inflorescence. Mais ceux-ci causent des dommages mineurs car le quinoa est doté d'une défense chimique sous la forme de saponines qui confèrent une résistance aux insectes nuisibles et aux oiseaux.

Champignons		
<i>Sclerotium rolfsii</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Phoma exigua</i>
Maladie: Sclerotiniose	Maladie: La fonte des semis	Maladie: Phoma
Les symptômes : La pourriture des semences (Fonte des semis).(Herbillon M., 2015)	Les symptôme: Défaillance de la germination des graines. (Solveig D.et al., 2006)	Les symptômes: Pourriture de la tige sous la forme de taches brunes, en fin la tige se plie vers le bas et a tendance à se casser facilement. (Jinhui L.et al., 2017)
<i>Peronospora farinosa</i>	<i>Fusarium spp</i>	<i>Ascochyta hyalospora</i>
Maladie: Mildiou	Maladie: Fusariose (Herbillon M., 2015)	Maladie: Les taches foliaires
Les symptômes : Les lésions chlorotiques sur la face supérieure des feuilles, avec un mycélium blanc ou violet sur la face inférieure. (Jancurova M. et al., 2009)	Les symptômes: La pourriture des racines et le flétrissement. (Solveig D.et al.,2006)	Les symptômes : Des taches circulaires de couleur claire (0,5–1,0 cm) avec un bord brun clair. Les taches finissent par devenir nécrotiques et des pycnides noires peuvent être vues à l'œil nu. (Jinhui L.et al., 2017)
		
(Testen A. et al., 2014)		

Figure 11: Les champignons qui affectant le quinoa

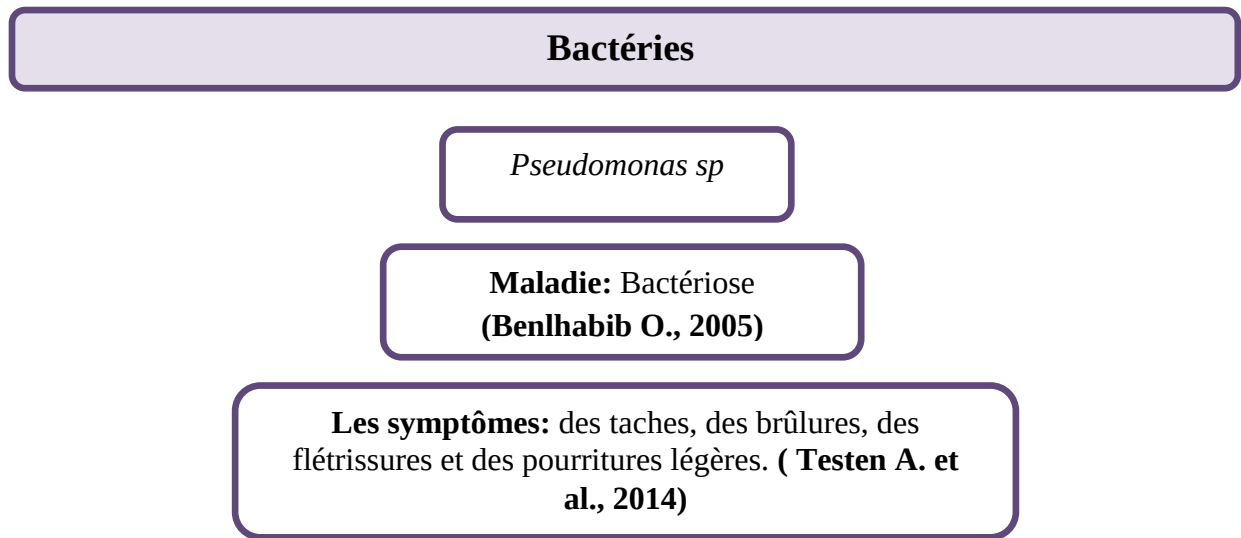


Figure 12 : Les bactéries qui affectant le quinoa



Figure 13: Les nématodes qui affectant le quinoa

Insectes

Le complexe de ticona (*Copitarsia turbata*,
Feltia sp, *Heliothis titicaquensis*,
Spodoptera sp)

Quinoa moth(*Eurysacca*
melanocampta)

Les symptômes: Les larves consomment et détruisent les feuilles, les fleurs et les grains dans les panicules. (**FAO, 2011**)



Larve du complexe de
ticona



Larve de Quinoa moth

Lygus Bugs(*Lygus* spp)

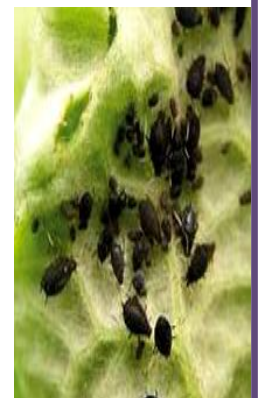
Pucerons

Les symptômes:
Les punaises *Lygus* endommagent les
fleurs et les graines en développement.



(Julianne A., 2017)

Les symptômes:
Les pucerons se trouvent principalement
sur le dessous de feuilles. Se déformer et
éventuellement devenir nécrotique.



(Julianne A., 2017)

Figure 14: Les insectes qui affectant le quinoa

11. Utilisations

Les principales utilisations du quinoa peuvent être résumées comme suit :

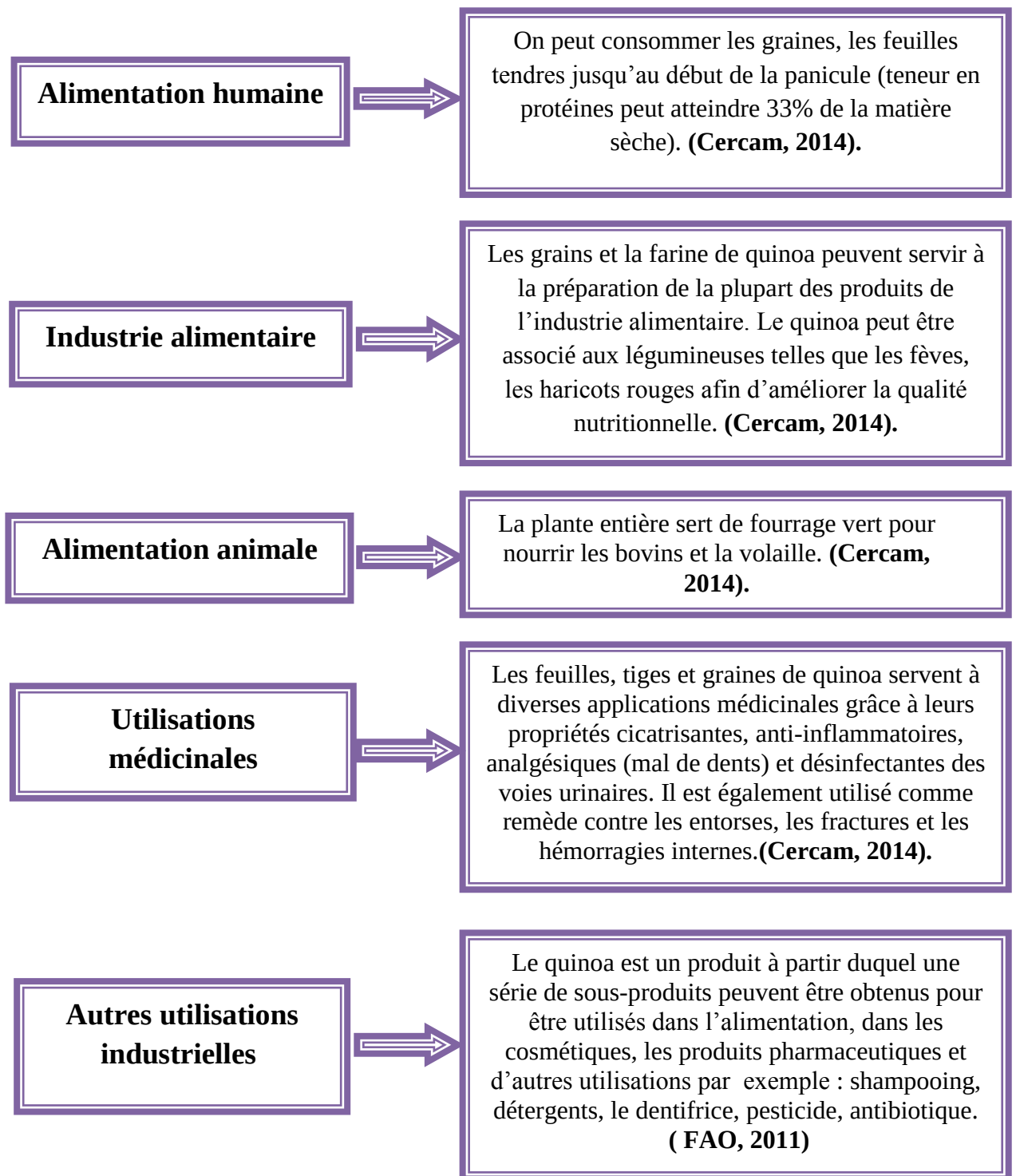


Figure 15 : Les utilisations de quinoa

12. Intérêt mondial pour la culture du quinoa

L'excellence alimentaire du quinoa est connue depuis l'Antiquité dans l'empire Inca. De nos jours, le quinoa a été identifié pour ses avantages nutritionnels dans le monde entier, pour sa teneur en protéines, en minéraux et en vitamines, et son importance a été renforcée non seulement dans les pays en développement, mais également dans les pays développés. On a mis au point diverses variétés de quinoa tolérant la salinité, la sécheresse ou le gel, des variétés qui sont plus courtes et donc plus aisées à récolter, qui ont des cycles végétatifs raccourcis et qui contiennent moins de saponine, ces propriétés qui ont augmenté la productivité et la qualité du quinoa et l'intérêt pour sa culture au niveau mondial (**Aabha D., 2015**).

Chapitre II

Les compositions biochimiques de quinoa

Introduction :

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Est une plante appartenant à la famille Amaranthaceae, 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 cœliaques **(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)**

1. Valeur nutritive

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

1.2. Carbohydrates

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

100 g de quinoa contiennent: 1,70 mg de glucose, 0,20 mg de fructose, 2,90 mg de saccharose et 1,40 mg de maltose. De plus, certaines études suggèrent que les polysaccharides de quinoa ont des propriétés antioxydants (**Gordillo Bastidas E. et al., 2016**).

1.3. 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.

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**).

1.4. Fibres

Les graines de quinoa contiennent entre 10 et 14% de fibres alimentaires totales qui sont particulièrement présentes dans l'embryon. Composées d'environ 80% de fibres insolubles et de 20% de fibres solubles, Les fibres insolubles se composent principalement d'acide galacturonique, de glucose, d'arabinose, de xylose et de galactose ; tandis que les fibres solubles contiennent surtout du glucose, de l'acide galacturonique et de l'arabinose.

Cette teneur en fibres totales est comparable à celle d'autres céréales, cependant, la composition des fibres du quinoa ressemble d'avantage à celle des fruits, légumes et légumineuses. (**Herbillon M., 2015**)

1.5. Vitamines

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

1.6. Les 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 (**Gordillo Bastidas E. et al., 2016**). Le quinoa possède une 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 Bastidas E. et al., 2016**).

2. Composés bioactifs dans le quinoa

2.1. Saponines (triterpénoïde glycosides)

Les saponines sont des composés glycosidiques se présentent en deux groupes. Selon la nature du fragment sapogénine, ils sont conjugués à des hexoses, des pentoses ou des acides uroniques. Les sapogénines sont des stéroïdes (C27) ou des triterpénoïdes (C30) (**Jancurová M. et al., 2009**), ils sont les principaux facteurs antinutritionnels présents dans les couches extérieures du grain (épisperme) de quinoa. La teneur en saponine dans les graines des génotypes sucrés varie de 0,2 à 0,4 g / kg de matière sèche et dans les génotypes amers de 4,7 à 11,3 g / kg de matière sèche.

La teneur en saponine est affectée par le déficit sol-eau, un déficit hydrique élevé réduisant le contenu en saponine. La teneur en saponine diffère également selon les stades de croissance, une faible saponine est trouvée dans le stade de ramification et élevée dans le stade de floraison (**Bhargava A., 2005**).

2.2. Acide phytique

L'acide phytique est un acide cyclique saturé et constitue la principale forme de stockage du phosphore dans de nombreux tissus végétaux. Si la teneur en acide phytique est élevée dans les aliments, cet acide lie les minéraux, les rendant ainsi indisponibles pour le métabolisme. Mais, si la teneur en acide phytique est faible, il pourrait agir en tant qu'antioxydant: chélate divers métaux (par exemple, supprime les réactions redox catalysées par le Fe). (**Gordillo Bastidas E. et al., 2016**).

L'acide phytique n'est pas présent uniquement dans les couches extérieures du grain de quinoa, comme dans le blé et l'orge, mais il est également distribué uniformément dans

l'endosperme (**Maradini A. et al, 2015**). Il a été rapporté que la concentration moyenne (en valeur) en acide phytique était de 1,18 g / 100 g chez cinq variétés de quinoa (**Jancurová M. et al., 2009**).

2.3. Les polyphénols

Les polyphénols sont des produits chimiques organiques naturels avec de grands multiples d'unités structurales de phénol. Ils sont généralement trouvés dans les aliments végétaux et représentent les antioxydants les plus abondants trouvés dans l'alimentation humaine. Le quinoa présente au moins 23 composés phénoliques. Le total phénolique contenu (mg / kg de quinoa) est de 466.99, 634.66 et 682.05 pour le blanc, le rouge et quinoa noir, respectivement. Les phénols les plus abondants sont l'acide férulique et la quercétine. Le quinoa contient plus de phénols que l'ensemble des céréales, y compris le blé, l'orge, le millet, le riz et le sarrasin (**Gordillo Bastidas E. et al., 2016**).

La plupart des composés phénoliques de quinoa présentent une activité antioxydant et la capacité antioxydant totale est encore augmentée par des composés non-phénoliques. L'intérêt pour les composés phénoliques n'est pas seulement dû à leurs propriétés antioxydant mais aussi puisqu'ils présentent des effets bénéfiques pour la santé (**Lutz M. et Bascuñán-Godoy L., 2017**).

2.4. Les tanins

Les tanins font partie du groupe des polyphénols, substances naturelles plus nombreuses et plus largement réparties dans le règne végétal. Ils présentent, comme effet biologique indésirable, la possibilité de former des complexes avec des protéines et d'autres macromolécules, telles que l'amidon, par exemple, réduisant ainsi la valeur nutritionnelle des aliments.

Les tanins sont présents en petites quantités dans les graines de quinoa (0,53%), nettement inférieurs à ceux des grains de riz (1,3%) et encore réduits après nettoyage et rinçage à l'eau. (**Maradini A. et al, 2015**).

2.5. Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments organiques présents dans les chloroplastes et les chromoplastes de plantes. La fonction des caroténoïdes dans les plantes est de protéger la chlorophylle des dommages photographiques. Chez l'homme, ils présentent une activité antioxydant. (**Gordillo Bastidas E. et al., 2016**).

La teneur totale en caroténoïdes dans les graines de quinoa est en moyenne de 14,8 µg/g, avec des variations selon les cultivars. Les deux caroténoïdes prédominants dans la graine de quinoa sont la lutéine et la zéaxanthine, dans leurs formes trans, avec des teneurs moyennes de 9,45 µg/g et 0,47 µg/g, respectivement (**Herbillon M., 2015**).

Conclusion :

Le quinoa est une plante très intéressante en raison de ses caractéristiques nutritionnelles. A été reconnu comme un aliment complet en raison de la qualité de ses protéines, principalement de son excellent équilibre en acides aminés. Ce qui en fait une protéine plus complète que de nombreux légumes.

Le quinoa est une alternative attrayante et sans gluten disponible pour les patients coeliaques. Les graines contiennent une fraction d'huile très intéressante sur le plan nutritif puisqu'elle est riche en acides gras polyinsaturés, principalement l'acide linoléique (oméga-3) et l'acide α-linolénique (oméga-6), en proportions appropriées. Il est également riche en fer et en magnésium et fournit des fibres, de la vitamine E, du cuivre, du phosphore, du potassium et du zinc, ainsi que certaines vitamines B. En plus d'être une source importante de minéraux et de vitamines, le quinoa contient également des composés tels que les polyphénols qui présentent une activité antioxydant, aussi contient des Caroténoïdes qui responsables des couleurs des graines, il contient aussi de l'acide folique qui permet de lutter contre l'anémie.

Bien que certains facteurs antinutritionnels soient présents dans les grains de quinoa comme les saponines, ceux-ci peuvent être facilement être éliminées par lavage ou abrasion mécanique.

Deuxième partie

Etude expérimentale

Chapitre III

Matériel et méthodes

Ce travail a été réalisé dans la région de Djamaa, consiste principalement à une étude comparative de quatre variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), en terme de comportement morpho- physiologique, la composition biochimique et Activité antioxydant.

1. Présentation de site d'étude

1.1. Situation géographique de la région d'étude

La région de Djamaa est située au Sud-est de l'Algérie, à une distance de 600km d'Alger, de 120km de sa wilaya (El-Oued), de 170km au Sud de la wilaya de Biskra et de 50km de la Daira de Touggert. Elle couvre une superficie de 780km², la région de djamaa se trouve à une altitude de 51m. Les extrémités sont représentées à l'Ouest par la commune de Marrara, au Nord par la commune de Tendla, à l'Est par la commune de Rigueba et au Sud la commune de Sidi-Amrane (**Ahmidatou I., 2012**).

1.2. Situation géographique de la station d'étude (ITDAS d'El-Arfiane)

La station d'ITDAS d'El-Arfiane est une exploitation coloniale qui a été créée en 1918, située au centre de la vallée de l'Oued Righ, Daira de Djamaa, Wilaya d'El Oued, sur altitude de plus de 25 m, une longitude de 6° Est et une latitude de 33° 37' Nord, cette station couvre une superficie de 16ha, elle comporte un forage avec un débit total de 25 l/s. Le milieu est caractérisé par un climat aride et du sol sableux (**Bendaoud H., 2012**).



Figure 16: Présentation satellitaire de Djamaa (google earth).



Figure17: Présentation satellitaire de la station ITDAS d'El-Arfiane (google earth).

1.3. Caractéristiques climatiques de site d'étude

La Daïra de Djamaa appartient administrativement à la wilaya d'El-oued, mais sur le plan agronomique et hydrogéologique, elle appartient à Oued Righ.

En effet, en absence d'une station météorologique dans la région d'étude, les données climatiques utilisées sont celles de la station météorologique de la région de Touggourt, comme une région inféodé à Oued Righ et comme elle est plus proche de Djamaa (Ahmidatou I., 2012).

Tableau 07: Données climatiques de la région de Touggourt, (2017-2018) (anonyme 01)

Paramètres	Temperature (°C)			Humidités (%)	Précipitations (mm)	Vents (m/s)
	M	M	(M + m)/2			
Janvier	19.2	6	12.6	53.6	0	10.8
Février	18.1	6.8	12.45	57	9.65	9.9
Mars	24.7	11.2	17.95	39.5	5.08	17
Avril	28.9	14.9	21.9	37.7	2.03	12.4
Mai	32.4	18.9	25.65	41.1	7.62	15.4
Juin	37.2	23.4	30.3	33.7	0	12.4
Juillet	45.1	29.5	37.3	24.5	0	12.4
Aout	38	25.7	31.85	41.9	2.03	10.9
Septembre	36.9	23.4	30.15	40.6	5.08	11.2
Octobre	28.8	16.3	22.55	46	1.02	11.6
Novembre	22.6	9.8	16.2	55.5	0.51	11
Décembre	19.1	5.5	12.3	60.8	0	7.4
Moyenne	29.25	15.95	22.6	44.32	2.75	11.86

2. Matériel végétal utilisé

Le matériel végétal utilisé est constitué de quatre variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) (*Amarilla marangani*; *Amarilla sacaca*; *Blanca de junín* et *Salcedo inia*), les fiches techniques de ces variétés dans l'annexe (01) les semences de ces variétés a été fournies par l'ITDAS de djamaa wilaya d'El Oued.



Figure 18: Semences des quatre variétés de quinoa (Djedei S. et Merabet R., 2018).

3. Méthodes

3.1. Dispositif expérimental

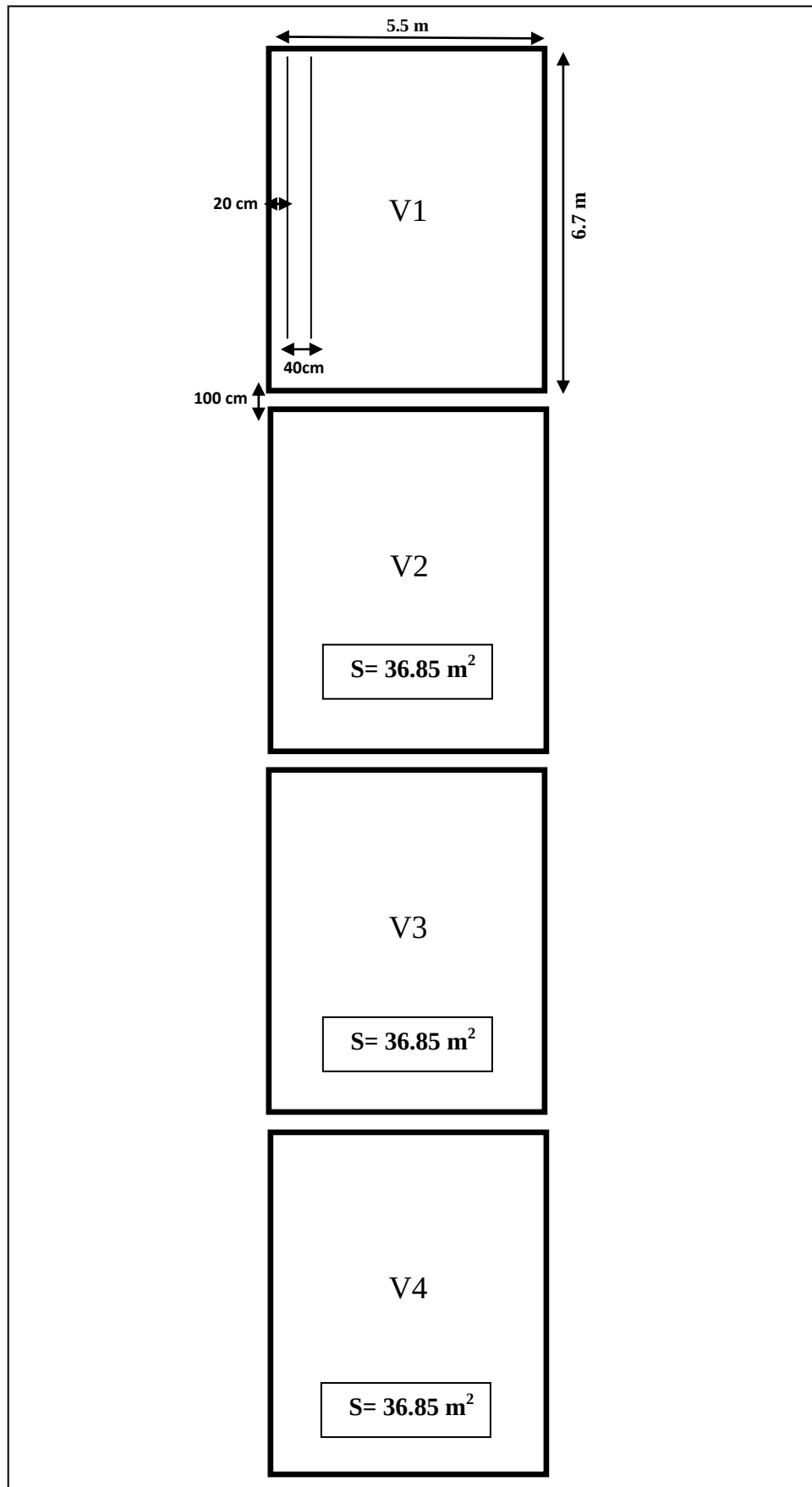
La culture a été réalisée au ferme d'ITDAS, dans des quatre parcelles organisées selon le plan suivant:

- Longueur de la parcelle est 6.7m;
- Largeur de la parcelle est 5.5m;
- La superficie de la parcelle élémentaire est de 36.85m²;
- L'espacement entre deux parcelles est 100cm;
- Les graines sont placées dans des lignes;
- Le nombre de ligne dans chaque parcelles est 17 lignes;

- L'espacement entre la limites de la parcelle et première ligne est de 20cm;
- L'espacement entre deux lignes est de 40cm.



Figure 19: Dispositif expérimental (Djedei S. et Merabet R., 2018).

**Figure 20:** Dispositif expérimental

3.2. Mode de culture de quinoa

3.2.1. Préparation de sol

Le sol est labouré superficiellement et manuellement. La Fertilisation se fait par l'ajout de matières organiques puis on a fait l'homogénéité des matières organiques avec le sol sableux.



Figure 21: Le labour du sol (Djedei S. et Merabet R., 2018).

3.2.2. Semis

Le semis est réalisé en 23 septembre 2018, il a été réalisé par un semoir manuel, à une profondeur de 2 à 3 cm. Les graines ont été placées dans des lignes.



Figure 22: Tracement des lignes et semis (original ITDAS, 2018).

3.2.3. Irrigation

L'irrigation est réalisée par submersion, Au début, il est effectué deux fois par semaine puis une seule fois par semaine.



Figure 23: Irrigation par la submersion (original ITDAS, 2018).

3.2.4. Récolte

La récolte est effectuée manuellement lorsque la plante atteint le stade de maturation physiologique, elle est réalisée au mois de mars 2019. Les indices de maturité sont la sécheresse de la plante et le jaunissement des feuilles.

3.2.5. Séchage

Le séchage est effectué pour les panicules, il a été dans une grande espace sous rayonnement de soleil.

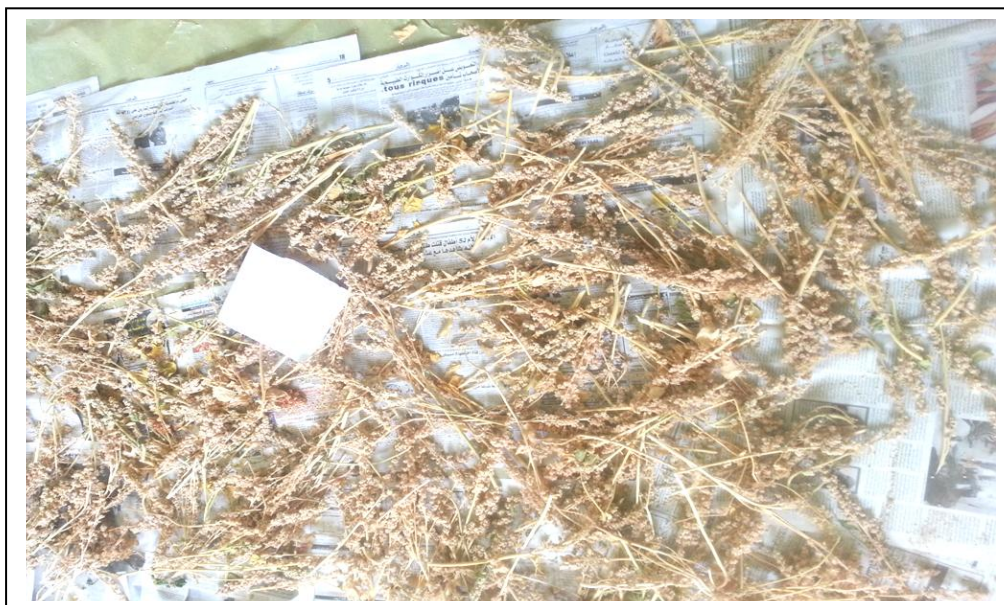


Figure 24: le séchage des panicules (Djedei S. et Merabet R., 2019).

3.2.6. Criblage

Après séchage des panicules, Criblage des graines est réalisé pour éliminer tout déchets tels que: rameaux, feuilles, poussières.....

Criblage des graines est effectué par étapes, Premièrement, les gros déchets sont éliminés à l'aide de tamis de grand diamètre pour faire passer les graines et petits déchets, puis Les plus petits déchets sont éliminés, et à Chaque fois on utilise des tamis de diamètre inférieur pour garder seulement les graines.

3.3. Paramètres étudiées

3.3.1. Analyse de sol

Tableau 08: Caractérisation physico-chimique du sol de site expérimentale
(Selon CRSTRA, 2019).

<i>Texture</i>	<i>PH eau rapport 1/ 2.5</i>	<i>CEeau rapport (mS /cm) 1/ 5</i>	<i>Carbone organique (%)</i>	<i>M.O (%)</i>	<i>pH</i>	<i>Conductivité (mS/cm)</i>	<i>H (%)</i>
<i>Sableuse</i>	<i>8.35</i>	<i>3.49</i>	<i>0.27</i>	<i>0.46</i>	<i>8.03</i>	<i>2.61</i>	<i>11</i>

3.3.2. Analyse d'eau d'irrigation:

Cette analyse vise a déterminé les caractéristiques physico-chimiques d'eau d'irrigation et la relation entre ces caractéristiques et le comportement des variétés de quinoa.

Tableau 09: Les paramètres physico-chimiques d'eau irrigation (Selon Algérienne des Eaux, 2019).

<i>Paramètres</i>	<i>Valeur</i>
<i>Température (°C)</i>	<i>15.9</i>
<i>Salinité (‰)</i>	<i>7.2</i>
<i>PH</i>	<i>7.65</i>
<i>Conductivité Électrique (CE) (µs/cm)</i>	<i>11220</i>
<i>Turbidité(NTU)</i>	<i>0.107</i>
<i>Ca⁺²(mg/l)</i>	<i>681.36</i>
<i>Mg⁺²(mg/l)</i>	<i>245.480</i>
<i>Cl⁻ (mg/l)</i>	<i>2545.525</i>

3.3.3. Test de germination

La détermination du pourcentage de germination est réalisée par l'imbibition de 20 graines de chaque variété dans l'eau distillée en condition normale pendant 96 h. Le pourcentage de germination est calculé selon la méthode de **Doran et Gunn (1986)** par la formule suivant:

$$G\% = 100 * (T/N)$$

G%: Pourcentage de germination

T: Nombre des graines germées.

N : Nombre total des graines mises à germer.

3.3.4. Paramètres morphologiques de quinoa

3.3.4.1. La longueur des plantes

Dans ce paramètre on a utilisé 10 plantes de chaque variété, et on a mesuré ses longueurs à l'aide d'une règle (par cm), la mesure est effectuée au stade Maturité physiologique.

3.3.4.2. Surface foliaire

Pour mesurer la Surface foliaire on a sélectionné 4 feuilles de moyen des tiges des plantes de chaque variété.

La surface foliaire est estimée par méthode de **Adjal (2006)**, qui consiste à:

- Placer la feuille sur du papier.
- Découper les contours de la feuille.
- Peser la partie représentante la feuille (**Pf**).
- Déterminer par pesée le poids (**Pp**) correspondant à une surface (**Sp**) connue d'un carré du même papier.
- Dédire la surface de la feuille **SF** par la formule suivante:

$$SF = (Pf \times Sp) / Pp$$

Surface foliaire est estimée à cm².

3.3.5. Paramètres physiologiques et biochimique de quinoa

3.3.5.1. Estimation de la biomasse fraîche et sèche des plantes

Dans ce paramètre on a choisi trois plants de chaque variété à même stade phénologique, puis on a séparé la plante en deux parties: partie racinaire et partie aérienne.

- pour les parties racinaires on a débarrassé les granules de sol.
- Pour estimer le poids frais des parties aériennes et parties racinaires on a pesé à l'état frais.

- Pour estimer le poids sec on a séché les parties aériennes et parties racinaires dans l'étuve à une température 105°C durée 24h.

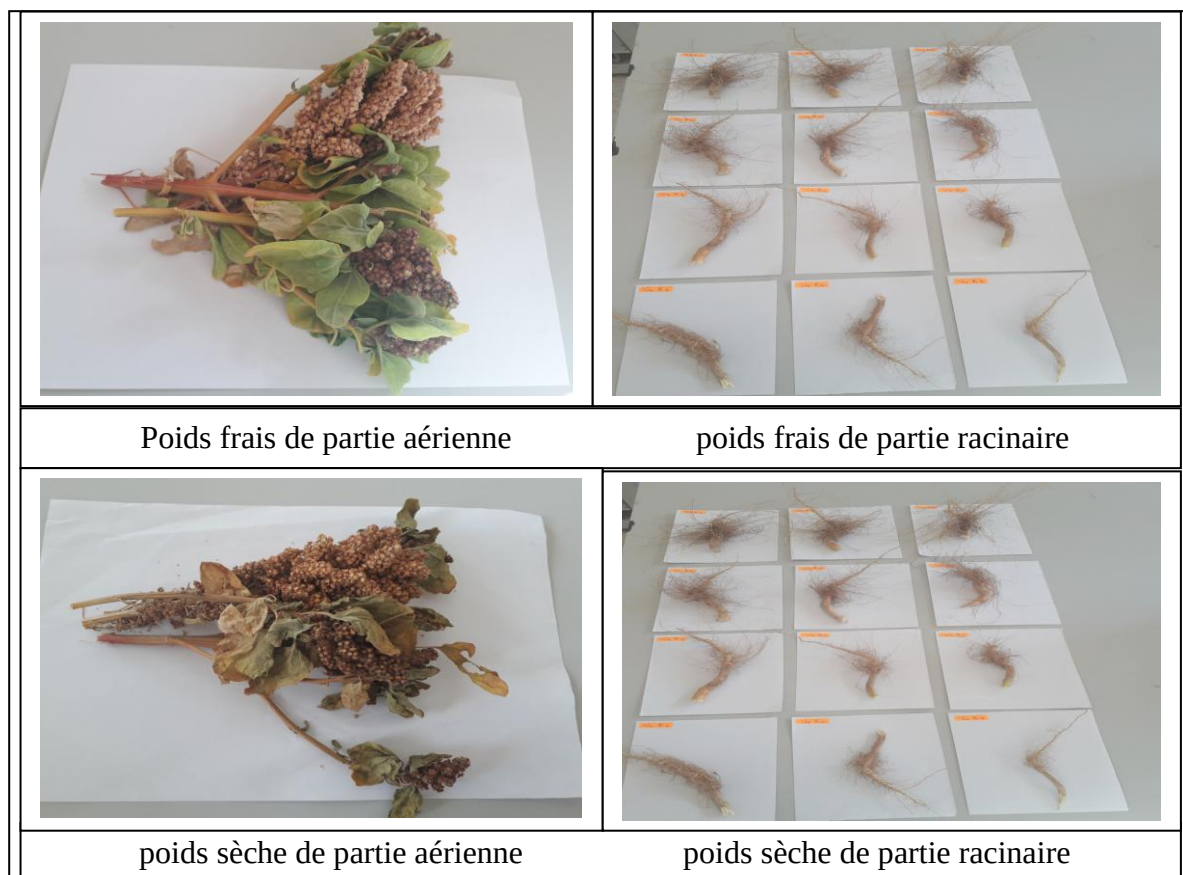


Figure 25: Le poids frais et sec des parties aériennes et racinaires (**Djedei S. et Merabet R., 2019**).

3.3.5.2. Paramètres physiologiques biochimique des feuilles

3.3.5.2.1. Dosage des pigments photosynthétiques

Les pigments photosynthétiques sont des composés bioactifs. Ils sont responsable de capter l'énergie solaire pour effectuer la photosynthèse, ils comprennent la chlorophylle a, b et les caroténoïdes (**Anonyme 02**).

Le dosage des pigments photosynthétiques est réalisé selon la méthode de **Mazliak (1979)**, qui suit les étapes suivantes:

- Peser 100mg des feuilles vert Fraîche de chaque échantillon.
- Les broyer dans un mortier avec pince de carbonates de calcium (CaCO_3) pour neutraliser l'acidité vacuolaire et on ajoute 12.5ml d'acétone (80%) ensuite faire la filtration.
- Lecture des densités optiques (D.O) des extraits par appareil spectrophotomètre sur les longueurs d'ondes suivants: 645nm-663nm 640nm.

L'estimation des teneurs des chlorophylles (a), (b) et chlorophylle (a+b), caroténoïde, selon les formules suivante:

$$\text{Chl (a)} = 12 \text{ D.O 663} - 2.67 \text{ D.O}$$

$$\text{Chl (b)} = 22.5 \text{ D.O 645} - 4.68 \text{ D.O}$$

$$\text{Chl (a+b)} = 8.02 \text{ D.O 663} + 20.2 \text{ D.O 645}$$

$$\text{Caroténoïde} = 5 (\text{D.O 640}) - [(\text{chl (a)} \times 3.12) - (\text{chl (b)} \times 130.3)]$$

3.3.5.2.2. Dosage des glucides solubles:

Le dosage des glucides est réalisé selon la méthode de **Dubois (1956)**. Le principe de la réaction est basé sur la coloration des produits de dégradation des oses neutres par l'acide sulfurique concentré, transforme à chaud les glucides en dérivés sulfuriques se colorant en jaune orange avec le phénol.

✓ **Préparation de l'extrait:**

- Peser 100 mg des feuilles vert Fraîche de chaque échantillon.
- Placer des feuilles vert Fraîche dans des tubes à essais et ajouter 3ml d'éthanol à 80% et laisser 48 h.
- Après 48 h on met les tubes à essais dans bain marinée (T=80°C) jusqu'à l'éthanol s'évapore complètement
- Ajoute 20ml de l'eau distillée (c'est l'extrait).

✓ **Dosage :**

- Prendre 1ml d'extrait puis on ajoute 1ml de phénol 5%, 5ml d'acide sulfurique concentré, ajouter l'acide directement sans toucher le tube à essai.
- Laisser les solutions dans un bain marinée (T=30°C) durée de 15min.
- Lecture densité optique par spectrophotomètre sur longueur d'onde 490nm.

Après l'enregistrement des résultats de lecture densité optique, on utilise la courbe d'étalonnage dressée à partir de concentrations connues de glucose pour estimer la teneur en sucres solubles.

3.3.5.2.3. Dosage des protéines totaux

La quantification des protéines a été réalisée selon la méthode de **Bradford (1976)** utilisant le bleu brillant de coumassie R-250 (BBC) comme réactif qui se change de la couleur rouge vers couleur bleu quand liée avec protéine.

✓ **Préparation de l'extrait:**

- Peser 100mg des feuilles vert Fraîche de chaque échantillon.
- Broyage des feuilles vert Fraîche avec 5 ml de l'eau distillée dans un mortier ensuite faire filtration puis on ajoute 5ml de l'eau distillée des solutions.

✓ **Dosage :**

- Prendre 0.2ml de solution puis ajoute 0.2ml de réaction de BBC et 1.6ml de l'eau distillée aux solutions.
- Agitation des solutions par vortex, Laisser les solutions durée de 5min à 1h.
- Lecture densité optique en longueur d'onde 595nm.

Après l'enregistrement des résultats de lecture des densités optiques, on utilise la courbe d'étalonnage dressée à partir de concentrations connues de BSA pour estimer la teneur en protéines totales.

3.3.5.3. Paramètres physiologiques et biochimique des graines**3.3.5.3.1. Dosage des glucides solubles**✓ **Préparation de l'extrait :**

Préparation d'extrait est effectuée selon la méthode de **Shibko et al (1966)**.

- peser 500 mg des poudres des graines et poser dans Becher.
- Ajouter 5ml d'acide trichloracétique (TCA) (20%) et agitation par vortex durée 5min ensuite remplacer les mélanges dans tubes verres.
- Séparation des mélanges par centrifugeuse 3000tr /min durée 10min ensuite récupérer le surnageant.

✓ **Dosage**

Est réalisé selon la méthode de **Dubois (1956)**.

- Dans tubes à essais on a posé 1ml de surnageant.
- Ajoute 1ml de phénol (5%) puis 5ml d'acide sulfurique concentré, ajouter l'acide directement sans toucher le tube à essai.
- Agitation des solutions et leur laisser durer 15min.
- Lecture de densité optique sur longueur d'onde 490nm.

Pour déterminer le contenu des sucres solubles des échantillons des grains de quinoa on se réfère à la courbe d'étalonnage dressée à partir de concentrations connues de glucose.

3.3.5.3.2. Dosage des protéines totaux✓ **Préparation de l'extrait :**

Préparation des extraits est réalisée selon méthode de **Snyder et Desborough (1978)**.

- Ecraser des grains de quinoa dans un mortier, peser 500 mg les poudres d'échantillons et poser dans Becher.
- Ajoute 10ml de solution hydroxyde de sodium (0.5M) et 15ml d'eau distille.
- Agitation des mélanges par vortex durée 15min ensuite remplacer les mélanges dans des tubes.
- Séparation des mélanges par centrifugeuse 3900rt /min durée 20min ensuite récupérée surnageant.

✓ **Dosage**

Est réalisé selon la méthode de **Bradford (1976)**.

- Prendre 0.5ml de surnageant et ajoute 2.5ml de BBC et laisser les solutions durée 5min.
- La lecture de densité optique à 595 nm permet de déterminer le contenu en protéines totales en se référant à la courbe d'étalonnage dressée à partir des concentrations connues de BSA.

3.3.5.3.3. Activité antioxydant DPPH[•]✓ **Méthode de préparation de l'extrait alcoolique**

pour la Macération, on a mis 1.5g de poudre de graine de chaque variété avec 30 ml de méthanol (80%) dans l'obscurité pendant 24 heures, puis filtré le mélange sur papier filtre. l'extrait est placé dans un rotavapeur à 48 ° C pour obtenir l'extrait brut de méthanol (**Azzi R., 2013**).

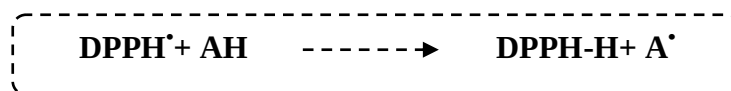
✓ **Activité antioxydant par le test du DPPH[•]:**

Le pouvoir antioxydant de quatre variétés étudiées a été évalué in vitro en utilisant le test du DPPH[•].

Principe:

Le DPPH (2,2 diphenyl-1-picryl hydrazyl) est un radical stable qui possède un électron célibataire sur l'atome d'azote, caractérisé par une couleur violette et un pic d'absorption spectral maximal à 517nm. En présence d'antioxydant l'électron célibataire devient apparié, ce qui conduit à la décoloration de DPPH[•] du violet (forme radicalaire DPPH[•]) au jaune (forme réduite DPPH-H). Cette décoloration représente donc la capacité d'échantillon de piéger ce radical (**Ramadan M., 2010 ; Mihaylova D. et al., 2015**).

On peut résumer la réaction sous la forme de l'équation:



Où: (AH) représente un composé capable de céder un hydrogène au radical DPPH (violet) pour le transformer en diphényle picryl hydrazine (jaune) (Brand- Williams W. *et al.*, 1995).

Procédure expérimentale :

- Préparer la solution de DPPH[•] (0.1 ml) en dissolvant 4 mg de DPPH[•] dans 100 ml de méthanol.
- Pour préparer la solution mère, prenez 10 mg de chaque extrait et mélangez avec 5 ml de méthanol (5000ug/ml). A partir de cette concentration, on prépare des concentrations diluées en ajoutant du méthanol.
- Un volume de 200µl des différentes dilutions ont été mélangés avec 800 µl de la solution de DPPH[•] dans des tubes à essai secs. Le mélange réactionnel a été agité vigoureusement et incubé 30 min à une température ambiante et à l'obscurité. L'absorbance a été mesurée à 517 nm. Le contrôle négatif est composé de 200 µl de méthanol et de 800 µl de la solution de DPPH[•].

Le contrôle positif est représenté par une solution d'un antioxydant standard; l'absorbance de l'acide ascorbique (antioxydant de référence) est mesurée dans les mêmes conditions. Chaque expérience a été répétée trois fois (Dziri S., 2012).

Calcul des pourcentages d'inhibition :

Selon Khoudali S. *et al.* (2014) et Ismaili R. *et al.* (2017), le pourcentage de réduction du DPPH est calculé en utilisant la formule suivante:

$$I(\%) = (A_0 - A / A_0) \times 100$$

Où: I(%) : pourcentage de réduction ou d'inhibition du DPPH[•].

A₀ : Absorbance de la solution du DPPH[•] sans l'échantillon (contrôle négatif).

A : Absorbance de la solution du DPPH[•] en présence de l'échantillon.

Calcul des IC50:

La concentration inhibitrice (IC50) est la concentration de l'échantillon testé nécessaire pour réduire 50% du radical DPPH. Elle est inversement liée à la capacité antioxydant. Plus la valeur de l'IC50 est basse, plus l'activité antioxydant d'un composé est grande. Les IC50 sont déterminées graphiquement par les régressions linéaires des pourcentages d'inhibition de DPPH* en fonction des différentes concentrations des extraits testées (**Haddoudi M. et al., 2014**).

3.3.5.3.4. Recherche des Saponosides

La présence des saponosides est déterminée quantitativement par le calcul de l'indice de mousse.

- peser 2 g des grains de quinoa et broyé, ajouter 100 ml d'eau, on porte à ébullition pendant 30 mn.
- Après refroidissement et filtration, on réajuste le volume à 100 ml.
- Dans une série de 10 tubes à essai, répartir 1 ml de l'extrait dans le tube n° 1, 2 ml dans le tube n° 2, ..., 10 ml dans le tube n° 10.
- Le volume final dans chaque tube étant de nouveau réajusté à 10 ml avec de l'eau distillée.
- agiter Les tubes fortement en position horizontale pendant 15 secondes, Après un repos de 15 minutes en position verticale, on relève la hauteur de la mousse persistante en cm.
- Si la mousse est proche de 1 cm dans le X^e tube, alors l'indice de mousse est calculé selon la formule suivante:

$$I = \frac{\text{Hauteur de mousse (en cm) dans le X}^e \text{ tube} \times 5}{0.01 \times X}$$

Si elle était:

(**I < 100**) le plante est pauvre en saponosides.

(**I > 100**) le plante riche en saponosides. (**Dohou N. et al., 2003**)

3.3.6. Poids des 1000 graines (PMG)

on a compté 1000 graines de chaque variété (avec 3 Répétitions), puis on a peser chaque 1000 graines.

3.4. Analyses statistiques

L'analyse statistique a été réalisée grâce au logiciel Minitab 16, L'étude statistique des résultats a été effectuée en utilisant le test ANOVA, les résultats expérimentaux sont mentionnés comme moyen de quatre mesures parallèles. Les valeurs de $p > 0.05$ ont été considérées comme significatives.

Chapitre IV

Résultats et Discussion

Résultats et discussion

1. test de germination

On a observé que le pourcentage de germination des quatre variétés étudiées est élevé surtout chez la variété *Amarilla sacaca* avec un pourcentage de germination 100%.

Tableau 10: pourcentage du test de germination

Variété	Nombre des graines totaux	Nombre des graines germinées	Pourcentage de germination
<i>Amarilla marangani</i>	20	17	85%
<i>Amarilla sacaca</i>	20	20	100%
<i>Blanca de junín</i>	20	19	95%
<i>Salcedo inia</i>	20	19	95%

2. paramètres morphologiques de quinoa

2.1. La longueur des plantes

Les résultats obtenus dans la Figure (26) montrent qu'il y a une réduction de longueur des plantes chez la variété *Salcedo inia* avec une moyenne de 55.3 cm, comparativement aux variétés *Amarilla sacaca*, *Blanca de junin* et *Amarilla marangani* qui ont notés des moyenne 72.5; 70.4 et 69.1 cm respectivement.

L'analyse statistique montrent qu'il n y a pas des différences significatives entre les variétés ($p < 0.05$).

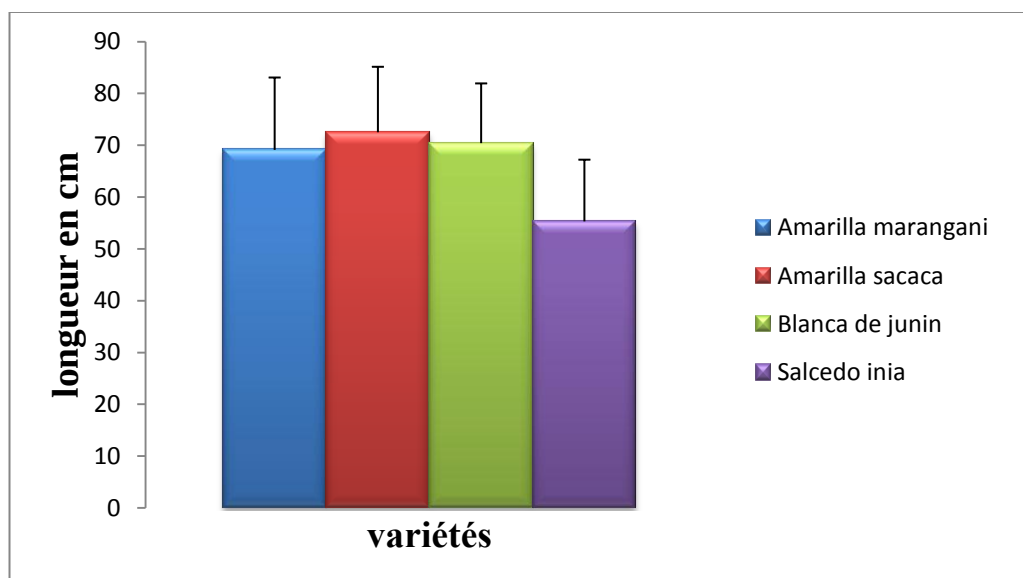


Figure 26: la longueur des quatre variétés de quinoa.

ces résultats sont en concordance avec ceux de **Bhargava A. et al. (2006)** qui ont travaillé sur 27 variétés de quinoa, ils ont trouvé que la hauteur des plantes varié entre 11.27 à 144.03 cm.

2.2. Surface foliaire

A l'issue de nos résultats qui ont été présentés dans la Figure (27), la variété **Salcedo inia** possède une surface foliaire réduite avec une valeur de 25.14 cm^2 par rapport aux autres variétés qui ont enregistré des chiffres 38.03; 32.37 et 30.80 cm^2 respectivement pour les variétés **Amarilla sacaca**, **Amarilla marangani** et **Blanca de junin**.

L'analyse statistique montre qu'il y a des différences significatives ($p > 0.05$).

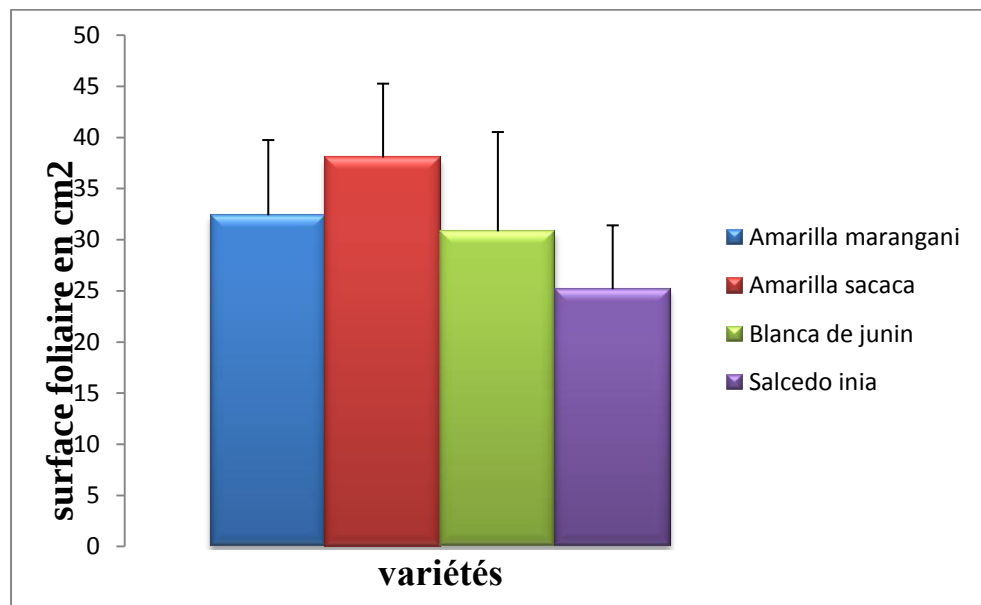


Figure 27: surface foliaire des quatre variétés de quinoa.

Les résultats enregistrés sont un peu proches de ceux obtenus par **(TOUATI I., 2018)**, qui ont trouvé une surface foliaire maximale de 28.66 cm^2 enregistré pour la variété **Amarilla sacaca**. Alors que, dans notre cas la surface foliaire maximale a été enregistrée par la même variété, mais avec une surface foliaire de 38.03 cm^2 . Les travaux de **Rjeibi W. et al. (2015)** sont similaires avec les résultats que nous avons obtenus pour les variétés **Amarilla marangani**, **Blanca de junin** et **Salcedo inia**.

3. Paramètres physiologiques et biochimiques de quinoa

3.1. Estimation de la biomasse fraîche et sèche des plantes

3.1.1. Le poids frais de plante

a. Partie aérienne

la biomasse frais de la partie aérienne des quatre variétés étudiées est enregistré dans la figure (28). Ces résultats montrent bien que la variété **Amarilla marangani** présente une biomasse très élevé (71.65g) par rapport aux autres variétés. On effet, la variété **Salcedo inia** possède une valeur très réduit 32.65g comparativement aux autre.

L'analyse statistique montrent qu'il n y a pas des différences significatives ($p < 0.05$).

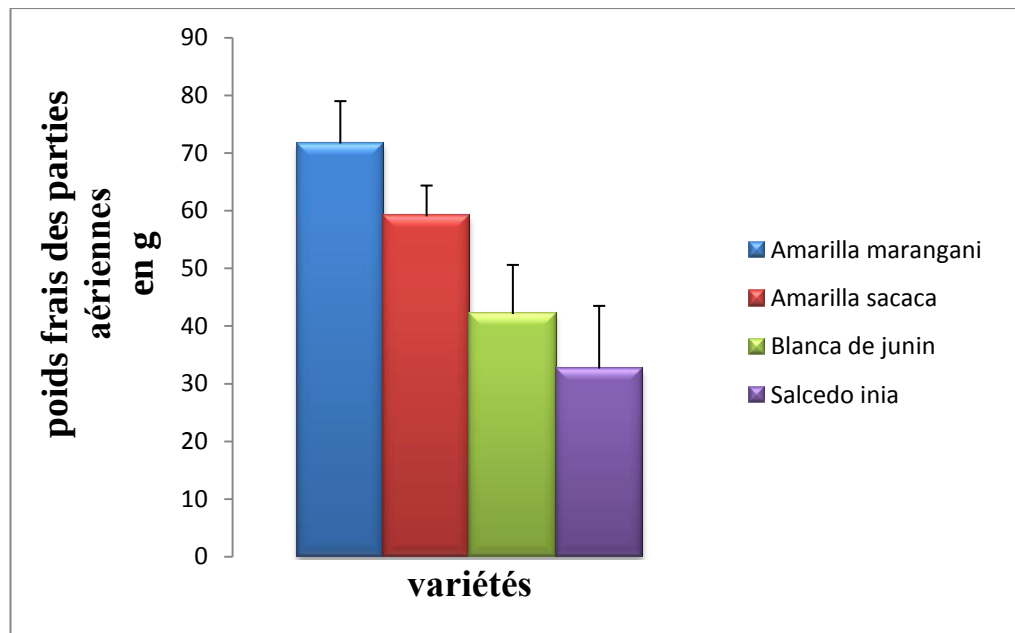


Figure 28: Le poids frais des parties aériennes des quatre variétés de quinoa.

b. Partie racinaire

Les résultats obtenus dans la figure (29) montrent que la biomasse racinaire est très élevé chez la variété **Amarilla marangani** avec une valeur de 7.3g, on outre; la variété **Salcedo inia** a une biomasse très réduite (2.53 g) par rapport aux autres variétés.

L'analyse statistique montrent qu'il n y a pas des différences significatives entre les quatre variétés ($p < 0.05$).

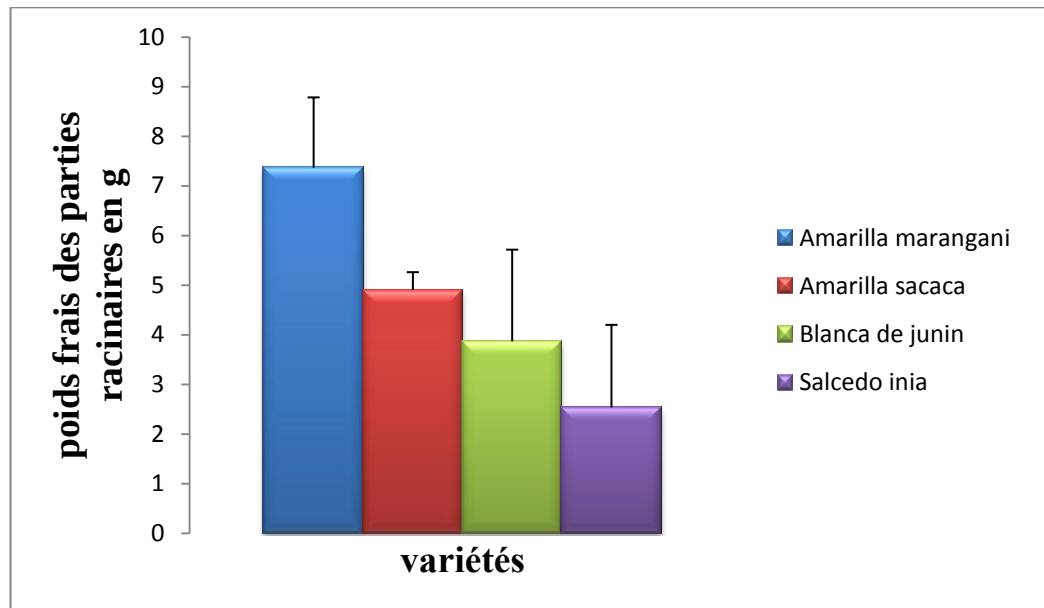


Figure 29: Le poids frais des parties racinaires des quatre variétés de quinoa.

nos résultats des poids frais des parties aériennes et racinaires sont très réduit par rapport aux résultats obtenus par (Azhar M. et al., 2017).

3.1.2. Le poids sec de plante

a. Partie aérienne

La Figure (30) montrent que la biomasse aérienne est élevée chez la variété **Amarilla sacaca** avec une valeur de 27.36g. On outre, la variété **Salcedo inia** a une biomasse réduite (12.35g) par rapport aux autres variétés.

L'analyse statistique montre qu'il y a des différences significatives ($p > 0.05$).

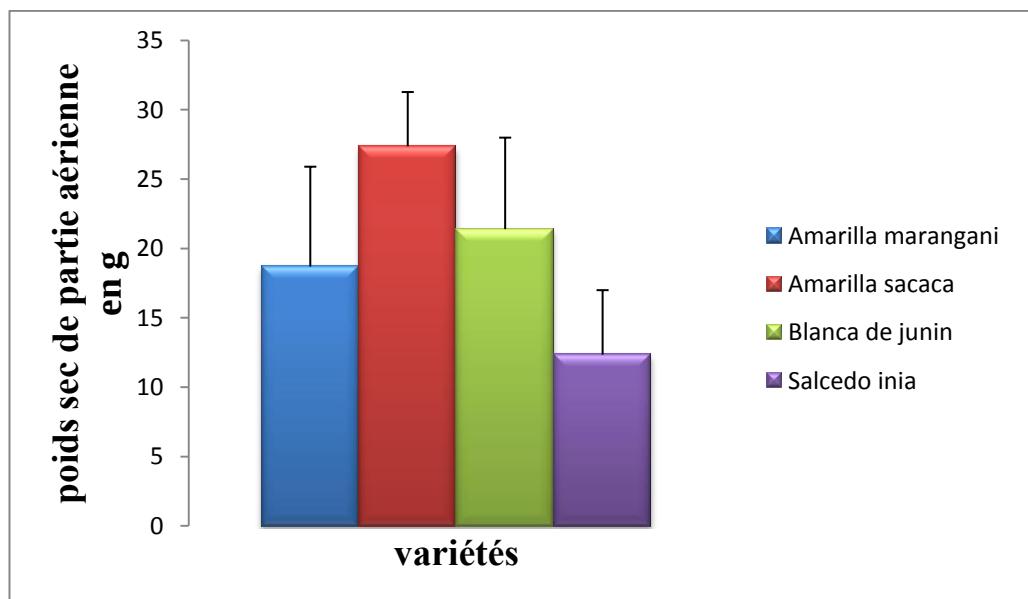


Figure 30: Le poids sec des parties aériennes des quatre variétés de quinoa.

b. Partie racinaire

Les résultats obtenus (figure 31) montrent que le poids sec de partie racinaire est en diminution successive pour les quatre variétés, la valeur la plus élevée est noté chez la variété *Amarilla marangani* avec 3.23 g.

L'analyse statistique montrent qu'il n'y a pas des différences significatives entre les quatre variétés ($p < 0.05$).

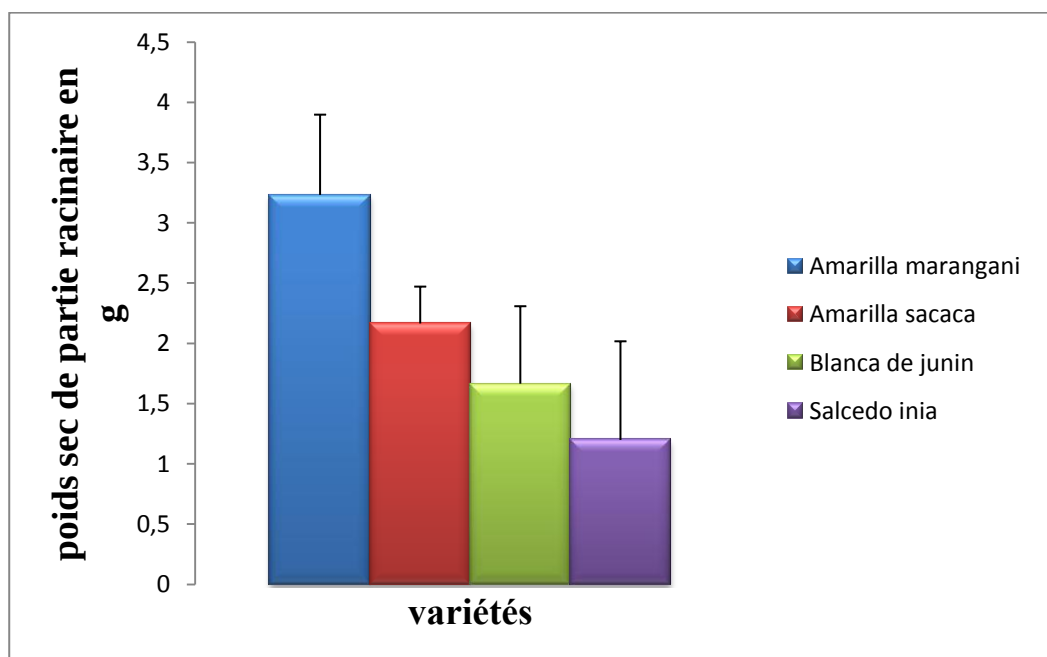


Figure 31: Le poids sec des parties racinaires des quatre variétés de quinoa.

les valeurs obtenus pour le poids sec des parties aériennes sont proches de ceux obtenus par (TOUATI I., 2018) qui ont enregistré des valeurs variés entre 16.18 à 30.55 g.

Les résultats de poids sec des parties racinaires sont en accord avec les travaux de Azhar M. et al. (2017) , Stikić R. et al. (2015) pour le quinoa.

3.2. Paramètres physiologiques biochimiques des feuilles

3.2.1. Paramètres des pigments photosynthétiques

a. Chlorophylle (a)

Par l'observation des résultats obtenus dans la figure (32) qui a montré que le Contenu en Chlorophylle (a) est élevé chez les variétés *Salcedo inia* et *Blanca de junin* avec des valeurs 5.40; 5.04 mg/g de MF respectivement, par rapport aux autres variétés.

L'étude statistique montre qu'il n'y a pas des différences significatives entre quatre variétés étudiées ($p < 0.05$).

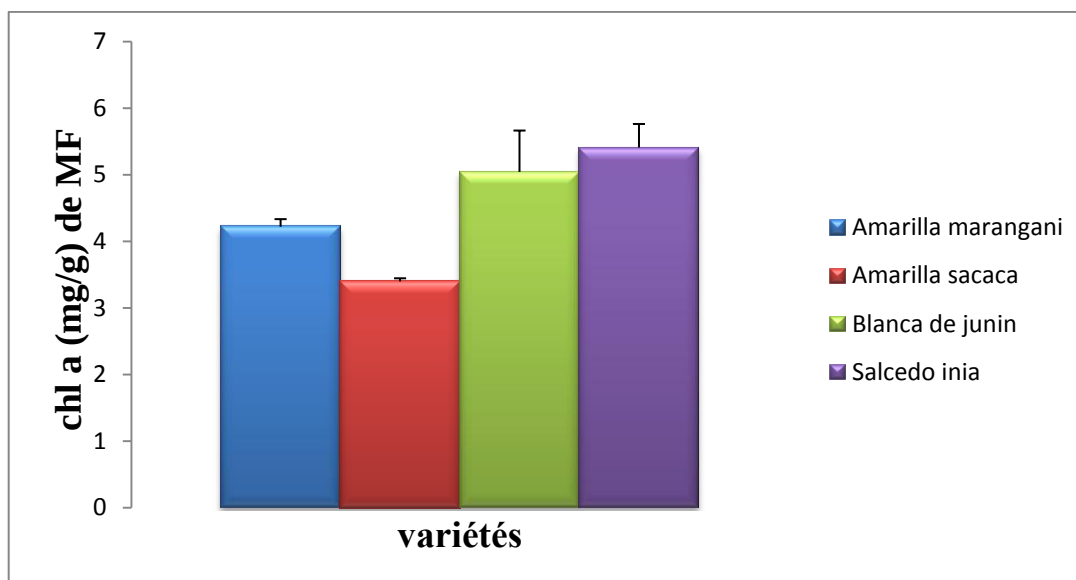


Figure 32: Contenu en chlorophylle (a) dans les feuilles des quatre variétés de quinoa.

b. Chlorophylle (b)

Les résultats obtenus dans la figure (33) montrent que le Contenu en Chlorophylle (b) est élevé chez les variétés *Salcedo inia* et *Blanca de junin* avec des valeurs 1.97; 1.87 mg/g de MF respectivement, par rapport aux autres variétés.

L'étude statistique montre qu'il n'y a pas des différences significatives entre les quatre variétés étudiées ($p < 0.05$).

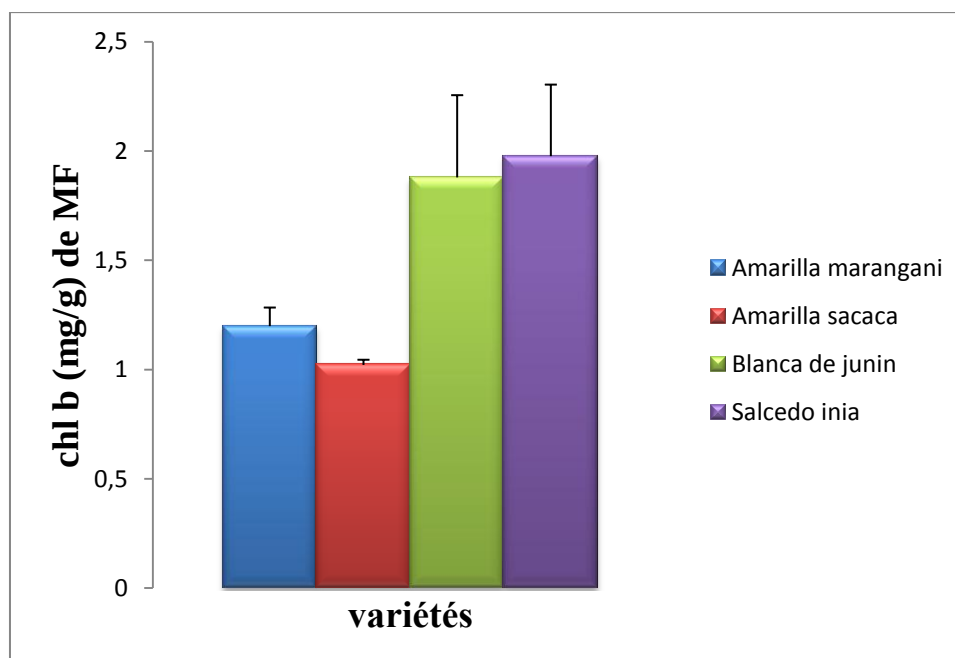


Figure 33: Contenu de chlorophylle (b) dans les feuilles des quatre variétés de quinoa.

c. Chlorophylle (a+b)

Ces résultats (figure 34) montrent que le contenu en Chlorophylle (a+b) est élevé chez les variétés *Salcedo inia* et *Blanca de junin* avec des valeurs 7.80; 7.30 mg/g de MF respectivement, par rapport aux autres variétés.

L'étude statistique montre qu'il n y a pas des différences significatives entre les quatre variétés étudiées ($p < 0.05$).

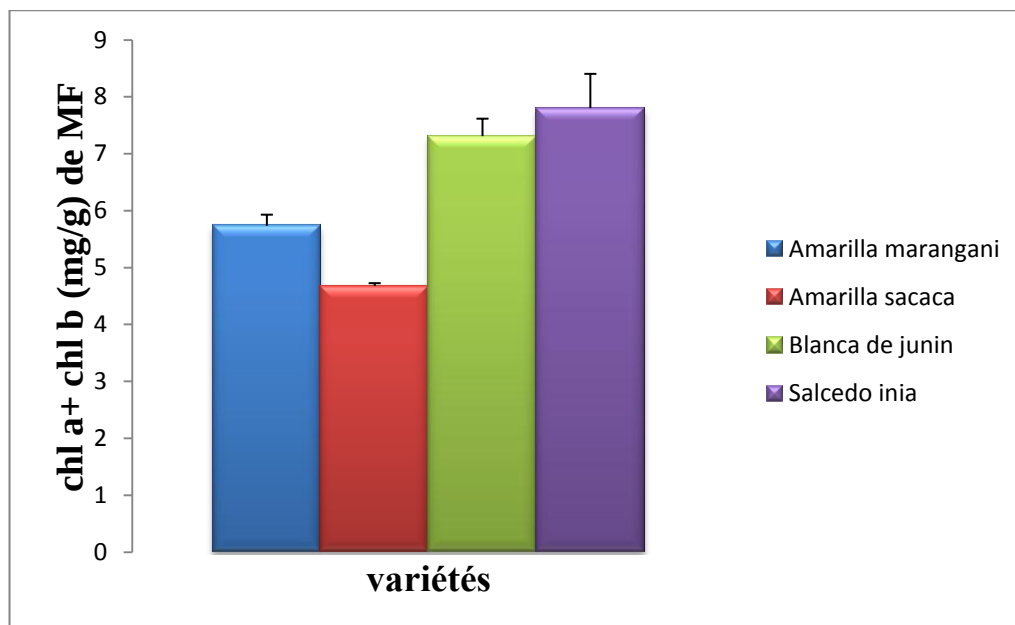


Figure 34: Contenu en chlorophylle (a+b) dans les feuilles des quatre variétés de quinoa.

d. Caroténoïde

A partir de ces résultats (figure 35), le contenu en caroténoïde est élevé chez les variétés *Salcedo inia* et *Blanca de junin* avec des chiffres 1.88 ; 1.77mg/g de MF, comparativement aux variétés *Amarilla marangani* et *Amarilla sacaca* (1.25 ; 1.02 mg/g de MF) successivement.

L'étude statistique montre qu'il n y a pas des différences significative ($p < 0.05$).

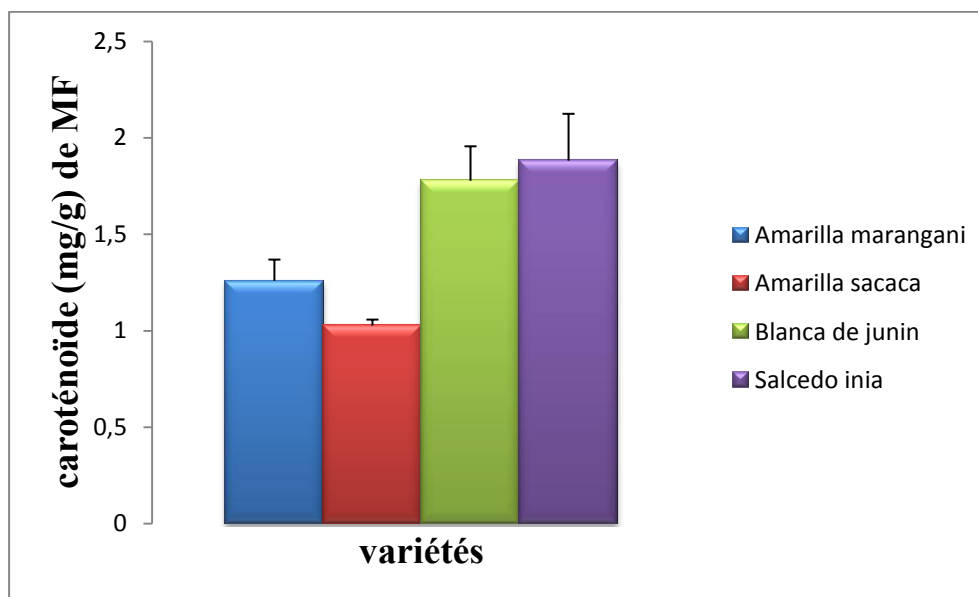


Figure 35: Contenu en caroténoïde dans les feuilles des quatre variétés de quinoa.

nos résultats de contenu des feuilles en chlorophylle (a) sont compatibles avec les résultats de **Oucif Bedida Z. et Zouari Ahmed F. (2018)**, surtout chez la variété **Blanca de junin** qui ont trouvé un contenu de 5.40 mg/g MF. Alors que, dans notre cas le contenu en chlorophylle (a) enregistrée par la même variété est de 5.04 mg/g. Pendant que les résultats de contenu en chlorophylle (b) sont un peu proches de ceux obtenus par **(Ruiz K B. et al., 2016)**. Tandis que les résultats obtenus en chlorophylle (a+b) et de contenu en caroténoïdes sont similaires de ceux obtenus par **(Hemmami I. et Ben Ali H., 2018)**.

3.2.2. Contenu en sucres solubles

La figure suivante (36) montre le contenu en sucres solubles chez les variétés étudiées. On a observé que le contenu en sucres solubles est élevé chez la variété **Salcedo inia** avec une valeur 2.76 mg/g comparativement aux variétés **Blanca de junin**, **Amarilla marangani** et **Amarilla sacaca** avec des valeurs 2.01; 1.84; 1.43 mg/g de MF respectivement.

L'étude statistique montre qu'il n'y a pas des différences significatives entre les quatre variétés étudiées ($p < 0.05$).

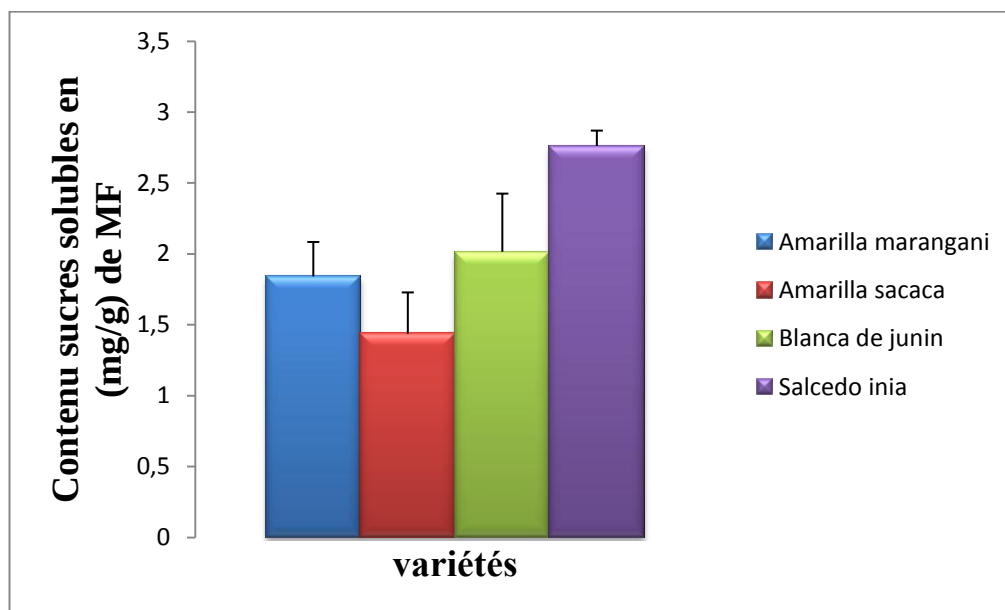


Figure 36: Contenu en sucres solubles dans les feuilles des quatre variétés de quinoa.

nos résultats qui sont variés entre 1.43 et 2.76 mg/g montre que le contenu en sucres soluble des feuilles des variétés étudiées est faible par rapport à ceux obtenus par (**Gonzalez J. et al., 2009**) dans son études sur les feuilles de quinoa, qui ont trouvé que les résultats vont de 4.6 et 7.2 mg/g. cette diminution est peut être lié aux conditions environnementale différent

3.2.3. Contenu en protéines totaux

Les résultats qui ampliative dans la figure (37) montrent que le contenu en protéine est peut élever chez les variétés *Amarilla marangani* et *Amarilla sacaca* avec des valeurs 14.29; 14.18 mg/g de MF, comparativement aux variétés *Blanca de junin* et *Salcedo inia* avec des valeurs 11.84; 10.85 mg/g de MF respectivement.

L'étude statistique montre qu'il n'y a des différences significative entre les quatre variétés ($p < 0.05$).

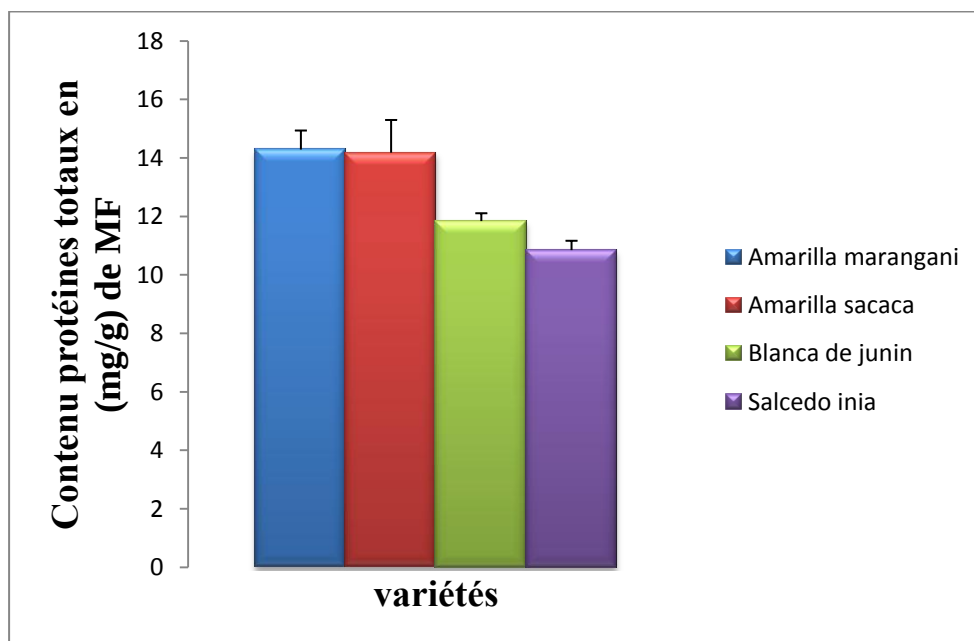


Figure 37: Contenu en protéines totaux dans les feuilles des quatre variétés de quinoa.

Les résultats du contenu des feuilles en protéines totaux des variétés étudié varié entre 10.8 et 14.2 mg/g. les résultats trouvés dans cette étude sont inférieurs à ceux de **Valencia Chamorro S A. (2004)** dans leurs travaux sur le quinoa. Cette différence est due à plusieurs facteurs, notamment les conditions environnementales.

3.3. Paramètres physiologiques et biochimiques des graines

3.3.1. Contenu en sucres solubles

Les résultats mentionné dans la (figure 38) montrent que le contenu en sucres solubles est en diminution successive pour les quatre variétés, la valeur la plus élevée est noté chez la variété **Amarilla marangani** avec 113.13 mg /g de MS.

L'étude statistique montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre les quatre variétés étudiées ($p < 0.05$).

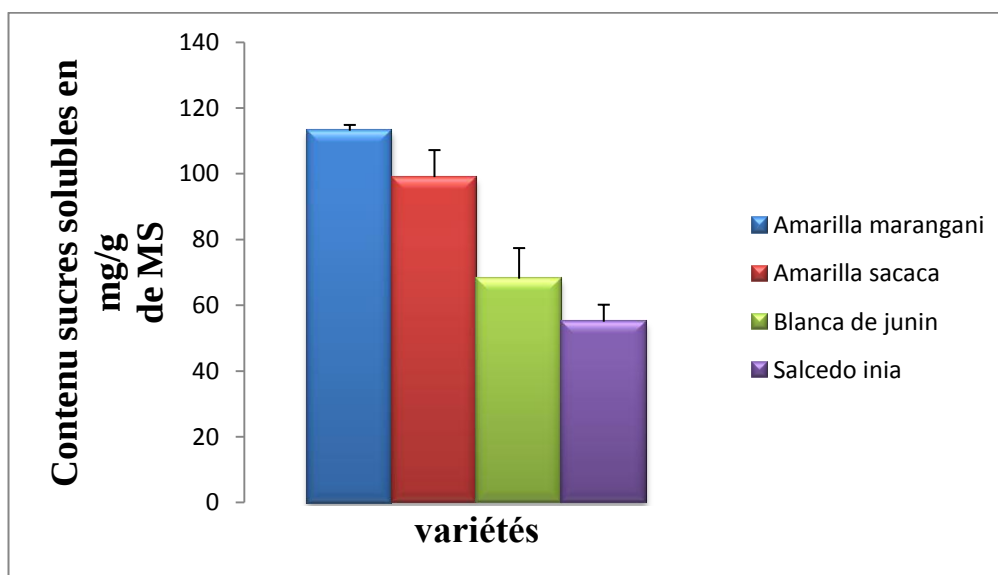


Figure 38: Contenu en sucres solubles dans les graines des quatre variétés de quinoa.

ces résultats sont compatibles à ceux de **Triki T. et al. (2016)** particulièrement chez les deux variétés *Amarilla marangani* et *Amarilla sacaca*.

3.3.2. Contenu en protéines totaux

La figure (39) explique le contenu en protéines totaux chez les quatre variété étudié de quinoa. Elle est bien éclairé que la variété *Amarilla sacaca* possède la teneur en protéines le plus élevé avec une valeur de 70.28 mg /g de MS. Par ailleurs, *Amarilla marangani* présente le contenu le plus bas (63.49 mg /g de MS).

L'étude statistique montre qu'il n'y a des différences significative entre les quatre variétés étudiées ($p < 0.05$).

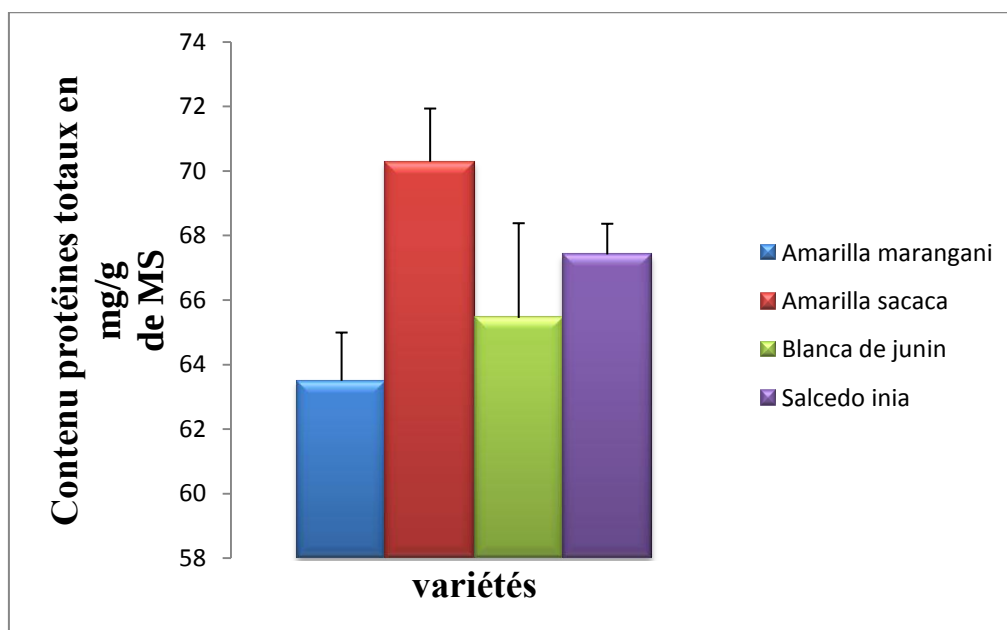


Figure 39: Contenu en protéines totaux dans les graines des quatre variétés de quinoa.

Les résultats enregistrés sont un peu proches de ceux obtenus par (**Jancurova M. et al., 2009**) qui ont montré que la teneur des graines en protéines totaux diffère entre 8 et 22%.

3.3.3. Activité antioxydant par le test du DPPH•

Les résultats obtenus pour les extraits des quatre variétés étudiées sont représentés, sous forme de droites. D'après les courbes illustrées dans la figure (40) tous les extraits testés sont capables de neutraliser le radical DPPH• au cours du temps et en fonction de la concentration des antioxydants.

Comme figurant dans le tableau (11) l'antioxydant standard acide ascorbique (vitamine C) a montré une activité antioxydant puissante avec une IC_{50} de l'ordre de 0.23 $\mu\text{g/ml}$, alors que l'activité de nos extraites est plus moins de celle de vitamine C.

Parmi les quatre variétés de quinoa l'extrait le plus actif c'est *Amarilla marangani* avec de $IC_{50} = 1.83 \mu\text{g/ml}$, par contre, les trois autres variétés montrent une faible activité anti-radicalaire avec 2.35; 2.11 et 4.43 $\mu\text{g/ml}$ pour *Amarilla sacaca*; *Salcedo inia*; *Blanca de junin* respectivement.

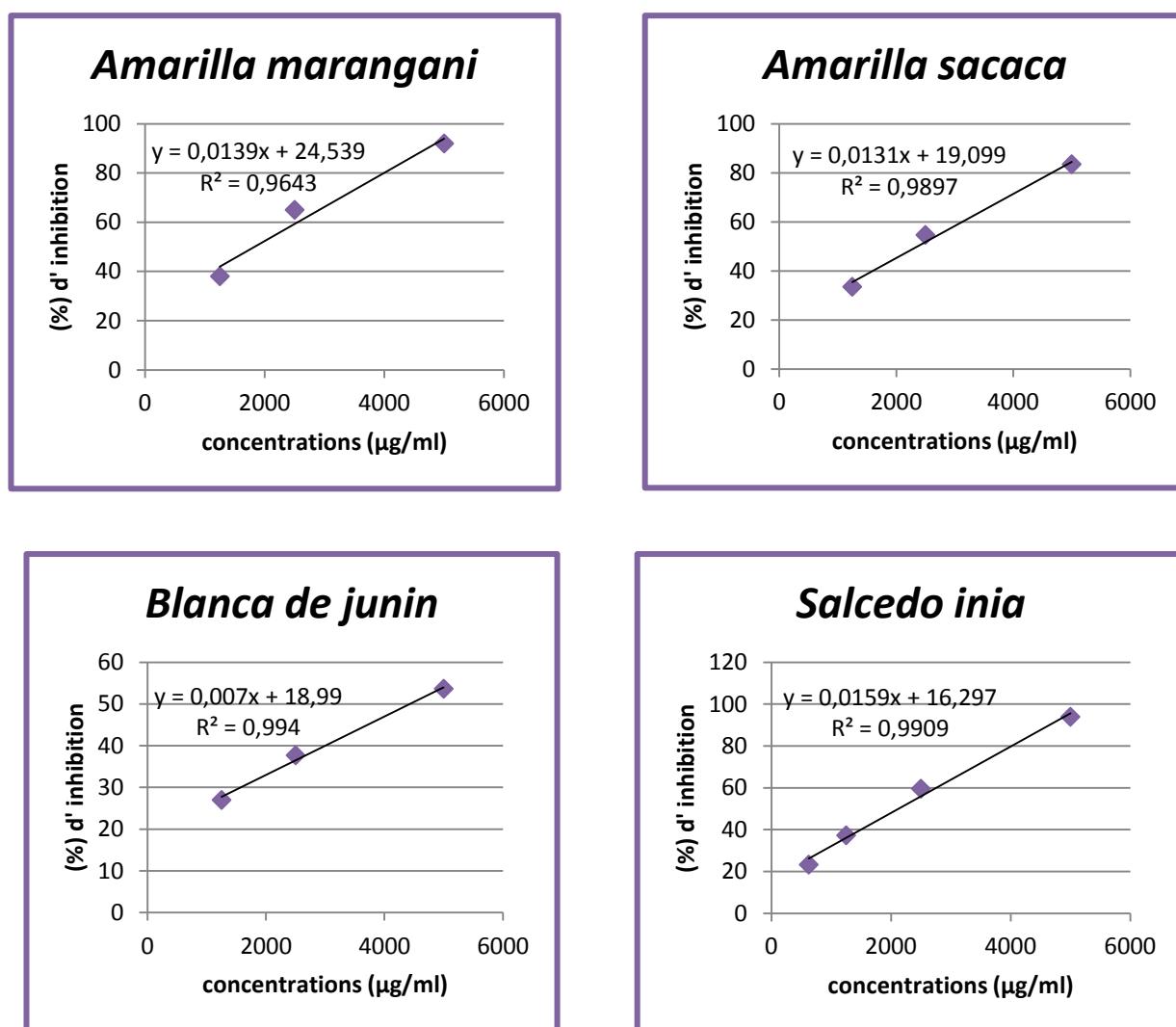


Figure 40: Activité antioxydant du radical libre DPPH• par les quatre variétés de quinoa.

Tableau 11: Valeurs des IC₅₀ des extraits des quatre variétés de quinoa.

Les variétés	<i>Amarilla. marangani</i>	<i>Amarilla. sacaca</i>	<i>Blanca. de junin</i>	<i>Salcedo. inia</i>	A.As
IC ₅₀ (µg/ml)	1.83	2.35	4.43	2.11	0.23

Nos résultats montre que les quatre variétés étudiées de quinoa ont une activité antioxydant mais la variété la plus active est ***Amarilla marangani***, suivie ***Amarilla sacaca***, puis ***Salcedo inia*** et ***Blanca de junin***.

ces résultats sont compatible à (Nsimba R. et al., 2008) qui étudié l'activité antioxydant d'extraits de quinoa en Bolivie et Japon.

L'activité antioxydants de quinoa est due de la présence des composés phénoliques qui ont le capacité d'inhibition les radicaux libres (Baghiani A. et al., 2010).

Les antioxydants naturels ont une capacité d'inhibition des radicaux libres et le participation dans les réactions oxydatives au niveau des tissus, donc ont un rôle de protection des membranes cellulaires, la réduire de risque de plusieurs maladies relative au stress oxydatif tels que: le cancer, les maladies cardiovasculaires et l'ostéoporose (Maradini A. et al., 2015).

3.3.4. Recherche des Saponosides

Selon les résultats obtenus au (tableau 12) on a observé que la variété ***Amarilla sacaca*** est riche en saponosides. Tandis que les trois autres variétés sont pauvres en saponosides.

Tableau 12: Recherche des Saponosides chez des quatre variétés de quinoa.

Les variétés	<i>Amarilla marangani</i>	<i>Amarilla sacaca</i>	<i>Blanca de junin</i>	<i>Salcedo. inia</i>
Saponosides	-	+	-	-

(+) riche en saponosides. (-) pauvre en saponosides.

4. Poids de 1000 graines

Selon les résultats obtenus au niveau de la (figure 41) on a observé que la variété ***Amarilla marangani*** a donné un rendement plus bas (1.98 g). En revanche, les variétés ***Blanca de junin***; ***Salcedo inia*** et ***Amarilla sacaca*** possèdent un rendement plus élevé avec des valeurs 3.74, 3.43 et 3.12 g respectivement.

L'analyse statistique montrent qu'il n y a pas des différences significatives entre les variétés (p<0.05).

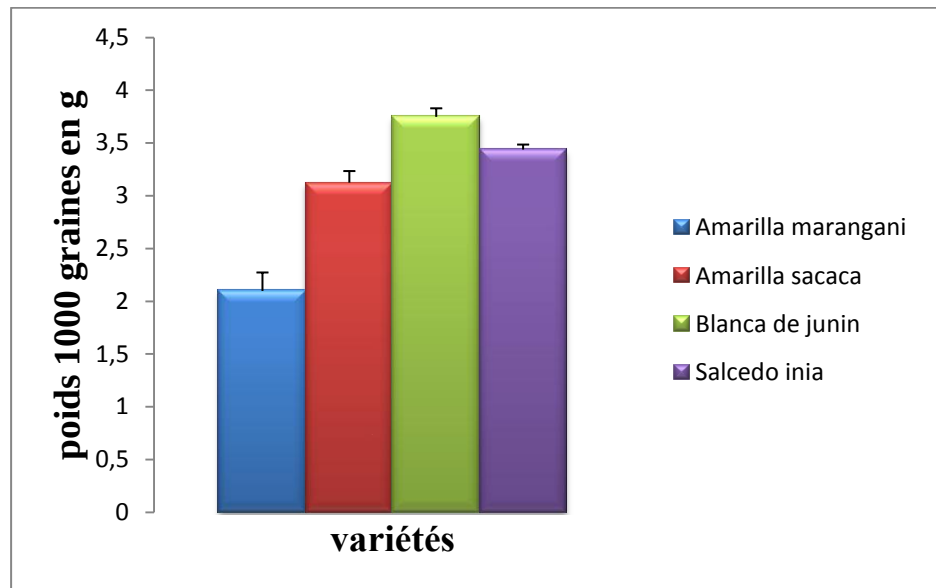


Figure 41: le poids des 1000 grains des quatre variétés de quinoa.

Le poids de 1000 grains est une composante essentielle du rendement. C'est une caractéristique variétale. Il est lié à l'eau absorbé pendant la phase floraison à maturité. Il est aussi en fonction des conditions de la nutrition minérale de la plante et aux conditions climatiques (TOUATI I., 2018).

Nos résultats rejoignent les résultats obtenus par (Vidal A. et al, 2013), qui ont trouvé que le poids de 1000 grain chez les variétés étudiées varient entre (2.1g - 3.8g), et la variété *blanca de junin* a été classé la première en enregistrant un poids maximale de 3.8g par rapport aux trois autres variétés.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le quinoa est une plante herbacée annuelle de la famille des Amaranthaceae, il est bien adapté à différentes conditions environnementales grâce à sa diversité génétique. Outre ces caractéristiques, la haute valeur nutritionnelle des grains de quinoa a fait de cette plante une culture importante pour la sécurité alimentaire. Au cours des dernières années, le quinoa a suscité un intérêt croissant à l'échelle mondiale et sa culture a commencé à s'étendre dans de nombreux pays d'Europe, d'Afrique et d'Asie.

L'analyse de l'ensemble des paramètres étudiés permet de tirer les conclusions suivantes:

Les paramètres morphologiques (longueur, surface foliaire) obtenus indiquent que la variété **Amarilla sacaca** présente des valeurs élevées par rapport aux autres variétés.

Par ailleurs, les résultats des paramètres physiologiques obtenus montrent que la variété **Amarilla marangani** présente un poids frais des parties aérienne et racinaire et poids sec de partie racinaire, élevé par rapport aux autres variétés.

Concernant les pigments chlorophylliens, on a trouvé qu'ils sont élevés chez les variétés **Blanca de junin** et **Salcedo inia** par rapport aux autres variétés.

Outre, les paramètres biochimiques montrent que le contenu en protéines totales et en sucres solubles des feuilles et des graines est varié d'une variété à l'autre. On a résumé que la variété **Amarilla sacaca** a une valeur nutritive plus élevée que d'autres variétés, suivie de **Amarilla marangani** puis **Blanca de junin** et **Salcedo inia**, mais généralement les caractéristiques nutritionnelles de toutes les variétés sont proches.

Selon les résultats de l'activité antioxydante DPPH[•] des variétés étudiées, on montre que la variété **Amarilla marangani** a une activité antioxydante élevée par rapport aux autres variétés, donc elle contient plus de composés phénoliques que les autres variétés.

Pour la recherche des saponosides, on a trouvé que la variété **Amarilla sacaca** est riche en saponosides, donc elle est plus résistante aux oiseaux et parasites que les autres variétés. Les variétés **Blanca de junin** et **Salcedo inia** sont pauvres en saponosides. Donc, il vaut mieux être un aliment humain par rapport aux autres variétés.

Concernant le rendement, **Amarilla marangani** présente un faible rendement par rapport aux autres variétés parce qu'elle a un faible poids de 1000 graines.

Conclusion générale

Les différences observées entre les variétés étudiées peuvent être résultées par des facteurs génétiques.

Enfin, la nécessité d'une culture intensive du quinoa doit être soulignée, car elle pourrait répondre aux exigences qualitatives et quantitatives de l'industrie alimentaire. En outre, des campagnes de promotion agressives devraient être menées pour encourager une plus grande consommation de quinoa. Enfin, le quinoa est présenté comme un aliment extrêmement sain - un super grain - du futur (sans gluten). C'est un aliment du XXI^e siècle.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- **Aabha D., 2015**-Adaptation au changement climatique : produire plus de quinoa grâce aux techniques nucléaires. IAEA Bulletin, Pérou, p : 11.
- **Aadjal N., 2006**- Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Université Al hadj lakhdar. Batna, p: 33.
- **Ahmidatou I., 2012**- Essai de lutte biologique contre la pyrale des dattes *Ectomyelois ceratoniae* par l'utilisation d'*Habrobracon hebetor* dans les stocks de la region de Djamaa. Université Kasdi merbah. Ourgla, p: 10-17.
- **Anonyme 01:** <https://fr.tutiempo.net/climat/algerie/2018.html>
- **Anonyme 02:** <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30655548>
- **Azhar M. F., Aziz S.H., Aziz A., Javaid M., Aatif H.M., Wasaya A., Yasir T.A., Baloch A.W., 2017**- Morphological features of different accessions of *Chenopodium quinoa*. Bahauddin Zakariya University. Multan-Pakistan. Pure Appl. Biol. 7(1): 374-383.
- **Azzi R., 2013**- Contribution à l'étude de plantes médicinales utilisées dans le traitement traditionnel du diabète sucré dans l'Ouest algérien : enquête ethnopharmacologique ; Analyse pharmaco-toxicologique de Figuier (*Ficus carica*) et de coloquinte (*Citrullus colocynthis*) chez le rat Wistar. Thèse doctorat. Université Abou Bekr Belkaid. Tlemcen, p: 48-50.
- **Baghiani A., Boumerfeg S., Belkhir F., Khennouf S., Charef N., Harzallah D., Arrar L., Abdel-Wahhab M., 2010**- Antioxidant and radical scavenging properties of *Carthamus caeruleus* L. extracts grow wild in Algeria flora. Comunicata Scientiae.1. p: 128 136.
- **Bazile D., 2013**- Le quinoa, un catalyseur d'innovations. Cirad. France, p: 1- 4.
- **Bazile D., 2015**- Le quinoa. Les enjeux d'une conquête. Éditions Quæ. France, p: 13-18.
- **Bendaoud H., 2012**- Diagnostic sur la conduite d'irrigation de palmiers dattiers dans la région d'Oued Righ. Université Kasdi merbah. Ourgla, p: 50-52.
- **Benlhabib O., 2005**- Les cultures alternatives quinoa, amarante et épeautre. Royaume du Maroc. N° 133, p: 1-4.
- **Bhargava A., Shukla S., Ohri D., 2005**- *Chenopodium quinoa*—An Indian perspective. Industrial Crops and Products. India, 23. 73–87.
- **Bhargava A., Shukla S., Rajan S., Ohri D., 2006**- Genetic diversity for morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm. National Botanical Research Institute. Lucknow. India, 54:167–173.

Références bibliographiques

- **Bioversity International et FAO., 2013-** Quinoa et ses espèces sauvages apparentées. Bolivie. N° 538, pp:3-38.
- **Boyer F., 2018-** Gestion intégrée des ravageurs Nématode à kystes. Institut technique de la betterave. France, p: 1-7.
- **Bradford M.M., 1976-** A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. Vol 72.p : 248-254.
- **Brand-Williams W., Cuvelier, M.E., & Berset, C., 1995-** Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm. Wiss. Technol.* 28: 25-30.
- **Cercam., 2014-** Fiche de synthèse QUINOA Une culture à fort potentiel d'adaptation et de production pour le Maroc. Maroc, p: 3.
- **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., 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.
- **Dohou N., Yamni K., Tahrouch S., Idrissi Hassani L.M., Badoc A., Gmira N., 2003-** Screening phytochimique d'une endémique Ibéro Marocaine *Thymelaea lythroides*. Ed., Bull. Soc. Pharm., Bordeaux, p: 67.
- **Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Pebers P.A and Smith F. 1956-** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28, p: 350-356.
- **Dziri S., Hassen I., Fatnassi S., Mrabet Y., Casabianca H., Hanchi B., Hosni K., 2012** Phenolic constituents, antioxidant and antimicrobial activities of rosy garlic (*Allium roseum* var. *odoratissimum*). *Journal of Functional Foods*. 4: 423- 432.
- **Enrique A., Martinez, Francisco F., Fuentes, Bazile D., 2015-** History of Quinoa: Its Origin, Domestication, Diversification, and Cultivation with Particular Reference to the Chilean Context. John Wiley & Sons, Inc. France, p: 19-22.
- **FAO, 1994-** Cultures marginalisées 1492: Une autre perspective. Production végétale et protection des plantes. n°26, p: 141-145.
- **FAO, 2011-** Quinoa: An ancient crop to contribute to world food security. Latin America and the Caribbean, p: 3-14.
- **FAO & CIRAD, 2015-** State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013. France et Chile, p: 50.

Références bibliographiques

- **Foucault A., 2014**- Effets d'un extrait de quinoa enrichi en 20-hydroxyecdysone dans un modèle d'obésité nutritionnelle : application clinique. Thèse doctorat. Agro Paris Tech. France, p: 112.
- **González J.A., Gallardo M., Hilal M., Rosa M., and Prado F., 2009**- Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and waterlogging stresses: dry matter partitioning. Botanical Studies. Tucumán. Argentina. Vol(50). 35-42.
- **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.
- **Haddoudi, M., Mellouk, H., Bejjany, B., Dani, A., Digua K., 2014**- Valorisation du marc du café : extraction de l'huile et évaluation de son activité antioxydante. Les Technologies de Laboratoire. 8(36): 29-37.
- **Hemmami I. et Ben Ali H., 2018**- La culture du quinoa dans la région d'Oued souf vis- à-vis le problème de la salinité d'étude morphophysiologique. Université Echahid Hamma Lakhdar -El OUED, p: 55-58.
- **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.
- **Ismaili R., Houbairi S., Lanouari S., Moustaid K., Lamiri A., 2017**- Etude de l'activité antioxydante des huiles essentielles de plantes aromatiques et médicinales marocaines. European Scientific Journal. 13: 323-334.
- **Jancurová M., Minarovičová L., Dandár A., 2009**- Quinoa – a review. Czech J. Food Sci. Vol. 27: 71–79.
- **Jinhui L., Xueyong Z., Haile H., Guowei L., 2017**- Diseases characteristic and control measurements for *Chenopodium quinoa* Willd. Atlantis Press, China, vol. 143, p: 305-307.
- **Julianne A., 2017**- Grains: Growing Quinoa in Home Gardens. Washington State University, p: 2-9.
- **Khoudali S., Benmessaoud left, Essaqui A., Zertoubi M., Azzi M., Benaissa, M., 2014**-Étude de l'activité antioxydante et de l'action anticorrosion de l'extrait méthanolique des feuilles du palmier nain(*Chamaerops humilis* L.) du Maroc. . Mater. Environ. Sci. 5(3): 887 898.
- **Lebonvallet S., 2008**- Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'altiplano bolivien. Thèse doctorat. Agro Paris Tech. France, p:17-29.

Références bibliographiques

- **Line B., 2016-** Parcelle d'essai de quinoa dans la chaudière-appalaches. Québec, p: 1-7.
- **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.
- **Mazliak P., 1979- Physiologie végétale:** TP et TD. Hermann (impr. Boisseau) impr. France.
- **Mihaylova, D., Lante, A., & Krastanov, A., 2015-** Total phenolic content, antioxidant and antimicrobial activity of haberlea rhodopensis extracts obtained by pressurized liquid extraction. Acta Alimentaria. 44 (3) : 326–332.
- **Nsimba R., Kikuzaki H., Konishi Y., 2008-** Antioxidant activity of various extracts and fractions of Chenopodium quinoa and Amaranthus spp. seeds. Food Chemistry 106 ,760–766.
- **Oucif Bedida Z., Zouari Ahmed F., 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 Echahid Hamma Lakhdar –El OUED, p: 48-51.
- **Pedersen S F., Tingvoll B Ø., 2013-** Quinoa Opprinnelse, dyrking og anvendelse. Bioforsk Report.Vol (8). Nr155. p: 9.
- **Ramadan, M.F., 2010-** Rapid antiradical method for screening deep fried oils. Journal of Consumer Protection and Food Safety. 5: 47-50.
- **Repo-Carrasco-Valencia R., Serna L., 2011-** Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. Ciencia e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 31(1): 225-230.
- **Rjeibi W., Kahlaoui B., Hachicha M., 2015-** Effet de l'irrigation avec des eaux salées sur une culture de quinoa. Editions universitaires européennes. University of Tunis El Manar. Tunis, p: 70.
- **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'Altipiano Bolivien". Mémoire de master .Université des sciences et techniques du languedoc, p:1.
- **Ruiz K.B., Aloisi I., Del Duca S., Canelo V., Torrigiani P., Silva H., Biondi S., 2016-** Salares versus coastal ecotypes of quinoa: Salinity responses in Chilean landraces from contrasting habitats. Plant Physiology and Biochemistry 101 1-13.

Références bibliographiques

- **Shibko S., Koivistoinen P., Tratnyneck C., New Hall A., Freidman L., 1966-** A method for the sequential quantitative separation an glycogen from a single rat liver homogenate or from a subcellular fraction. *Analyt. Biochem.*, 19: 415-428.
- **Snyder J.C., Desborough S.L., 1978-** Rapid estimation of potato tuber total protein content with Coomassie brilliant blue G-250. *Theor Appl Genet*, 52:135-139
- **Solveig D., Alejandro B., Teresa A., 2006-** Diseases of Quinoa (*Chenopodium quinoa*) Food reviews international. Marcel Dekker. America, Vol. 19, Nos. 1 & 2, pp. 43–59.
- **Stikić R, Jovanović Z., Marjanović M., Đorđević S., 2015-** The Effect of Drought on Water Regime and Growth of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Research Grants: TR-31006 and EU FP7 project AREA. Serbia. 2: 52-8000.
- **Testen A., Miller S., 2014-** Maximizing seed health in your seed saving practices. The Ohio State University, p: 4.
- **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). Université Kasdi merbah. Ourgla, p: 6-48-54-56-60.
- **Triki T., Guasmi F., Ben Ali S., Ben Mohamed M., Drine S., Yahya H., Nagaz K., Ferchichi A., 2016-** Etudes de la variabilité biochimique de cinq cultivars de *Chenopodium quinoa*. *Journal of new sciences, agriculture and biotechnology*. 25(5): 1161-1166.
- **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.
- **Vidal A. et al., 2013-** Catélogo de variedades comerciales de quinoa en le Perú. FAO et INIA. Perú, p : 26-65.
- **Yazar A., İnce Kaya C., 2014-** A New Crop for Salt Affected and Dry Agricultural Areas of Turkey: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Çukurova University. Adana. Turkey. Vol (2). 1440-1446.

Annexes

Annexe 01: Fiches techniques des quatre variétés de quinoa

Amarilla marangani		
DONNÉES GÉNÉRALES		
Nom de la variété : <i>Amarilla marangani</i>		
Lieu et année de sortie : Région de Cusco		
Adaptation : Adaptation optimale dans les sols des vallées inter andines des régions de Cusco et Apurimac, jusqu'à 3650 m		
DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE		
Description générale		
Type de croissance : Herbacé		
Cycle végétatif : Cycle végétatif: 190 à 210 jours		
Hauteur de la plante: 1,65 à 1,70 m		
Rendement moyen en grains: 3,50 t / ha		
Caractéristiques de la tige		
Forme de la tige principale: angulaire		
Diamètre de la tige: 1,30 à 1,70 cm		
Présence de vergetures: Présent		
Couleur Stria: Violet		
Couleur de la tige principale: jaune		
Présence de ramification: Présent		
Caractéristiques de la feuille		
Bord des feuilles inférieures: Dents		
Dents de feuilles: 8 à 14 dents		
Longueur maximale du pétiole: 7,00 à 9,20 cm		
Longueur maximale des feuilles: 9,50 à 11,00 cm		
Largeur maximale des feuilles: 8,50 à 9,20 cm		
Couleur des feuilles: vert		
Caractéristiques de la panicule		
Couleur de la panicule en floraison: Orange		
Couleur de la panicule à maturité physiologique: Orange		
Forme de la panicule: Amarantifomre		
Longueur de la panicule : 40,00 à 65,00 cm		
Densité de panicule: compacte		
Diamètre de la panicule: 8.40 à 10.90 cm		
Longueur des glomérules: 5,80 à 6,90 cm		
Nombre de panicules par plante: 1		
Caractéristiques du grain		
Aspect du grain: opaque		
Couleur du péricarpe Jaune		
Couleur du périsperme: blanc		
Forme de bord de grain: affûtage		
Forme du grain: cylindrique		
Uniformité de la couleur des grains: uniforme		
Diamètre du grain: 2.00 mm		
Rendement en graines par plante: 85.00 à 97.00 g		

Amarilla sacaca	
DONNÉES GÉNÉRALES	
Nom de la variété : Amarilla sacaca	
Lieu et année de sortie : Région de Cuzco, 2011	
Adaptation : Adaptation optimale dans les sols des vallées inter andines des régions de Cusco et Apurímac, entre 2750 et 3650 mètres d'altitude	
DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE	
Description générale	
Type de croissance : Herbacé	
Cycle végétatif : 160 à 170 jours	
Hauteur de la plante: 1,50 à 1,70 m	
Rendement moyen en grains: 3,50 t / ha	
Caractéristiques de la tige	
Forme de la tige principale: angulaire	
Diamètre de la tige: 1,30 à 1,70 cm	
Présence de vergetures: Présent	
Couleur Stria: Violet	
Couleur de la tige principale: vert	
Présence de branchement: Présent	
Caractéristiques de la feuille	
Bord des feuilles inférieures: Dents	
Dents de feuilles: 12 à 16 dents	
Longueur maximale du pétiole: 6,50 à 7,00 cm	
Longueur maximale des feuilles: 9.00 à 11.00 cm	
Largeur maximale des feuilles: 8,10 à 9,20 cm	
Couleur des feuilles: vert	
Caractéristiques de la panicule	
Couleur de la panicule en floraison: Orange	
Couleur de la panicule à maturité physiologique: Orange	
Forme de la panicule: Amarante	
Longueur du panicule: 30.00 à 68.00 cm	
Densité de panicule: intermédiaire	
Diamètre de la panicule: 10.00 à 13.00 cm	
Longueur des glomérules: 6.10 à 6.90 cm	
Nombre de panicules par plante: 1	
Caractéristiques du grain	
Aspect du grain: opaque	
Couleur du péricarpe: jaune	
Couleur du périsperme: blanc	
Forme de bord de grain: affûtage	
Forme du grain: cylindrique	
Uniformité de la couleur des grains: assez uniforme	
Diamètre du grain: 2.10 mm	
Rendement en graines par plante: 82.00 à 94.00 g	

Blanca de junin		
DONNÉES GÉNÉRALES		
Nom de la variété : Blanca de junin		
Lieu et année de sortie : Région de Junín		
Adaptation : Adaptation optimale dans les sols des vallées inter andines jusqu'à 3500 mètres d'altitude.		
DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE		
Description générale		
Type de croissance : Herbacé		
Cycle végétatif : 160 à 180 jours		
Hauteur de la plante: 1,50 à 1,70 m		
Rendement moyen en grains: 2,50 t / ha		
Caractéristiques de la tige		
Forme de la tige principale: aucun angle		
Diamètre de la tige: 1,50 à 1,75 cm		
Présence de vergetures: Présent		
Couleur Stria: vert		
Couleur de la tige principale: vert		
Présence de ramification: Présent		
Caractéristiques de la feuille		
Bord des feuilles inférieures: Dents		
Dents de feuilles: 4 à 8 dents		
Longueur maximale du pétiole: 5,30 à 6,60 cm		
Longueur maximale des feuilles: 6.50 à 8.30 cm		
Largeur maximale des feuilles: 3.50 à 4.80 cm		
Couleur des feuilles: vert		
Caractéristiques de la panicule		
Couleur de la panicule en floraison: Vert		
Couleur de la panicule à maturité physiologique: gris		
Forme de la panicule: glomérulée		
Longueur du panicule : 33.40 à 48.50 cm		
Densité de panicule: intermédiaire		
Diamètre de la panicule: 7.80 à 9.30 cm		
Longueur des glomérules: 8,30 à 11.20 cm		
Nombre de panicules par plante: 1		
Caractéristiques du grain		
Aspect du grain: opaque		
Couleur du péricarpe: Crème		
Couleur du périsperme: blanc		
Forme de bord de grain: affûtage		
Forme du grain: cylindrique		
Uniformité de la couleur des grains: uniforme		
Diamètre du grain: 2.20 mm		

Salcedo inia	
DONNÉES GÉNÉRALES	
Nom de la variété : Salcedo inia	
Lieu et année de sortie : Région de Puno, 1995	
Adaptation : Adaptation optimale dans la zone agro-écologique autour de l'altiplano entre 3800 et 3950 m d'altitude, et Vallées inter-andines et côtes de 640 à 1314 m d'altitude, dans les sols à texture sableuse.	
DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE	
Description générale	
Type de croissance: Herbacé	
Cycle végétatif : 150 jours pour les hauts plateaux : 135 jours pour les vallées inter-andines : 120 jours pour la côte	
Hauteur de la plante: 1,48 à 1,70 m	
Rendement moyen en grains: 2,50 t / ha dans les hautes terres andines, 6,50 t / ha sur la côte et les vallées inter-andines	
Caractéristiques de la tige	
Forme de la tige principale: aucun angle	
Diamètre de la tige: 1,90 à 2,30 cm	
Présence de vergetures: Présent	
Couleur Stria: vert clair	
Couleur de la tige principale: vert	
Présence de ramification: Absent	
Caractéristiques de la feuille	
Bord des feuilles inférieures: Dents	
Dents de feuilles: 12 à 30 dents	
Longueur maximale du pétiole: 5,10 à 6,30 cm	
Longueur maximale des feuilles: 10,40 à 11,20 cm	
Largeur maximale des feuilles: 8,60 à 10,50 cm	
Couleur des feuilles: vert	
Caractéristiques de la panicule	
Couleur de la panicule en floraison: Vert	
Couleur de la panicule à maturité physiologique: blanc	
Forme de la panicule: glomérulée	
Longueur du panicule : 34.00 à 40.00 cm	
Densité de panicule: compacte	
Diamètre de la panicule: 8.40 à 10.90 cm	
Longueur des glomérules: 6,30 à 8,50 cm	
Nombre de panicules par plante: 1	
Caractéristiques du grain	
Aspect du grain: opaque	
Couleur du péricarpe: Crème	
Couleur du périsperme: blanc	
Forme de bord de grain: affûtage	
Forme du grain: cylindrique	
Uniformité de la couleur des grains: assez uniforme	
Diamètre du grain: 2.00 mm	
Rendement en graines par plante: 40,00 à 48,73 g	

Annexes

Annexe 02: Analyses statistiques

1. La longueur des plantes

Source	DL	SC	CM	F	P
C4	3	1830	610	3,88	0,017
Erreur	36	5664	157		
Total	39	7494			

				IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé			
Niveau	N	Moyenne	EcartType	-----+-----+-----+-----+-----			
1	10	69,10	13,96		(-----*-----)		
2	10	72,50	12,63		(-----*-----)		
3	10	70,40	11,53		(-----*-----)		
4	10	55,30	11,91	(-----*-----)			
Ecart-type groupé = 12,54				-----+-----+-----+-----+-----	50	60	70 80

2. Surface foliaire

Source	DL	SC	CM	F	P
C2	3	337,2	112,4	1,88	0,187
Erreur	12	718,7	59,9		
Total	15	1055,8			

				IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé			
Niveau	N	Moyenne	EcartType	-----+-----+-----+-----+-----			
1	4	32,380	7,359		(-----*-----)		
2	4	38,038	7,214		(-----*-----)		
3	4	30,808	9,713		(-----*-----)		
4	4	25,149	6,245	(-----*-----)			
Ecart-type groupé = 7,739				-----+-----+-----+-----+-----	20	30	40 50

3. Le poids frais de Partie aérienne

Source	DL	SC	CM	F	P
C12	3	2719,1	906,4	13,30	0,002
Erreur	8	545,1	68,1		
Total	11	3264,2			

				IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé			
Niveau	N	Moyenne	EcartType	-----+-----+-----+-----+-----			
1	3	71,650	7,350		(-----*-----)		
2	3	59,033	5,331		(-----*-----)		
3	3	42,100	8,508	(-----*-----)			
4	3	32,650	10,850	(-----*-----)			
Ecart-type groupé = 8,255				-----+-----+-----+-----+-----	40	60	80

4. poids frais de Partie racinaire

Source	DL	SC	CM	F	P
C8	3	37,61	12,54	6,03	0,019
Erreur	8	16,64	2,08		
Total	11	54,25			

				IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé			
Niveau	N	Moyenne	EcartType	-----+-----+-----+-----+-----			
1	3	7,367	1,415		(-----*-----)		
2	3	4,900	0,361		(-----*-----)		
3	3	3,867	1,848	(-----*-----)			
4	3	2,533	1,665	(-----*-----)			
Ecart-type groupé = 1,442				-----+-----+-----+-----+-----	2,5	5,0	7,5

Annexes

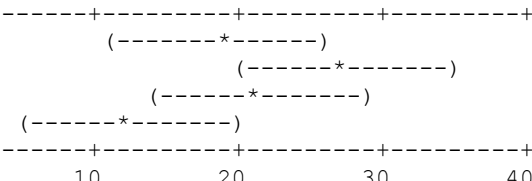
5. Le poids sec de Partie aérienne

Source	DL	SC	CM
C14	3	349,3	116,4
Erreur	8	264,6	33,1
Total	11	613,9	

IC individuel à 95% pour la moyenne
Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcarType
1	3	18,700	7,200
2	3	27,367	3,917
3	3	21,400	6,594
4	3	12,350	4,650

Ecart-type groupé = 5,751



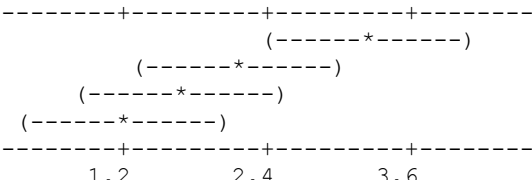
6. Le poids sec de Partie racinaire

Source	DL	SC	CM
C10	3	6,847	2,282
Erreur	8	3,240	0,405
Total	11	10,087	

IC individuel à 95% pour la moyenne
Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcarType
1	3	3,2333	0,6658
2	3	2,1667	0,3055
3	3	1,6667	0,6429
4	3	1,2000	0,8185

Ecart-type groupé = 0,6364



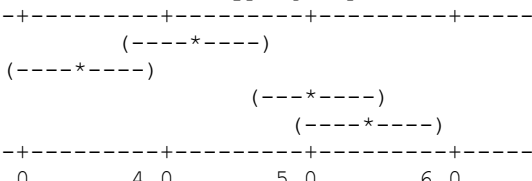
7. Contenu en Chlorophylle (a) dans les feuilles

Source	DL	SC	CM
C2	3	7,235	2,412
Erreur	8	1,052	0,131
Total	11	8,286	

IC individuel à 95% pour la moyenne
Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcarType
1	3	4,2189	0,1143
2	3	3,3977	0,0476
3	3	5,0415	0,6213
4	3	5,4084	0,3530

Ecart-type groupé = 0,3626



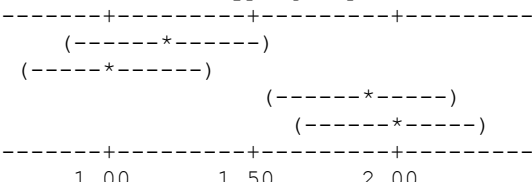
8. Contenu en Chlorophylle (b) dans les feuilles

Source	DL	SC	CM
C4	3	2,0688	0,6896
Erreur	8	0,5132	0,0641
Total	11	2,5820	

IC individuel à 95% pour la moyenne
Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcarType
1	3	1,1986	0,0851
2	3	1,0211	0,0237
3	3	1,8792	0,3763
4	3	1,9764	0,3274

Ecart-type groupé = 0,2533



Annexes

9. contenu en Chlorophylle (a+b) dans les feuilles

Source	DL	SC	CM	F	P
C6	3	18,624	6,208	49,91	0,000
Erreur	8	0,995	0,124		
Total	11	19,619			

IC individuel à 95% pour la moyenne
Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcartType
1	3	5,7333	0,1955
2	3	4,6744	0,0506
3	3	7,3090	0,3064
4	3	7,8005	0,6024

Ecart-type groupé = 0,3527

10. Contenu en Caroténoïde dans les feuilles

Source	DL	SC	CM	F	P
C8	3	1,5124	0,5041	19,40	0,000
Erreur	8	0,2079	0,0260		
Total	11	1,7203			

IC individuel à 95% pour la moyenne
Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcartType
1	3	1,2591	0,1101
2	3	1,0269	0,0313
3	3	1,7777	0,1786
4	3	1,8820	0,2428

Ecart-type groupé = 0,1612

Source	DL	SC	CM	F	P
C8	3	1,5124	0,5041	19,40	0,000
Erreur	8	0,2079	0,0260		
Total	11	1,7203			

IC individuel à 95% pour la moyenne
Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcartType
1	3	1,2591	0,1101
2	3	1,0269	0,0313
3	3	1,7777	0,1786
4	3	1,8820	0,2428

Ecart-type groupé = 0,1612

11. Contenu en sucres solubles dans les feuilles

Source	DL	SC	CM	F	P
C20	3	2,7666	0,9222	11,38	0,003
Erreur	8	0,6485	0,0811		
Total	11	3,4151			

IC individuel à 95% pour la moyenne
Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcartType
1	3	1,8408	0,2430
2	3	1,4359	0,2921
3	3	2,0149	0,4101
4	3	2,7610	0,1086

Ecart-type groupé = 0,2847

12. Contenu en protéines totaux dans les feuilles

Source	DL	SC	CM	F	P
C22	3	26,553	8,851	19,19	0,001
Erreur	8	3,689	0,461		
Total	11	30,243			

IC individuel à 95% pour la moyenne
Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcartType
--------	---	---------	-----------

Annexes

1	3	14,291	0,650	(-----*-----)
2	3	14,184	1,117	(-----*-----)
3	3	11,844	0,268	(-----*-----)
4	3	10,851	0,319	(-----*-----)
Ecart-type groupé = 0,679				-----+-----+-----+-----+-----
				10,5 12,0 13,5 15,0

13. Contenu en sucres solubles dans les graines

Source	DL	SC	CM	F	P
C24	3	6494,1	2164,7	47,18	0,000
Erreur	8	367,0	45,9		
Total	11	6861,1			
IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé					
Niveau	N	Moyenne	EcarType	-----+-----+-----+-----+-----	
1	3	113,14	1,74	(--*--)	
2	3	99,02	8,21	(---*--)	
3	3	68,13	9,30	(--*--)	
4	3	55,05	5,15	(---*--)	
Ecart-type groupé = 6,77				-----+-----+-----+-----+-----	
				50 75 100 125	

14. Contenu en protéines totaux dans les graines

Source	DL	SC	CM	F	P
C27	3	75,60	25,20	6,98	0,013
Erreur	8	28,90	3,61		
Total	11	104,49			
IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé					
Niveau	N	Moyenne	EcarType	-----+-----+-----+-----+-----	
1	3	63,499	1,494	(-----*-----)	
2	3	70,288	1,646	(-----*-----)	
3	3	65,447	2,934	(-----*-----)	
4	3	67,414	0,950	(-----*-----)	
Ecart-type groupé = 1,901				-----+-----+-----+-----+-----	
				63,0 66,5 70,0 73,5	

16. Poids de 1000 graines

Source	DL	SC	CM	F	P
C6	3	5,3498	1,7833	78,30	0,000
Erreur	8	0,1822	0,0228		
Total	11	5,5320			
IC individuel à 95% pour la moyenne Basé sur Ecart-type groupé					
Niveau	N	Moyenne	EcarType	-----+-----+-----+-----+-----	
1	3	1,9800	0,2651	(--*--)	
2	3	3,1233	0,1097	(--*--)	
3	3	3,7467	0,0808	(--*--)	
4	3	3,4367	0,0473	(--*--)	
Ecart-type groupé = 0,1509				-----+-----+-----+-----+-----	
				1,80 2,40 3,00 3,60	

Annexe 03: Protocole d'analyse de sol

Mesure de pH et conductivité électrique

- Peser 10g d'échantillon de sol.
- Ajout 50ml de l'eau distillé.
- Agitation par vortex pendant 15min, et laisser la solution reposer pendant 15min.
- Mesure direct par appareil:
 - pH mètre donné valeur pH.
 - Conductimètre donné valeur conductivité électrique.