



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

N série:

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

Université Echahid Hamma Lakhdar -El OUED

كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم بيولوجيا

Département de biologie

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

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

Sciences biologiques

Spécialité : Biodiversité et physiologie végétale

THEME

Evaluation du comportement morpho-physiologique,
biochimique et antioxydants des quelques variétés de
quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivées dans la
région d'El Oued

Présentés Par :

M^{elle} OUCIF BEDIDA Zineb

M^{elle} ZOUARI AHMED Fatma

Soutenu le: 04 /06/2018

Devant le jury composé de :

Président: Mme ALLIAT M S	M.A.A,	Université d'El Oued.
Promoteur: Mme BEN KADDOUR M	M.C.B,	Université d'El Oued.
Co promoteur: Mr BELHABIB A	M.A.A,	Université d'El Oued.
Examineur: Mr ZAATER A	M.A.A,	Université d'El Oued.
Membre invitée: KHALED H	Chercheure,	ITDAS de Djamaa.

Année universitaire: 2017/2018

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Avant toute chose, nous remercions « Allah », l'omnipotent, pour nos avoir donné la force, la patience et le courage pour mener ce travail à son terme.

À nos présidents de mémoire, Mme **Alliat Moufida Sawsan**, qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de cette mémoire.

À notre encadreur de mémoire, Mme **Benkaddour Mounya**, pour avoir accepté de nous encadrer pour son dynamisme, son aide et ses précieux conseils, nos ont permis d'avancer plus loin dans mes recherches.

À notre co-encadreur de mémoire, Mr **Belahbib abdelhamid**, son aide et ses précieux conseils, nos ont permis d'avancer plus loin dans mes recherches.

À notre jury de mémoire, Mr **Zaater Abdelmalek** qui nous ont fait l'honneur de juger ce travail que ce travail soit le témoignage de notre reconnaissance et de notre profond respect.

Remercier Directeur L'ITDAS de Djamaa M^{elle} **Khaled Halima**, pour avoir présence soutenu ce travail.

Remercier aussi tous les professeurs de département de la science de la nature et de la vie.

Remercier le responsable des laboratoires département de la science de la nature et de la vie M^{elle} **Sana**, et tout l'ensemble des techniciens du laboratoire surtout Mme **Latifa**.

Nos remerciements vont également à M^{elle} **Zouari Ahmed Khadidja** pour se aide précieuse à réalisation de ce travail, et le service que se fourni tout au long de notre parcours universitaire.

Remercier L'ITDAS de Djamaa pour leur fournir nos les semences. Aussi compagnie algérienne des eaux pour analyse l'échantillon de l'eau d'irrigation.

Nous remercions notre famille pour leur aides durent mes études et leur soutiens.

A la fin nous remercions toute personne qui nous a aidés de près ou de loin.

Résumé

Ce travail consiste à évaluer le comportement morpho-physiologique, biochimique et antioxydants des trois variétés de plante de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Blanca de Junín*, *Santa maria*, *Sajama*. Cultivé dans la région d'El Oued (zone aride), on a pris en étude des paramètres de longueur et la ramification, surface foliaire, poids de plante et rendement, aussi contenu des pigments photosynthétiques et les sucres, les protéines et l'activité antioxydants. L'essai a été réalisé au sein du champ expérimental et au laboratoire de la faculté de biologie, université echahid hamma Lakhdar d'El Oued, pour l'année universitaire 2017/2018.

Les résultats obtenus ont montré une supériorité chez la variété *Blanca de Junín* en paramètres morphologiques et en teneur les pigments photosynthétiques, aussi les poids frais des parties aériennes et les poids frais et sec des parties racinaire, le poids sec des parties aériennes est important chez la variété *Santa maria*. L'activité des enzymes antioxydants a été très importante avec la même variété. Les contenus en sucres solubles et protéines totaux dans les feuilles et les grains sont élevés chez la variété *Sajama*. Pour les composant de rendement (PMG) a été élevée chez les variétés *Santa maria* et *Sajama*.

Mots- clés: Comportement- Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) - Morpho-physiologiques, Biochimiques, Antioxydants- Zone aride.

الملخص

هذا العمل يهدف إلى تقييم السلوك المورفو- فيزيولوجي، البيوكيميائي والمضاد للأكسدة لثلاث أنواع من نبات الكينوا (*Chenopodium quinoa* Willd): بلانكا دي جينين، سانتا ماريا، ساجاما مزروعة في منطقة الوادي (منطقة جافة)، وتمثل في دراسة معايير طول وعدد أفرع النباتات، مساحة الورقة، و وزن النبات و المردود، كذلك الكلوروفيل و السكريات، البروتينات و النشاطية المضادة للأكسدة، حيث نفذت الدراسة في حقل تجارب و مخبر كلية علوم الطبيعة و الحياة، جامعة الشهيد حمه لخضر للسنة الجامعية 2017/ 2018.

النتائج المتحصل عليها أظهرت تفوق عند نوع بلانكا دي جينين في المعايير المورفولوجية ومحتوى الأصبغة الضوئية، كذلك الوزن الرطب للأجزاء الهوائية والوزن الرطب و الجاف للأجزاء الجذرية، الوزن الجاف للجزء الهوائي كان معتبر عند نوع سانتا ماريا والنشاطية المضادة للأكسدة كانت جد معتبرة مع نفس النوع. النوع ساجاما كان متفوق في محتوى السكريات الذائبة و البروتينات الكلية في الأوراق والبدور. بالنسبة لمكونات المردود (وزن 1000 حبة) كانت مرتفعة عند كل من نوع سانتا ماريا وساجاما.

الكلمات المفتاحية: سلوك، الكينوا (*Chenopodium quinoa* Willd)، المورفو - فيزيولوجي، البيو كيميائي، المضاد للأكسدة، منطقة جافة.

LISTE DES ABREVIATION

ANOVA: Analysis of Variance

APX: Ascorbate peroxidase

ASS: Acide Sulfosalicylique

BBC: Coomassie Brilliant Blue R-250

BSA: Bovine serum albumin.

Ca Co₃: Carbonates de calcium

Car: Caroténoïde

CAT: Catalase.

CDNB: 1-chloro-2-4-dinitrbenzene

CE: Conductivité électrique

Chl: Chlorophylle

DO: Densités optiques

DTNB: Acide 5-5'- dithio-bis-2-nitrobénzoïque

EDTA: Ethylène diamine tétra-acétique

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

G%: Pourcentage de germination

GSH: Glutathion

GST: Glutathion S – transferase

H₂O₂: Peroxyde d'hydrogène

ITDAS: Institut technique pour le développement agricole de la saharienne

M: Molarite

MF: Matière frais

mmol: Millimole

MS: Matière sec

NTU: Nephelometric Turbidity Units

pH: Potentiel d'Hydrogene

PMG: Poids mille graines

ROS: Réactives de l'oxygène

SOD: Superoxyde dismutase

T: Température

TCA: Acide trichloracétique

TDS: Taux d'adsorption de sodium

Tr: Tour

μ: Micron

TABLEAU DES FIGURES

Numéro	Titre	Page
Figure 01	Graines de <i>C. suecicum</i> , <i>C. pallidicaule</i> et <i>C. quinoa</i>	06
Figure 02	Répartition géographique de quinoa	07
Figure 03	Aspect morphologiques général d'une plante de quinoa	08
Figure 04	Système racinaire de quinoa	09
Figure 05	Forme de la tige principale (coupe transversale)	09
Figure 06	Forme des feuilles	10
Figure 07	Forme des panicules	11
Figure 08	Fleurs hermaphrodites et femelles de quinoa	12
Figure 09	Forme des grains	13
Figure 10	Phénologie de quinoa	16
Figure 11	Carte géographique du Souf.	30
Figure 12	Températures maximal, minimal et moyennes mensuelles durant l'année 2016 et 2017	31
Figure 13	Précipitations moyennes mensuelles de la région d'étude durant l'année 2016-2017	32
Figure 14	Semences des trois variétés de quinoa	32
Figure 15	Dispositif expérimental (09parcelle)	33
Figure 16	Stade de maturité physiologique	36
Figure 17	Opération séchage des panicules sous rayonnement de soleil	36
Figure 18	Etapes de criblage graines de quinoa	37
Figure 19	Le poids frais et sec des parties aériennes et racinaires	39
Figure 20	Moyen longueur des trois variétés de quinoa	47
Figure 21	Moyen nombres ramifications des trois variétés de quinoa	47
Figure 22	Moyen surface de foliaire des trois variétés de quinoa	48
Figure 23	Contenu de chlorophylle a des feuilles des trois variétés de quinoa	49
Figure 24	Contenu de chlorophylle b des feuilles des trois variétés de quinoa	49
Figure 25	Contenu de chlorophylle a +b des feuilles des trois variétés de quinoa	50
Figure 26	Contenu de caroténoïde des feuilles des trois variétés de quinoa	51
Figure 27	Le poids frais des parties aériennes des trois variétés de quinoa	51

Figure 28	Le poids frais des parties racinaires des trois variétés de quinoa	52
Figure 29	Le poids sec des parties aériennes des trois variétés de quinoa	53
Figure 30	Le poids sec des parties racinaires des trois variétés de quinoa	53
Figure 31	Moyen poids des 1000 graines (PMG) des trois variétés de quinoa	54
Figure 32	Contenu des sucres solubles des feuilles des trois variétés de quinoa	55
Figure 33	Contenu des protéines totales des feuilles des trois variétés de quinoa	55
Figure 34	Activité de catalase (CAT) des trois variétés de quinoa	56
Figure 35	Activité du glutathion (GSH) des trois variétés de quinoa	57
Figure 36	Activité spécifique de la glutathion S –transferase (GST) des trois variétés de quinoa	57
Figure 37	Contenu des sucres solubles dans les graines des trois variétés de quinoa	58
Figure 38	Contenu des protéines dans les graines des trois variétés de quinoa	59

TABLEAU DES TABLEAUX

Numéro	Titre	Page
Tableau 01	Classification scientifique de quinoa	05
Tableau 02	Mécanismes de résistance de quinoa à la sécheresse	20
Tableau 03	Mécanismes de résistance de quinoa au froid	21
Tableau 04	Exemples de certains des ravageurs affectant de quinoa	23
Tableau 05	Propriétés médicinales (prophylactique, thérapeutique) de quinoa	24
Tableau 06	Les paramètres chimiques de sol cultural	34
Tableau 07	Les paramètres physico-chimiques d'eau irrigation	35
Tableau 08	Résultats test de germination	46

Sommaire

Dédicace	
Remerciements	
Résumé et mots-clés	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	
Première partie: Analyse bibliographique	
Chapitre I: Généralité sur la culture de quinoa	
Introduction	03
1- Historique	04
2- Classification scientifique de quinoa	05
3- Origine génétique	05
4- Répartition géographique	06
5- Importance économique de quinoa	07
6- Description botanique	08
6-1- Racine	08
6-2- Tige	09
6-3- Feuilles	10
6-4- Panicule	10
6-5- Fleur	11
6-6- Fruit	12
7- Caractères physiologique	13
8- Phénologie de quinoa	13
9- Biologie reproductive	17
10- Variétés de quinoa	17
10-1- Quinoas des vallées arides (Junin) et des vallées humides (Cajamarca)	17

10-2- Quinoas de l'Altiplano (blancs autour du lac Titicaca et colorés dans la zone agro-écologique de Suni)	17
10-3- Quinoa des déserts de sel (sud de la Bolivie)	18
10-4- Quinoas du niveau de la mer au Chili	18
10-5- Quinoas de la zone agro-écologique Yunga et des sub tropiques (Bolivie)	18
11- Besoin écologique de quinoa	18
11-1- Besoins climatique	18
11-2- Besoins terrestre	19
12- Mécanismes de résistance chez le quinoa	19
12-1- Résistance à la sécheresse	19
12-2- Résistance au froid	21
12-3- Résistance à la salinité	22
12-4- Résistantes à la Vent, neige, grêle	22
12-5- Résistantes aux maladies, parasites et ravageurs	22
13- Les maladies et ravageurs de quinoa	23
14- Propriétés médicinales	24
15- Production et commercialisation	24
Conclusion	25
Chapitre II: Etude biochimique de quinoa	
Introduction	26
1- Valeur nutritive	26
1-1- Carbohydrates	26
1-2- Protéines et acides aminés	26
1-3- Lipides	27
1-4- Fibres	27
1-5- Vitamines	27
1-6- Les minéraux	28
2- Composés bioactifs dans le quinoa	28
2-1- Saponines (triterpénoïde glycosides)	28
2-2- Les polyphénols	28

2-3- Les caroténoïdes	29
Conclusion	29
Deuxième parties: Etude experimental	
Chapitre III: Matériel et méthode	
1-Présentation des sites d'étude	30
1-1-Situation géographique	30
1-2-Facteurs climatiques	31
2-Matériel végétal	32
3- Méthodes	33
3-1- Dispositif expérimental	33
3-2- Analyse de sol	33
3-3- Mode de la culture de quinoa	34
4- Paramètres étudiés	37
4-1- Paramètres morphologiques de quinoa	37
4-1-1- La longueur et ramifications des plantes	37
4-1-2- Surface foliaire	37
4-2- Paramètres physiologiques de quinoa	38
4-2-1- Dosage des pigments photosynthétiques	38
4-2-2- Estimation la biomasse frais et sec de quinoa	38
4-3- Poids des 1000 graines(PMG)	39
4-4- Contenu biochimique de quinoa	39
4-4-1- Contenu biochimiques des feuilles	40
4-4-1-1- Dosage des sucres solubles	40
4-4-1-2-Dosage de protéines totales	40
4-4-1-3-Dosage des antioxydants	41
4-4-1-3-1-Dosage d'activité de la catalase(CAT)	41
4-4-1-3-2-Dosage d'activité du glutathion (GSH)	42
4-4-1-3-3-Dosage d'activité du glutathion S – transferase (GST)	43
4-4-2- Contenu biochimique des grains	44
4-4-2-1- Dosage des sucres solubles	44

4-4-2-2- Dosage de protéines totales	44
5- Analyses statistiques	45
Chapitre IV: Résultats et Discussion	
Résultats	46
1-Résultats test de germination	46
2-Résultats études paramètres morphologiques de quinoa	46
2-1-La longueur des plantes	46
2-2-La ramification des plantes	47
2-3-Surface foliaire	48
3- Paramètres physiologiques de quinoa	48
3-1-Paramètre de pigments photosynthétiques	48
3-2-Le poids frais de plante	51
3-3-Le poids sec de plante	52
4-Poids des 1000 graines(PMG)	54
5-Résultats études biochimiques de quinoa	54
5-1- Contenu biochimiques des feuilles	54
5-1-1- Contenu des sucres solubles	54
5-1-2- Contenu des protéines totales	55
5-1-3- Résultats l'activité des antioxydants	56
5-1-3-1- Activité d'enzyme Catalase(CAT)	56
5-1-3-2- Activité du glutathion(GSH)	56
5-1-3-3- Activité d'enzyme glutathione S – transferase (GST)	57
5-2- Contenu biochimiques des grains	58
5-2-1- Contenu des sucres solubles	58
5-2-2- Contenu des protéines totales	58
Discussion	59
Conclusion générale	
Références bibliographiques	
Annexes	

Introduction générale

Introduction générale

Pendant des milliers d'années, le quinoa (*Chenopodium quinoa*) a été l'aliment principal des cultures anciennes des Andes et sa distribution couvre différentes zones agroécologiques de la région. Aujourd'hui, le quinoa est en pleine expansion car il présente un potentiel considérable pour améliorer les conditions de vie des populations des Andes et du monde (FAO, 2013). Le quinoa est l'un des grains les plus nutritifs utilisés comme nourriture et il a été sélectionné par la FAO comme l'une des cultures destinées à offrir la sécurité alimentaire (Repo-Carrasco-Valencia et Serna, 2009).

Cette espèce dispose d'une remarquable capacité d'adaptation à différents milieux agroécologiques et à différentes altitudes, doublée d'une résistance naturelle aux sols arides, et une culture qui peut jouer un rôle majeur dans la lutte contre la faim (FAO, 2016), il est considéré comme ayant une valeur nutritionnelle élevée, principalement en raison d'un niveau élevé en quantité et en qualité des protéines par rapport à d'autres sources de protéines (Avila Ruiz, 2016). et aux acides gras essentiels ainsi qu'à une large gamme de minéraux et de vitamines (Stikić et al., 2015). Le quinoa sans gluten où les études ont montré que la consommation régulière de quinoa améliore l'intestin grêle de céliaques et rend leurs villosités intestinales à la normale, beaucoup plus rapidement qu'avec un régime sans gluten simple (FAO, 2011).

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

La FAO a mis en place un projet régional dans plusieurs pays du Proche-Orient et d'Afrique du Nord, dont l'Algérie. Le pays a pu ainsi profiter des compétences techniques de la FAO pour évaluer dans quelle mesure cette culture non traditionnelle pourrait être adoptée par les producteurs et acceptée par les consommateurs. Grâce à cette intervention, il a été possible de fournir des variétés de quinoa adaptées et de qualité, tout en améliorant les modes de culture et d'exploitation (FAO, 2016).

Introduction générale

Notre objectif de travail vise à évaluer l'introduction d'une nouvelle culture dans un milieu aride, puisque ce milieu présente des contraintes environnementales comme la salinité et les sécheresses.

Notre étude comporte deux parties:

La première partie concerne une étude bibliographique comportant deux chapitres:

Chapitres I: Généralités sur la culture de quinoa.

Chapitres II: Etude biochimique de quinoa.

La deuxième partie se consacre à l'étude expérimentale comportant deux chapitres:

Chapitres III: Matériel et Méthodes.

Chapitre IV: Résultats et Discussion.

Conclusion et Résumé.

Première partie

Analyse bibliographique

Chapitre I

Généralités sur la culture de quinoa

Introduction

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) est un mot d'origine quechua en espagnole désignant “ une plante annuelle ” (Del Castillo et al., 2008), en incas désignait sous le nom de “chisaya mama”: La mère de toutes les grains (Anonyme 01). Sont originaires de la région des andes d'amérique du sud (Smole et al., 2013), qui pousse du niveau de la mer à une altitude de 4000 m (Merchiers, 2017). Cette plante peut être défini comme un halophyte facultatif plutôt que d'un glycophyte (Yazar et İnce Kaya, 2014). Le quinoa n'est pourtant pas considéré comme une céréale en tant que telle puisqu'elle appartient à la famille des Chénopodiacées et non à celle des Poacées. On la qualifie donc parfois de “ pseudo-céréale ” (Carciochi, 2013; Vega-Gálvez et al., 2010). Il est devenu une culture mineure, dont seules les populations indigènes ont poursuivi la production pour leur consommation locale dans les régions montagneuses, où il est tout de même demeuré la plante à graine la plus cultivée de par sa tolérance aux conditions climatiques difficiles (Lebonvallet, 2008).

1- Historique

Selon les traces archéologiques découvertes dans les grottes d'Ayacucho au Pérou (**Del Castillo et al., 2008**). Le quinoa est une plante originaire des Andes en Amérique du sud (région du lac Titicaca), principalement au Pérou et en Bolivie (**Cercam, 2014**). D'après les témoignages historiques, Le quinoa aurait été domestiqué il y a plus de 7000 ans par les peuples andins. Le quinoa a été cultivé par les agriculteurs dans l'Amérique latine et les plus anciens vestiges de quinoa ont été retrouvés à Ayacucho au Pérou et dataient de plus de 5000 ans avant J-C (**Bhargava et al., 2013; Herbillon, 2015**). Cette culture constituait un aliment de base des populations entre 3000 et 5000 ans avant J-C. Le développement technique du quinoa était bien avancé et réparti sur tout le territoire des incas. Avec l'arrivée des espagnols, cette culture fût remplacée par les céréales (**Cercam, 2014**). C'est une culture utilisée par les agriculteurs précolombiens en Amérique du Sud pendant des siècles. Là C'est une longue histoire d'utilisation sécuritaire du grain en Amérique du sud (**Repo- Carrasco-Valencia et Serna, 2009**). D'autre provenant de chinchorro dans le nord du chili dataient de 3000 ans avant J-C. D'autres preuves archéologiques, ont été trouvées dans des tombes indigènes à Tarapacà, Calama et Arica au chili, ainsi que dans différentes régions du Pérou. Des graines ont également été retrouvées en quantité abondante dans des sépultures indigènes à Tiltil et quillaga au chili (**Herbillon, 2015**).

2- Classification scientifique de quinoa

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

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

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

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

3- Origine génétique

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

Le nombre chromosomique de base de quinoa est $x = 9$ et leur somatique le nombre de chromosomes est $2n = 4x = 36$ (Lutz et Bascuñán-Godoy, 2017; Bhargava et al., 2006).

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

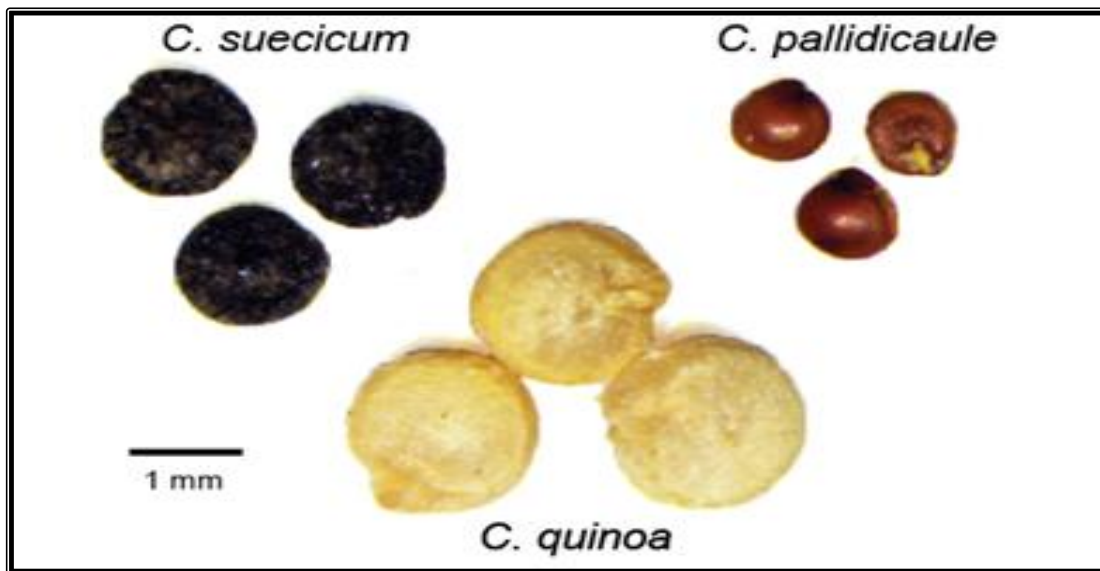


Figure 01: Graines de *C. suecicum*, *C. pallidicaule* et *C. quinoa* (David et al., 2017).

4- Répartition géographique

Le quinoa peut être considéré comme une espèce oligocentrique avec un large centre d'origine et une diversification multiple. La région andine et dans cette région les rives du lac Titicaca, est le lieu qui présente la plus grande diversité et variation génétique de cette espèce (FAO, 1994). La culture de quinoa est en pleine expansion et on la trouve désormais dans plus de 70 pays (Cercam, 2014). Le quinoa est distribué dans toute la région andine, de la Colombie (Pasto) au nord de l'Argentine (Jujuy et Salta) et au Chili (Antofagasta), où un groupe des quinoas a été trouvé au niveau de la mer dans la région de Bío Bío. l'Altiplano du Pérou et de la Bolivie (FAO, 2011). Le quinoa est aussi devenue l'objet d'une culture d'exportation à destination des pays du Nord (Europe, Etats-Unis, Canada) (Del Castillo et al., 2008).

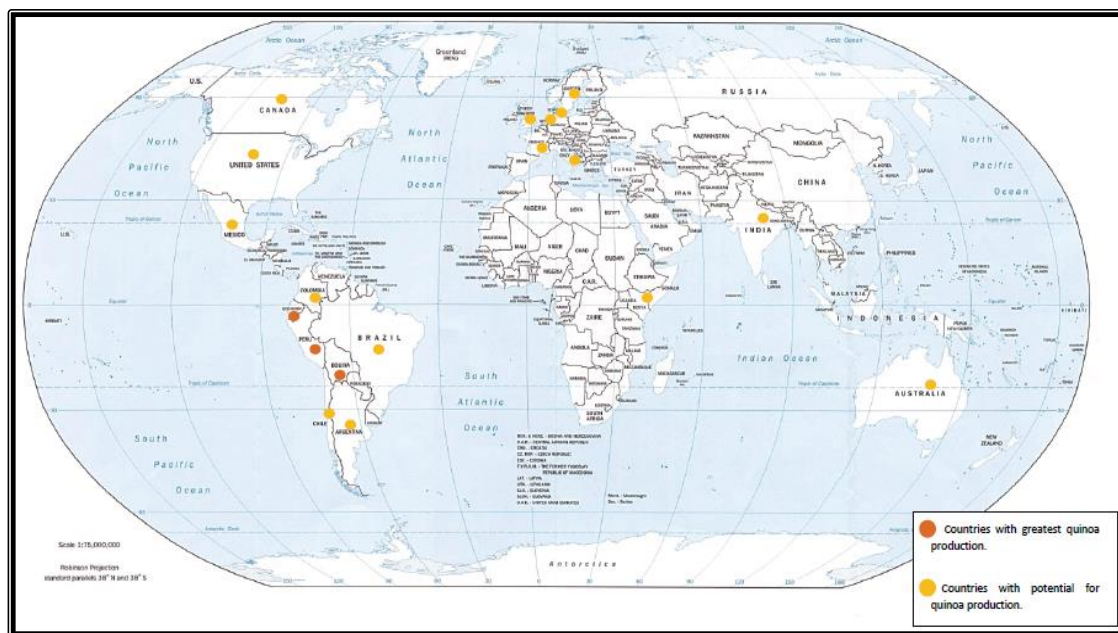


Figure 02: Répartition géographique de quinoa (FAO, 2011).

5- 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**).

Il existe plusieurs utilisations de quinoa, Les principales utilisations de quinoa peuvent être résumées comme suit :

- **Alimentation humaine:** On peut consommer les graines, les feuilles tendres jusqu'au début de la panicule.
- **Industrie alimentaire:** Les grains et la farine de quinoa peuvent servir à la préparation de la plupart des produits de l'industrie de la farine. Le quinoa peut être associé aux légumineuses telles que les fèves, les haricots rouges afin d'améliorer la qualité nutritionnelle.
- **Alimentation animale:** La plante entière sert de fourrage vert.
- **Autres utilisations industrielles:** Au quinoa est associé toute une gamme de sous-produits destinés à l'alimentation, à la cosmétique, aux applications pharmaceutiques et à d'autres utilisations (Cercam, 2014).

6- Description botanique

Le quinoa (*C. quinoa*) est une plante dicotylédone, herbacée, annuelle (Yazar et Ince Kaya, 2014), sa longueur entre 50cm et 2m (Herbillon, 2015) la couleur prédominante de la plante est verte mais chez les plantes adultes, les couleurs de base sont rouge, pourpre et vert, selon le génotype (Del Castillo et al., 2008).



Figure 03: Aspect morphologiques général d'une plante de quinoa (originale, 2018).

6-1- Racine

Le système racinaire est très robuste (Herbillon, 2015). Les racines peuvent atteindre la profondeur de 30 cm (Herbillon, 2015; Jancurová et al., 2009). La radicule s'allonge en

première, et à partir de laquelle vont se développer des racines secondaires et tertiaires, desquelles se forment des radicelles pouvant également se ramifier.



Figure 04: système racinaire de quinoa (original, 2018).

6-2- Tige

La tige a une taille comprise entre 0.5 et 1.5 m selon la variété et les conditions de croissance (Del Castillo et al., 2008). Il ya deux forme de la tige principale Coupe transversale dans le tiers inferieur de la plante au stade de maturité physiologique.

1 -Cylindrique

2 -Angulaire (Bioversity International et FAO, 2013)

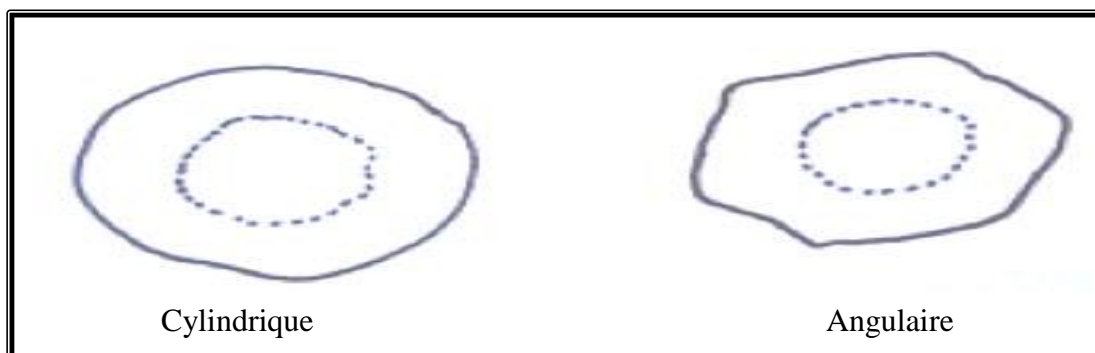


Figure 05: Forme de la tige principale (coupe transversale) (Bioversity International et FAO, 2013).

6-3- Feuilles

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

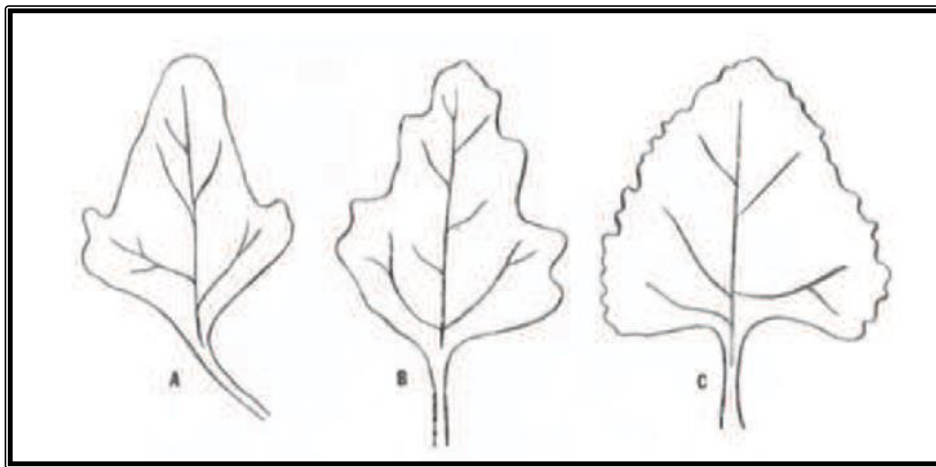


Figure 06: Forme des feuilles (**Herbillon, 2015**).

A) race du sud du Pérou et de la Bolivie avec peu de dents.

B) race du centre du Pérou avec 3 à 12 dents.

C) race du nord du Pérou et l'Equateur avec plus de 12 dents (**Herbillon, 2015**).

6-4- Panicule

Panicules composées considérées comme de faux épis (**Del Castillo et al., 2008**). Qui mesure de 15 à 70 cm de long (**Lutz et Bascuñán-Godoy, 2017**), 5-30 cm de diamètre (**Yazar et İnce Kaya, 2014**). Il ya trois forme de panicule:

- **Gloméforme:** Caractérisé par présence de glomérules dans les axes glomérulaires de forme globuleuse (**Bioversity International et FAO, 2013**). Est petits groupes de fleurs issus d'axes tertiaires (**Herbillon, 2015**).
- **Intermédiaire:** Caractérisé par présence des deux formes (Gloméforme et Amarantiforme).

- **Amarantiforme:** caractérisé par présence de glomérules directement dans l'axe secondaire de forme allongée (**Bioversity International et FAO, 2013**).

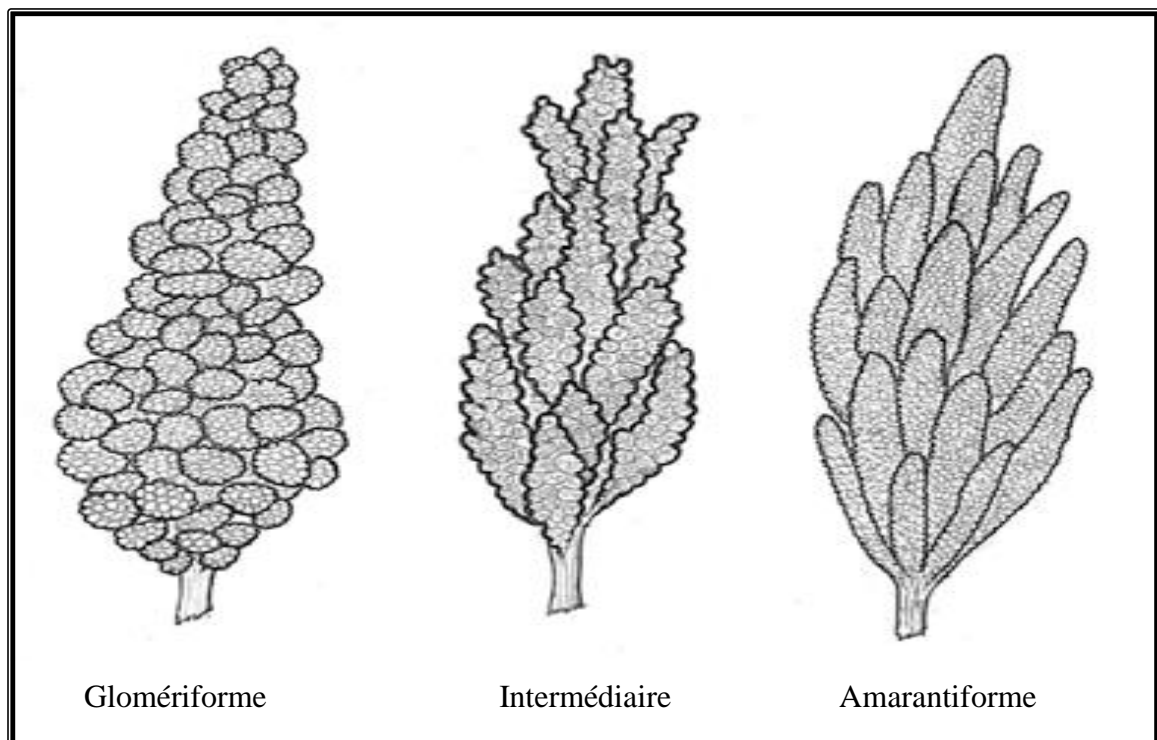


Figure 07: Forme des panicules (**Bioversity International et FAO, 2013**).

6-5- Fleur

Les fleurs, petites, incomplètes (apétales) et sessiles, sont de la même couleur que les sépales. Elles peuvent être hermaphrodites, pistillées ou androstériles. composée de cinq étamines à filaments courts soutiennent des anthères basifixes; le style a deux ou trois stigmates plumeux (**FAO, 1994**). Est constituée d'un périgone sépaloïdes (cinq sépales), d'un gynécée (ou pistil) avec un ovaire ellipsoïdal. La fleur femelle se compose seulement d'un périgone et d'un gynécée. La taille de la première varie entre 2 et 5 mm contre 2 à 3 mm pour la seconde. Le pourcentage de chacune d'elle dans le glomérule dépend de la variété (**Herbillon, 2015**).

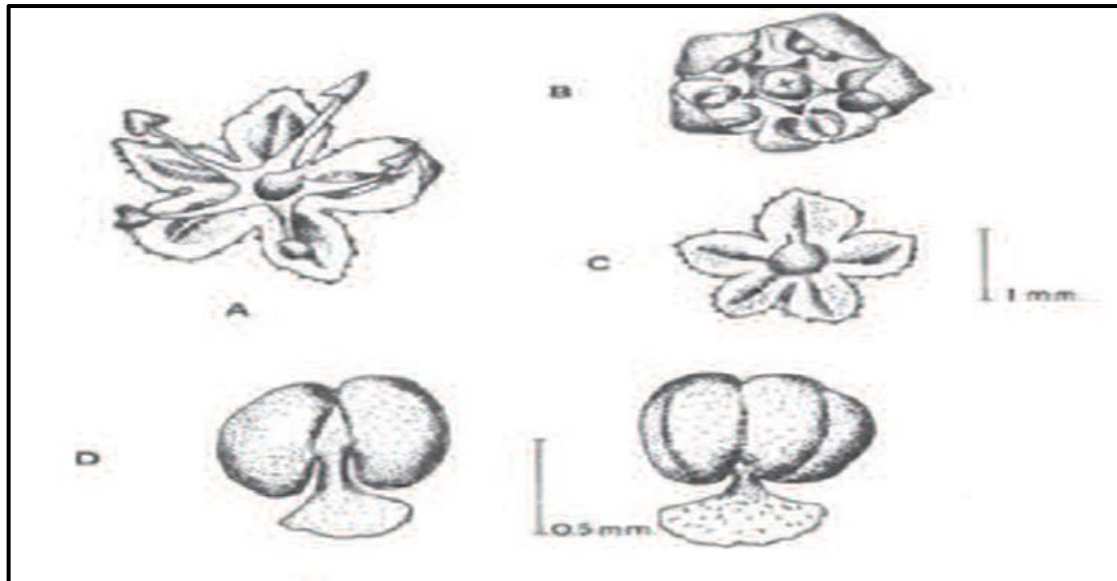


Figure 08: Fleurs hermaphrodites et femelles de quinoa.

- A) Fleur hermaphrodite en période d'anthèse; B) Fleur hermaphrodite avant l'anthèse.
 C) Fleur femelle; D) Etamine avant la déhiscence, vue interne et externe, respectivement (Herbillon, 2015).

6-6- Fruit

Le fruit est un akène (Del Castillo et al., 2008; FAO, 2011). Un grain pouvant atteindre jusqu'à 2.66 mm de diamètre selon la variété (FAO, 2011), qui pourraient être réparties dans trois catégories de taille: grande taille (2.2 à 2.6 mm). Taille moyenne (1.8 à 2.1 mm) et petite taille (<1.8 mm) (Herbillon, 2015). sont de couleur blanche, jaune, rouge, pourpre, café ou noire (FAO, 1994), dans lequel l'embryon périphérique entoure le périsperme central (tissus de réserve) et se trouve couvert par le péricarpe et deux assises tégumentaires, la combinaison des couleurs du péricarpe et du tégument de la graine donne la vaste gamme de couleurs que peuvent présenter les panicules. Les bords du grain sont d'une grande valeur taxonomique, car ils sont communément marqués chez les formes cultivées, et plus arrondis chez les sauvages (Del Castillo et al., 2008). Il existe quatre formes de grain:

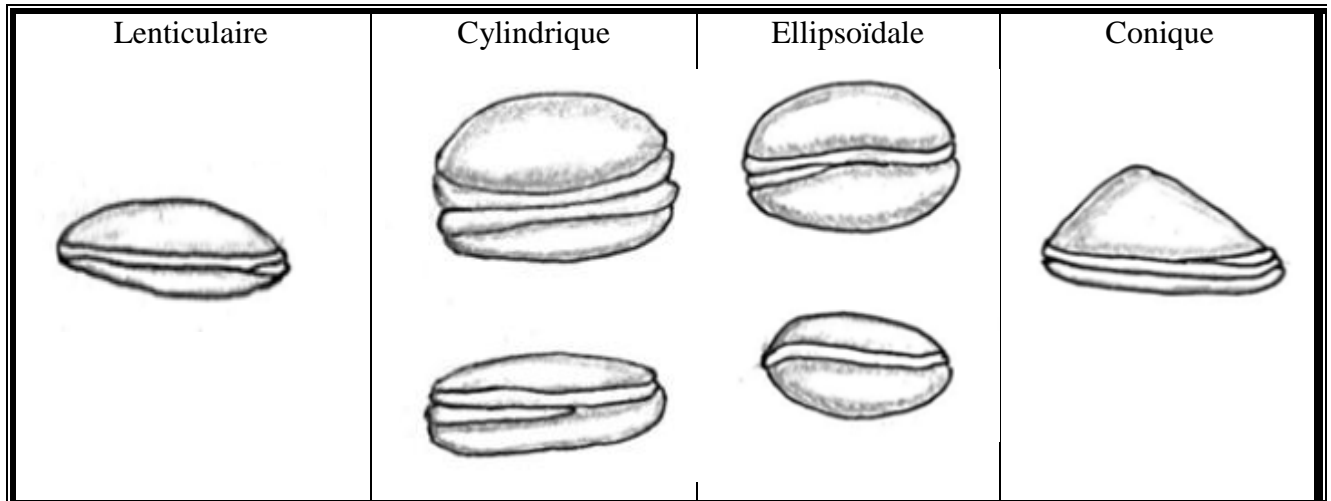


Figure 09: Forme des grains (Bioversity International et FAO, 2013).

7- Caractères physiologique

Le quinoa son efficience de fixation du CO₂ et la structure anatomique de ses feuilles sont celles d'une plante en C3 (Lebonvallet, 2008; Del Castillo et al., 2008; Yazar et İnce Kaya, 2014), parfois considérée à tort comme peu efficace dans la fixation du carbone. Une interaction possible de l'humidité de l'air dans la tolérance au gel et plaident pour la réalisation d'expériences éco physiologiques in situ La fonction des vésicules riches en oxalate de calcium et en pigments présentes à la surface des jeunes feuilles et des inflorescences n'est pas encore éclaircie, mais on suppose qu'elles protègent la plante de l'excès de radiation solaire et l'aident à résister à la sécheresse en intervenant dans les relations hydriques ou en formant un microclimat autour des feuilles Si l'humidité du sol diminue trop (Del Castillo et al., 2008).

8- Phénologie de quinoa

Les grains germent en une dizaine d'heures environ et au champ les cotylédons apparaissent généralement vers le 7^{ème} jour après l'émergence. La croissance racinaire est en rapport étroit avec celle de la partie aérienne (Del Castillo et al., 2008).

L'échelle de développement a été décrite par Mujica et Canahua (1989) en 12 phases, les durées indiquées de chaque phase sont des nombres des jours moyens.

- **Stade Levée**

Elle correspond à la sortie de la plantule et au déploiement des feuilles cotylédonaires (germination épigée). Elle se produit entre sept et dix jours après le semis, en conditions de 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 cotylédonaires, 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 cotylédonaires sont toujours vertes. La plantule montre dans cette phase une assez bonne résistance au froid et à la sécheresse, mais ses feuilles tendres constituent une alimentation de choix pour les ruminants.

- **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 cotylédonaires commencent à se flétrir. L'apex végétatif est nettement protégé par les feuilles les plus âgées, en particulier lorsque la plante est soumise à un stress (thermique, hydrique ou salin).

- **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 cotylédonaires 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 90^{ème} ou 100^{ème} 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.

Les différents stades sont illustrés en figure suivant:

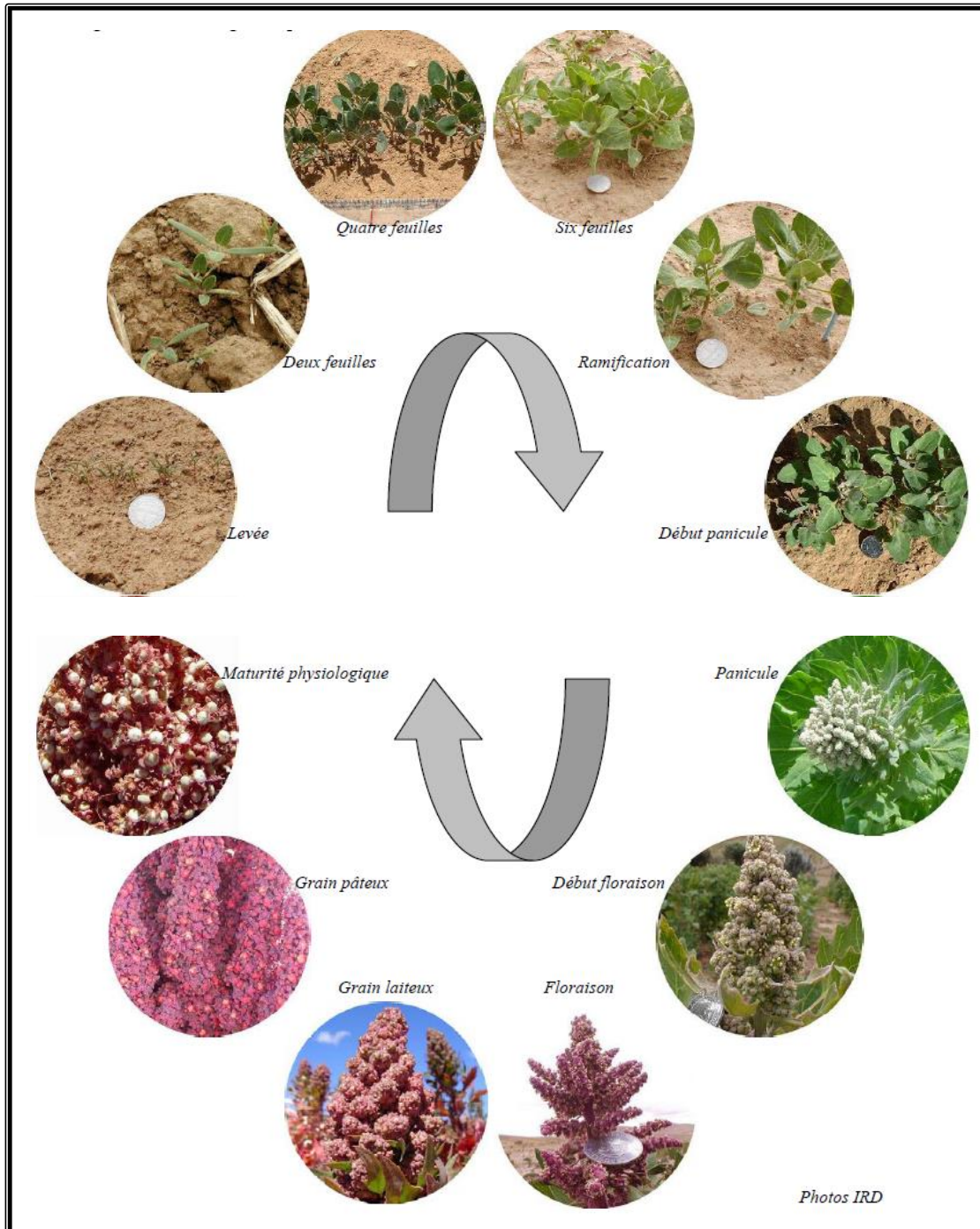


Figure 10: Phénologie de quinoa (Lebonvallet, 2008)

9- Biologie reproductive

Le quinoa est considéré comme une espèce à fertilisation autogame, le pourcentage de fécondation croisée ne dépassant pas 10% (**Del Castillo et al., 2008; Lebonvallet, 2008**). L'allogamie atteint jusqu'à 80% ce qui est expliqué par la rareté des fleurs pistillaires (**Del Castillo et al., 2008**). Ce pourcentage d'allogamie oblige toutefois à prendre certaines précautions dans les processus d'amélioration génétique et dans les programmes de production et de distribution de semence. Chaque fleur reste ouverte de cinq à sept jours, et la floraison d'une panicule complète dure de 12 à 15 jours. La déhiscence du pollen peut se produire tout au long de la journée (**Lebonvallet, 2008**).

10- Variétés de quinoa

Les quinoas peuvent être divisés en cinq groupes des variétés répartis par zones d'adaptation écologique:

10-1- Quinoas des vallées arides (Junin) et des vallées humides (Cajamarca)

Ceux qui s'adaptent entre 2500 et 3500 mètres. Ils sont très ramifiés avec des inflorescences laxistes et sont habituellement résistant au mildiou (*Peronospora farinosa*) (**FAO, 2011**). Les quinoas des vallées se distinguent entre ceux des cultures irriguées dans les vallées inter-andines (Urubamba au Pérou et Cochabamba en Bolivie) et ceux qui poussent dans des conditions pluviales au Pérou (**Cercam, 2014**).

10-2- Quinoas de l'Altiplano (blancs autour du lac Titicaca et colorés dans la zone agro-écologique de Suni)

Ils se développent dans de plus grandes régions comme monocultures et entre 3600 et 3800 m, dans la zone de l'Altiplano péruvien-bolivien. C'est le domaine dans lequel la plus grande variabilité des caractères est trouvée et les grains avec les utilisations les plus spécialisées sont produit. La tige se terminant par une Panicule principale compacte. Ce groupe contient le plus grand nombre de variétés améliorées et également ceux qui sont les plus sensibles au mildiou lorsqu'ils sont emmenés dans des zones plus humides (**FAO, 2011**). Ces variétés sont cultivées dans des conditions climatiques se caractérisant par de faibles précipitations et des températures favorables (cas du lac Titicaca) (**Cercam, 2014**).

10-3- Quinoa des déserts de sel (sud de la Bolivie)

Ils poussent dans des zones de sel au sud de l'Altiplano bolivien. Le plus sec zone à 300 mm de précipitations, ils sont cultivés en monoculture avec un espacement de 1 m x 1 m des trous pour mieux utiliser le peu d'humidité disponible. Ces quinoa ont le plus gros grain taille (> 2.2 mm de diamètre) et sont connus comme "Royal Quinoa", les grains sont caractérisés par un épais péricarpe et une haute teneur en saponine (FAO, 2011). Résistent à des conditions xérophytiques extrêmes. Ils réussissent à se développer en exploitant l'humidité des trous pratiqués pour les semis (Cercam, 2014).

10-4- Quinoas du niveau de la mer au Chili

Trouvé dans les régions de Linares et Concepción (Chili) à 36 ° Sud latitude. Ce sont des plantes plus ou moins robustes, de 1.0 à 1.4 m de haut, à croissance ramifiée et produire des grains transparents de couleur crème (type Chullpi). Ces quinoas ont de grandes similitudes avec *Chenopodium nuttalliae* (Huahzontle) cultivé uniquement au Mexique à 20° de latitude nord (FAO, 2011). Ces quinoas sont les mieux adaptés aux conditions humides avec des températures plus régulières (Cercam, 2014).

10-5- Quinoas de la zone agro-écologique Yunga et des sub tropiques (Bolivie)

Cette variété pousse à des altitudes comprises entre 1 500 m et 2 000 m (FAO, 2011; Cercam, 2014). Un petit groupe de quinoas qui se sont adaptés aux conditions du Yungas boliviens, sont caractérisés par un développement un peu ramifié. Quand ils sont en fleurs, la plante entière prend une couleur orange (FAO, 2011).

11- Besoin écologique de quinoa

11-1- Besoins climatique

Sa culture est bien adaptée à des conditions climatiques froides et arides (Rodriguez Calle, 2006). Supporter des températures comprises entre -4°C et 38°C (Pedersen et Tingvoll, 2013; Lutz et Bascuñán-Godoy, 2017). Températures optimale entre 15°C et 20°C (Pedersen et Tingvoll, 2013). Le quinoa est très sensible aux fortes températures au stade floraison; celles supérieures à 35°C peuvent conduire à la dormance et la stérilité du pollen, le gel (-1 à 0°C) (Cercam, 2014). Les Précipitations selon la zone agro-écologique et le genotype auxquels la plante appartient, elles varient de 250 mm (zone des salines de Bolivie)

à 1 500 mm dans les vallées interandines. Bien que le quinoa fasse preuve d'une forte résistance aux périodes de sécheresse (FAO, 1994).

11-2- Besoins terrestre

Le quinoa pousse bien sur des sols limono-sableux à sablo-limoneux. En Amérique du sud, le quinoa est cultivé sur des sols peu ou trop drainés, de faible fertilité, très acides (pH4.8) ou alcalins (pH8.5) (Benhabib, 2005). Elle est possible sur des sols à alcalinité élevée. (Rodriguez Calle, 2006). Le quinoa peut se développer avec une humidité relative allant de 40% à 88% (Bhargava et Srivastava, 2013). C'est une plante économe en eau (Bioversity International et FAO, 2013). La température optimale du sol pour germination des graines de quinoa est de 8-10 °C et la profondeur de semis optimale est de 1-2 cm. Il est important qu'une graine humide et bien structurée préparation du lit car la petite taille des graines augmenter la sensibilité de germination (Yazar et Ince Kaya, 2014).

12- Mécanismes de résistance chez le quinoa

Le quinoa présente des facultés d'adaptation des conditions défavorables du milieu, notamment la tolérance au froid et à la sécheresse (FAO, 1994). Sa rusticité et ses qualités nutritionnelles exceptionnelles justifient d'étudier son fonctionnement biologique, et notamment ses mécanismes d'adaptation aux stress multiples, la compréhension des bases biologiques de cette rusticité peut orienter l'amélioration de quinoa elle-même mais aussi d'autres productions végétales vers la recherche d'une réduction des besoins en intrants et d'une plus grande tolérance à des conditions écologiques extrêmes (Del Castillo et al., 2008).

12-1- Résistance à la sécheresse

Le quinoa capable de se développer même dans les régions où les précipitations annuelles sont de l'ordre de 200 à 400 mm (Jancurová et al., 2009). Bien que le quinoa présente divers mécanismes de résistance au stress hydrique, la sécheresse reste un des facteurs les plus courants de baisse des rendements en grain (Del Castillo et al., 2008). Où un stress hydrique a de grand effet sur la floraison et le remplissage des grains (Lebonvallet, 2008). Même si des sécheresses modérées en début de cycle peuvent avoir un effet positif d'endurcissement des plantes (Herbillon, 2015). La résistance à la sécheresse met en jeu

différents mécanismes morphologiques anatomiques, phénologiques et biochimiques (Del Castillo et al., 2008).

Tableau 02: Mécanismes de résistance de quinoa à la sécheresse (Del Castillo et al., 2008).

Type des mécanismes	Caractéristiques
Morphologiques	Réduction de taille des plantes entières ou des feuilles. Réduction de la surface foliaire par perte de feuilles. Plasticité du développement et de la croissance. Repli des feuilles sur la panicule.
Physiologiques	Plus grande résistance stomatique. Récupération rapide des capacités photosynthétiques après une période de sécheresse. Faible taux de transpiration. Concentration sur les organes jeunes de cristaux d'oxalate de calcium réfléchissant la radiation solaire et favorisant la rétention d'humidité atmosphérique. Plus grande vitesse d'absorption d'eau. Plus grande tolérance au sel.
Anatomiques	Plus grand développement racinaire (en densité et profondeur). Réduction du nombre et de la taille des stomates.
Phénologiques	Développement racinaire plus rapide dans les premières étapes de croissance. Asynchronisme dans la phase de floraison. Raccourcissement de la phase de floraison. Développement phénologique plus rapide.
Biochimiques	Présence d'oxalate de calcium dans les feuilles, tiges et panicule. Thermostabilité des cellules. Plus grande production d'acide abscissique (ABA). Translocation des ions K et Ca des cellules stomatiques durant les périodes de sécheresse.

12-2- Résistance au froid

Les observations au champ ont montré des variétés résistantes jusqu'à -14°C au stade plantule, voire jusqu'à -16 à -18°C durant les premiers stades de croissance. Les phases les plus sensibles sont la mise en place de l'épi, la floraison et le stade grain laiteux. Ont trouvé une baisse de rendement inférieure à 10% consécutivement à un gel de -4°C au stade deux feuilles, mais de 66% lorsque le gel se produit au stade floraison (Lebonvallet, 2008). 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 des sucres solubles pourrait être utilisé comme un indicateur de la résistance au gel (Herbillon, 2015).

Tableau 03 : Mécanismes de résistance de quinoa au froid (Del Castillo 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).

12-3- Résistance à la salinité

On dit de quinoa qu'elle est un halophyte facultatif, c'est-à-dire quelle peut vivre en milieu salé comme en milieu d'eau douce (**Herbillon, 2015**). Elle est capable d'accumuler des ions salins dans ses tissus afin d'ajuster le potentiel hydrique des feuilles. Cela lui permet de maintenir la turgescence cellulaire et de limiter la transpiration dans des conditions salines, évitant ainsi les dommages physiologiques que pourrait causer la sécheresse (**Lebonvallet, 2008**). Les principaux traits relatifs à la tolérance au sel sont les suivants:

- ✓ Un contrôle efficace de l'accumulation de sodium dans le xylème (tissus vasculaire conduisant de l'eau et des nutriments dissous de la racine vers le sommet de la plante, contribuant également à former l'élément ligneux dans la tige) et de la séquestration de sodium dans les vacuoles des feuilles.
- ✓ Une plus haute tolérance aux espèces réactives de l'oxygène (molécules de signalisation clés produites en réponse à un stress et déclenchant une variété de réponses de défense des plantes).
- ✓ Une meilleure rétention du potassium.
- ✓ Et un système de contrôle efficace du développement et de l'ouverture des stomates (**Herbillon, 2015**).

12-4- Résistantes à la Vent, neige, grêle

De nombreuses variétés altiplaniques et du salar sont relativement résistantes à la grêle, grâce à un enroulement des feuilles, une tige et un épi plus solides, une surface foliaire réduite avec des feuilles plus petites. Certaines peuvent résister à la neige par un système racinaire et une ramification plus importants qui assurent un soutien plus grand de la plante. Enfin, les variétés de petite taille avec une tige épaisse et un système racinaire bien développé peuvent plus facilement résister au vent (**Lebonvallet, 2008**).

12-5- Résistantes aux maladies, parasites et ravageurs

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

attaques grâce à son goût amer et à sa toxicité pour les animaux de petite taille (**Herbillon, 2015**).

13- Les maladies et ravageurs de quinoa

Les maladies et ravageurs peuvent apparaître rapidement après introductions de quinoa dans une région car celle-ci a des agents pathogènes en commun avec la betterave et les épinards (**Benhabib, 2005**).

Tableau 04: Exemples des certains des ravageurs affectant de quinoa.

Agent	Maladie	Symptôme
Champignons		
<i>Sclerotium rolfsii</i>	Sclerotiniose	la pourriture des semences (Herbillon, 2015).
<i>Peronospora farinosa</i>	Mildiou	caractérisée par la présence de lésions chlorotiques sur la surface supérieure des feuilles, avec un mycélium blanc ou pourpre sur les surfaces inférieures (Herbillon, 2015).
<i>Ascochyta hyalospora</i>	les taches foliaires (Benhabib, 2005).	taches sur les feuilles et des nécroses de la tige (Boerema et al., 1977).
<i>Phoma exigua</i>	Phoma	pourriture brune de la tige (Danielsen et al., 2006).
Bactéries		
<i>Pseudomonas sp.</i>	Bactériose (Benhabib, 2005).	Brûlure bactérienne (kumar, 2016).
Nématodes		
<i>Heterodera sp</i>	Nématodes à kystes (FAO, 2013)	Petites boules blanche en forme de citron dans la racine - décoloration jaune de l'extrémité des feuilles. La taille de la racine principale rétrécit alors que se développe un chevelu de racines latérales (Boyer, 2018).
Insectes		
<i>Coleophora versurella</i> <i>Eurysacca melanocampta</i> (Costa et al., 2009)	/	La larve entoure un petite panier allongé et coloré grisâtre dans les feuilles (Lamborot et al ., 1999)

14- Propriétés médicinales

L'utilisation de quinoa en médecine traditionnelle est connue depuis l'antiquité. Dans les communautés de dans l'Altiplano et les vallées, grain, des tiges et des feuilles de quinoa pour la guérison. Les modes de préparation et d'application varient pour un usage interne et externe (FAO, 2011).

Tableau 05: propriétés médicinales (prophylactique, thérapeutique) de quinoa.

Propriété prophylactique	Propriétés thérapeutiques
Antifongique et antimicrobienne (Kilinc et al., 2016). Antioxydant (Eugenia Letelier et al., 2010). Antiallergiques, Anticancérigènes. Protectrices cardiovasculaires (Lutz et Bascañán-Godoy, 2017). Désinfectantes des voies urinaires (Cercam, 2014; Sophie Foucault, 2014).	Saignements, Luxations, Abscesses (FAO, 2011). Anémie, Diarrhée, Tuberculose, Rhumatisme, Fatigue, Hypocalcémie, Diurétique, Antifébrile (Bioversity International et FAO, 2013). Facilitant la résorption des fractures. Hémorragies internes (Sophie Foucault, 2014). Anti-inflammatoire (Kilinc et al., 2016). Analgésiques (mal de dents) (Cercam, 2014; Sophie Foucault, 2014).

15- Production et commercialisation

La culture de quinoa est en expansion en 2002, la superficie mondiale des cultures de quinoa était estimée à 80 000 hectares, principalement concentrés dans la région andine. Les premiers producteurs mondiaux sont la Bolivie, le Pérou et les États-Unis d'Amérique, avec respectivement 46%; 42% et 6% de la production mondiale. Récemment (2009), la production de la région andine était de l'ordre de 70 000 tonnes, dont 40 000 tonnes récoltées au Pérou, 28 000 tonnes en Bolivie et 746 tonnes en Équateur. Les plus gros pays producteurs de quinoa, dans la région andine et dans le monde, sont sans conteste le Pérou et la Bolivie, qui jusqu'en 2008, ont assuré 92% de la production mondiale. Viennent ensuite les États-Unis, l'Équateur, l'Argentine et le Canada, qui produisent environ 10% du volume récolté dans le monde (FAO, 2011).

Conclusion

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) est une plante herbacée, dicotylédone, annuelle, halophyte, appartient à la famille Chenopodiaceae, sa originaire des Andes en Amérique du sud (région du lac Titicaca), elle considère de plante en C3 et comme une espèce à fertilisation autogame, elle possède grande variabilité génétique, peuvent être divisés en cinq groupes des variétés répartis par zones d'adaptation écologique.

Le quinoa présente une tolérance remarquable aux contraintes environnementales, en particulier à la sécheresse et au gel, cette culture est bien adaptée à des conditions climatiques froides et arides, supporter des températures comprises entre -4°C et 38°C, elle pousse bien sur des sols limono-sableux à sablo-limoneux, le quinoa est cultivé sur des sols peu ou trop drainés.

La principale maladie rencontrée chez le quinoa est le mildiou, les graines de quinoa contiennent une forte teneur en saponines, un composant qui les rend moins sensibles à ces attaques grâce à son goût amer et à sa toxicité pour les animaux de petite taille.

Le quinoa a importante économique à nombreuses utilisations tel que alimentation humaine et animale, industrie alimentaire, elle possède propriétés médicinales et son utilisation en médecine traditionnelle est connue depuis l'antiquité.

Chapitre II

Etude biochimique de quinoa

Introduction

Les grains de quinoa sont des aliments complets à haute valeur nutritive (**Abugoch et al., 2009**). Pour raison de sa composition inhabituelle et de son équilibre exceptionnel entre huile, protéine et graisse. Le quinoa est un excellent exemple de «nourriture fonctionnelle» qui vise à réduire le risque de diverses maladies (**Vega-Gálvez et al., 2010**). En raison de l'excellente qualité nutritive de cet aliment, les populations autochtones et les chercheurs l'appellent la « céréale d'or des Andes ». L'importance de cette espèce ne fait que croître dans le monde, qu'elle soit consommée fraîche ou transformée (**FAO, 2011**). Une propriété qui représente un avantage pour la santé généralement associée à la présence de composés phytochimiques bioactifs. Le quinoa est reconnu comme une bonne source de plusieurs bioactifs, saponines et composés phénoliques, les caroténoïdes...etc (**Lutz et Bascuñán-Godoy, 2017**).

1- Valeur nutritive

1-1- Carbohydrates

L'amidon est l'élément majeur de carbohydrates de quinoa, et il est présent entre 32% et 69.2% (**Ahamed et al., 1998; Ranhotra et al., 1993**), dont 11% d'amylose. En tant que glucide, constitue la principale source d'énergie physiologique dans l'alimentation humaine, De plus, La farine de quinoa contient des pourcentages élevés de D-xylose et de maltose (**Vega-Gálvez et al., 2010**). Et une faible teneur 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 (**Gordillo Bastidas et al., 2016**).

1-2- Protéines et acides aminés

Le quinoa ait tendance à avoir une teneur en protéines totales plus élevée par rapport aux autres grains (**El hafid, 2005**). La teneur en protéines des graines de quinoa varie de 8% à 22%, la plus grande partie de la protéine se trouve dans embryon (**Jancurová et al., 2009**). Les protéines de quinoa sont composés principalement de globulines et albumines (**Alvarez-Jubete et al., 2010**), le quinoa est également caractérisé en étant un grain sans gluten (**FAO, 2011; Ortuño et al., 2013**), qui permet son utilisation dans le régime alimentaire de la maladie cœliaque patients (**Filho, 2017**). Composition nutritionnelle équilibrée en acides aminés de la protéine qui a suscité un intérêt particulier (**El hafid, 2005**), le quinoa contient

également les acides aminés essentiels, l'intérêt principal est la valeur lysine élevée. Il est également haut dans l'acide aminé l'essentiel rencontré qui est déficient dans de nombreuses légumineuses. Le quinoa contient : 180% d'histidine (his), 274% isoleucine (ile), 338% de lysine (lys), 212% de méthionine + cysteine (met + cys), 320% de phénylalanine + tyrosine (phe + tyr), 331% de thréonine (thr), 228% de tryptophane (trp) et 323% de valine (val). Pour ces raisons, le quinoa pourrait représenter une source précieuse de nutritionnelle, en particulier pour les nourrissons et les enfants, et peut être utilisé aliments nutritifs et boissons (**Gordillo-Bastidas et al., 2016**).

1-3- Lipides

Les lipides sont des sources d'énergie concentrées. La teneur totale en lipides de quinoa est de 14.5 %, environ 70% à 89.4% étant insaturés (38.9% à 57% d'acide linoléique (ω -6), 24% à 27.7% d'acide oléique et 4% d'acide α -linoléique (ω -3)). La teneur en acides gras insaturés est protégée par la vitamine E dans cette plante (**Tang et al., 2015; Vega-Gálvez et al., 2010**). La composition en lipides de quinoa saturé de 12.3%, à 19 % principalement l'acide palmitique (**Abugoch et al., 2009**).

1-4- Fibres

La fibre alimentaire est la partie indigeste des aliments dérivés des plantes. Le quinoa représentent de bonnes sources des fibres alimentaires (**Gordillo Bastidas et al., 2016; Alvarez-Jubete et al., 2010**), comprenant environ 2.6% à 10% du poids total du grain; environ 78% de sa teneur en fibres est insoluble et 22% soluble (**Gordillo Bastidas et al., 2016**). Et la consommation de quinoa favorise donc le transit intestinal. Ont la capacité pour absorber l'eau et rester plus longtemps dans l'estomac (**FAO, 2011**).

1-5- Vitamines

Les vitamines sont des composés essentiels pour la santé des humains. Le quinoa contient de nombreuses vitamines, 100 g de ce grain contenant: 0.4 mg de thiamine, 78.1 mg d'acide folique (vitamine B9) 1.4 mg de vitamine C, 0.20 mg de vitamine B6 et 0.61 mg d'acide pantothénique (**Vega-Gálvez et al., 2010**). Sa teneur en vitamine E est comprise entre 37.49 et 59.82 μ g/g. Des isoformes de tocophérol ont également été détectées dans cette graine : γ -tocophérol (47-53 μ g/g), α -tocophérol (17-26 μ g/g) et β - et δ -tocophérol (<5 μ m / g) (**Tang et al., 2015; Jancurová et al., 2009**).

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 et al., 2016**). Le Quinoa 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 et al., 2016**).

2- Composés bioactifs dans le quinoa

2-1- Saponines (triterpénoïde glycosides)

Les saponines sont un large groupe de glycosides trouvés dans les plantes (**Abugoch et al., 2009**). Qui se présentent en deux groupes. Selon la nature de la fraction sapogénine, ils sont conjugués avec des hexoses, des pentoses ou des acides uroniques. Les sapogénines sont des stéroïdes (C27) ou des triterpénoïdes (C30). Le péricarpe de la graine de quinoa contient des saponines (**Jancurová et al., 2009**). Les saponines sont anti-nutriments (**Lovejoy, 2015**), peuvent donner un goût amer leur séparation de la graine de quinoa est facilement accomplie en rinçant la graine dans l'eau froide alcaline ou l'abrasion mécanique. Le quinoa son contenu varie entre 0.1% et 5 % des saponines (**Jancurová et al., 2009**).

2-2- 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 (**Jakobek, 2015**). 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 les céréales, y compris le blé, l'orge, le millet, le riz et le sarrasin (**Gordillo Bastidas et al., 2016**). La plupart des composés phénoliques de quinoa présentent une activité antioxydante et la capacité antioxydante totale est encore augmentée par des composés non-phénoliques. L'intérêt pour les composés

phénoliques n'est pas seulement dû à leur propriétés antioxydant mais aussi puisqu'ils présentent des effets bénéfiques pour la santé (**Lutz et Bascuñán-Godoy, 2017**).

2-3- Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments responsables des couleurs jaune, orange, ou rouge des fruits, et sont des déterminants majeurs de leur qualité organoleptique et nutritionnelle. Dans la plante, les caroténoïdes participent à plusieurs grandes fonctions physiologiques et permettent à la plante de s'adapter à un environnement fluctuant (**Fanciullino et Gautier, 2014**). La teneur totale en caroténoïdes des graines de quinoa blanches, rouges et noires sont 11.87, 14.97 et 17.61 $\mu\text{g} / \text{g}$, respectivement (**Tang et al., 2015; Zevallos et al., 2014**). Le β -carotène teneur en feuilles de quinoa varie de 4.3 $\mu\text{g} / \text{g}$ à 19.5 $\mu\text{g} / \text{g}$ (**Sharma et al., 2012**).

Conclusion

Le quinoa est très nutritif. Elle est riche en carbohydrates, minéraux, vitamines, acide gras insaturés et acides aminés, fibres. Le quinoa contient plus des protéines que n'importe quelle autre céréale. A l'image du lait, ses protéines sont complètes avec un équilibre d'acides aminés proche de l'idéal, elle constitue aussi une bonne source de magnésium, de zinc, de cuivre, de fer, de calcium. Le quinoa contient aussi de l'acide folique qui permet de lutter contre l'anémie. Le quinoa est également caractérisé en étant un grain sans gluten qui se bénéficie de la maladie cœliaque patients.

Le graines de quinoa contient des composés bioactifs, principalement est très riche saponines qui considère comme anti-nutriments pour raison le goût amer, des polyphénols qui présentent une activité antioxydante, aussi contient des Caroténoïdes qui responsables des couleurs des graines.

Deuxième partie

Etude expérimentale

Chapitre III

Matériel et méthode

Ce travail a été réalisé dans la région d'El-Oued, consiste principalement à étudier le comportement morfo- physiologique, biochimique et antioxydants des trois variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd).

1- Présentation des sites d'étude

1-1- Situation géographique

La région d'El-Oued est située au Nord-est du Sahara algérien (Bas-Sahara), aux confins septentrionaux du Grand Erg Oriental, entre les parallèles: (33° et 34°) Nord, et (6° et 8°) Est. Cette immense étendue sablonneuse se trouve, d'une part, à mi-chemin entre la mer méditerranée au Nord et la limite méridionale du Grand-Erg Oriental au Sud, et d'autre part, à égales distances entre le golfe de Gabès à l'Est et l'Atlas Saharien à l'Ouest. La zone est délimitée par :

- ✓ La frontière Algéro-Tunisienne (chotts El-Djerid: région de Tozeur) à l'Est.
- ✓ Les chotts Melghir et Merouane au Nord (région de Biskra).
- ✓ L'Oued-Righ (région de Touggourt) à l'Ouest.
- ✓ L'extension de l'Erg Oriental au Sud (**Boulifa, 2012**).

Les 18 communes de la zone d'étude couvrent une superficie de 11738 km² (**Boulifa, 2012; Khechana et al., 2012**).

Oued souf se trouve à une altitude de 70 mètre au niveau de la mer (**Ouassa, 2014**).

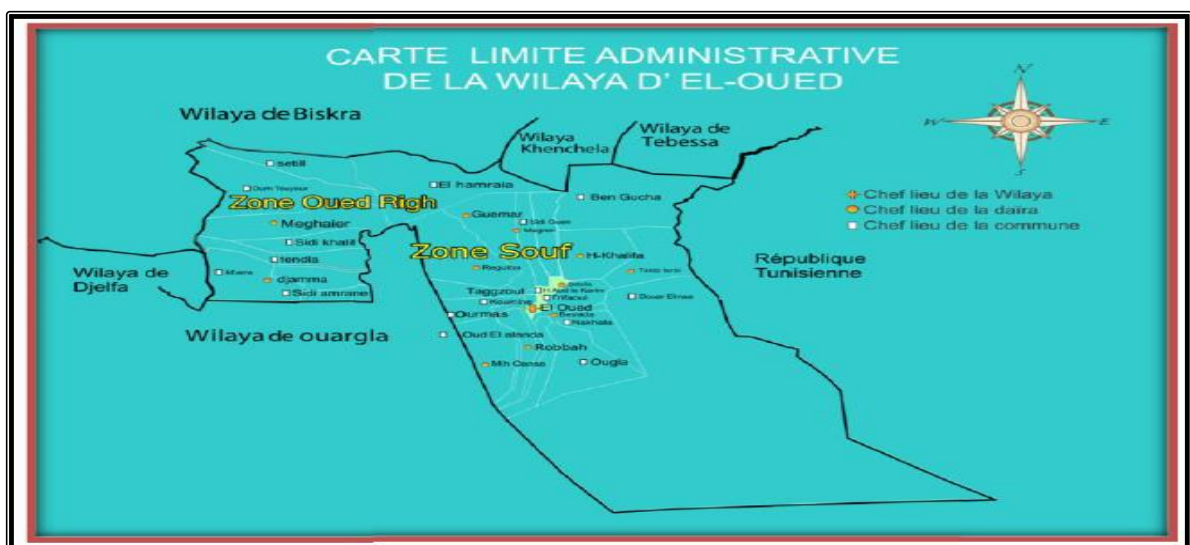


Figure 11 : Carte géographique du souf (FAO, 2014).

1-2- Facteurs climatiques

Le climat est caractérisé par une aridité extrême (climat hyper aride). L'hyper aridité et la chaleur sont ses caractères essentiels (Boulifa, 2012).

1-2-1- La température

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle Contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques (Ouassa, 2014).

Les températures moyennes maximales et minimales caractérisant la région d'étude de l'année 2016 et 2017 sont enregistrées dans le tableau (06), le mois de Janvier est le plus froids avec Températures minimal (4.6°C) et le mois de Juillet est le plus chaud avec Températures maximal (41°C), moyennes annuelle des températures est estimé à 22.79°C.

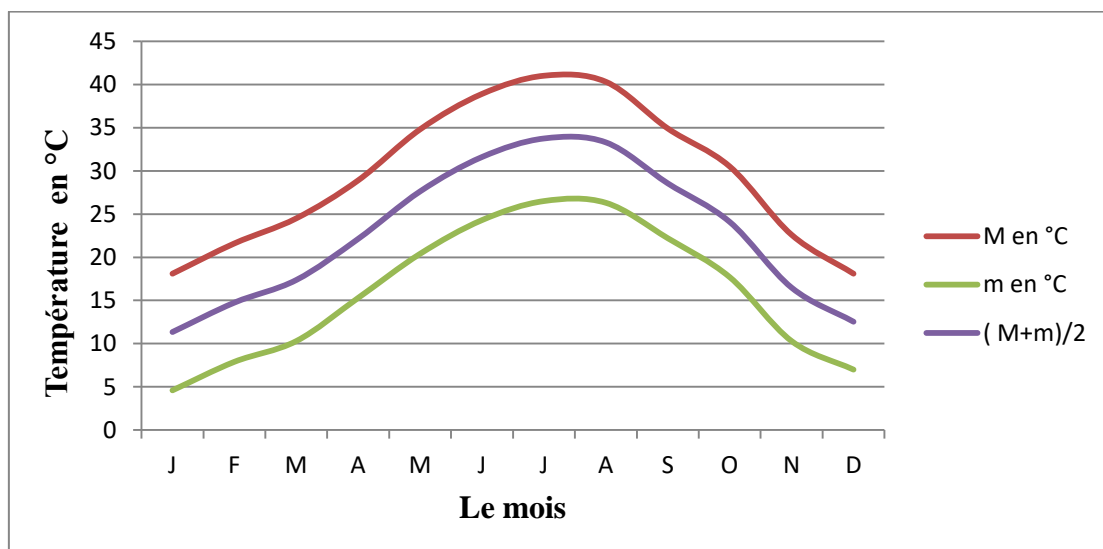


Figure 12:Températures maximal, minimal et moyennes mensuelles durant L'année 2016 et 2017 (Office National de la Météorologie, 2018).

M: Températures maximal.

m: Températures minimal.

1-2-2- Les précipitations

Les précipitations sont définies comme étant les produits liquides ou solides résultant de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique pouvant être enregistrés au sol (Zito, 2014).

Durant l'année 2016-2017, à Souf la somme totale des précipitations qui présente 75.1 mm, Le mois le plus pluvieux est le mois de septembre et Avril, novembre avec 25.7 et 20.3; 16.6 mm respectivement. Le reste des mois caractérisés par sécheresse.

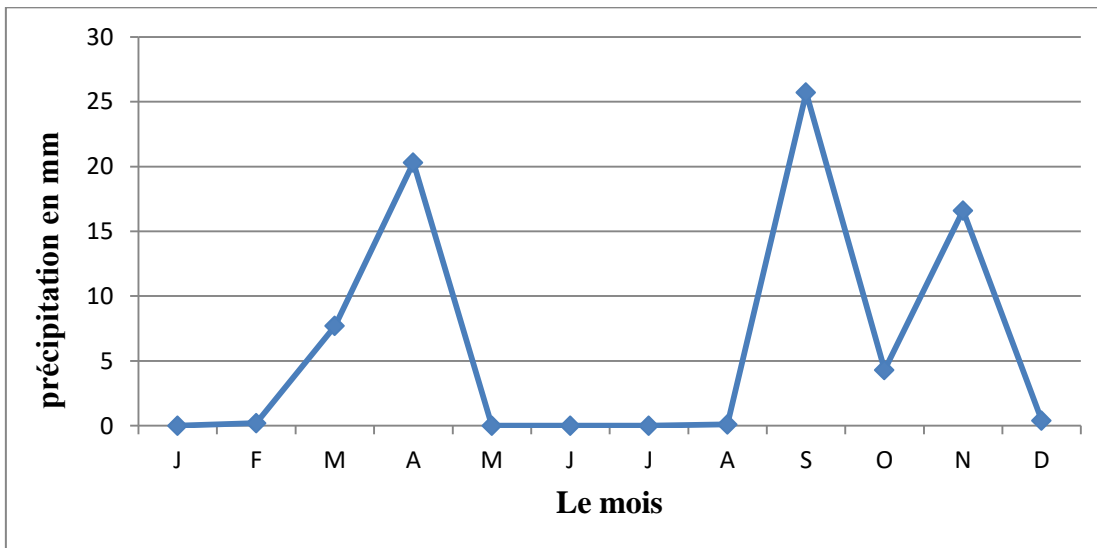


Figure 13: Précipitations moyennes mensuelles de la région d'étude durant l'année 2016-2017 (Office National de la Météorologie, 2018).

2- Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué de trois variétés de quinoa (*Blanca de Junín* et *Santa maria; Sajama*), les semences de ces variétés a été fournies par l'ITDAS de djamaa wilaya d'El Oued.

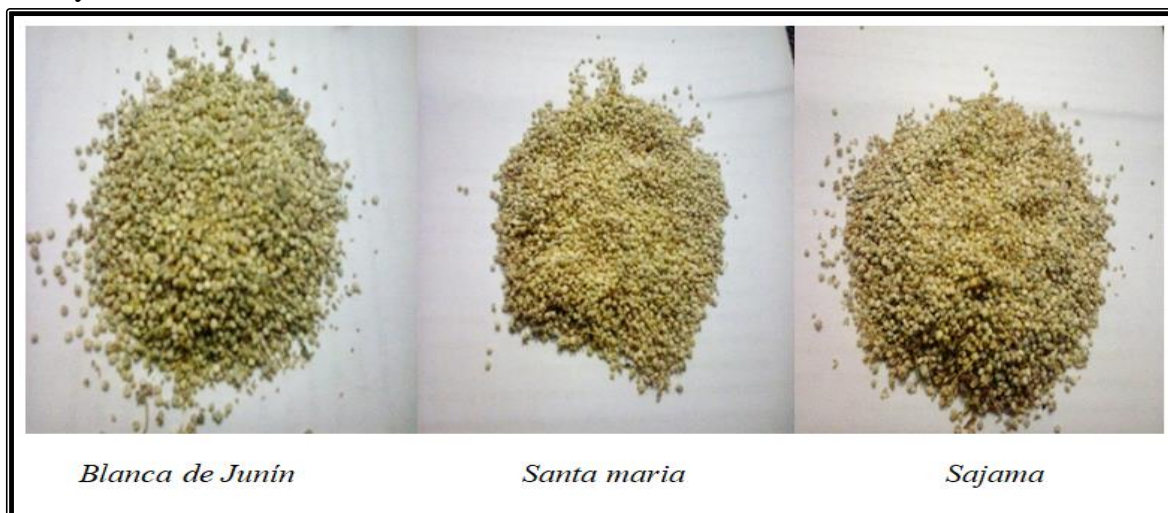


Figure 14 : Semences des trois variétés de quinoa (original, 2018).

3- Méthodes

3-1- Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental en bloc aléatoire des trois variétés avec trois répétitions de chaque variété (09 parcelle). La superficie de terrain de la culture est 42.25m^2 .

- ✓ L'espacement entre deux parcelles est 0.5m.
- ✓ Nombre des semences est 25 par parcelle.
- ✓ L'espacement entre limites de la parcelle et première semences est de 15cm (Longitudinal et transversal).
- ✓ L'espacement entre deux semences à l'intérieure de la parcelle est de 30cm (Longitudinal et transversal).
- ✓ Longueur de la parcelle est 1.5m.
- ✓ Largeur de la parcelle est 1.5m.
- ✓ La superficie de la parcelle élémentaire est de 2.25m^2 .



Figure 15: Dispositif expérimental (09 parcelle) (original, 2018).

3-2- Analyse de sol

Cette analyse vise à déterminer les caractéristiques chimiques de sol dans laquelle l'essai a été installé et la relation entre ces caractéristiques et le comportement des variétés de quinoa.

Tableau 06 : Les paramètres chimiques de sol cultural (Selon laboratoire d'analyse et de contrôle de la qualité et de la conformité, 2017).

Paramètres	Valeur
pH 1/5	7.48
Conductivité 1/5 (ds/m)	0.949
Matière organique (%)	2.07

Ce sol est légèrement alcalin parce que la valeur pH a été entre 7.4 et 7.7, Non salins parce que conductivité de l'extrait de sol entre 0-2 (ds/m) selon **Maillard (2001)**. Le taux de la matière organique est de l'ordre 1.5 -2.5 % ce appartenir en classe le Sol à appréciation faible en teneur matière organique selon **Soltner (1981)**.

3-3- Mode de la culture de quinoa

3-3-1- Précédent culturale

L'essai a été réalisé au sein du champ expérimental et au laboratoire de la faculté de biologie, université echahid hamma Lakhdar d l'oued, pour l'année universitaire 2017/2018.

3-3-2- Préparation de sol

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

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 72 h. Le pourcentage de germination est calculé selon la méthode de (**Doran et Gunn, 1986**) par la formule suivant:

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

T: Nombre des graines germées.

N : Nombre total des graines mises à germer.

3-3-4- Semis

Le semis est réalisé en 18 octobre 2017, nous avons semé manuellement, à une profondeur de 2 à 3 cm. Le nombre des semences sont 25 par parcelle.

3-3-5- Irrigation

L'irrigation est réalisée par submersion, est effectué après le semé jusqu'à la maturation en deux fois par semaine avec la dose 10 L par parcelle.

Tableau 07: Les paramètres physico-chimiques d'eau irrigation (Selon Algérienne des eaux, 2017).

Paramètres	Valeur
Température (°C)	17.3
Pureté (NTU)	3.57
Conductivité électrique (CE) (ds/m)	6
taux d'adsorption de sodium (TDS) (mg/l)	3840
Salinité (mg/l)	3.8
pH	7.23

Selon **Maillard (2001)** L'eau d'irrigation est classe de modérément saline, de type première eau de drainage et eau souterraine.

Le pH =7.23, selon **FAO (1985)** ce valeur est Gamme normale.

3-3-6- Récolte

La récolte est réalisée manuellement au stade de Maturité physiologique de chaque variété.

Indices de la maturité est ses compréhension par observation à dessèchement et le jaunissement des feuilles ainsi taux d'humidité atteint à un niveau bas, Alors que maturité des plantes nous l'enlevons.



Figure 16: Stade de Maturité physiologique (original, 2018).

3-3-7- Séchage

Le séchage a été pour les panicules (port des graines) après se séparer des plantes, il a été traditionnellement sous rayonnement de soleil.



Figure 17: Opération séchage des panicules sous rayonnement de soleil (original, 2018).

3-3-8- Criblage des graines

Criblage des graines est réalisé après séchage des panicules est à éliminer tout déchets (rameaux, feuilles, poussières,...). Première étape on élimine les grands déchets par tamis à grandes mailles (0.5 mm) pour faire passer les graines et petits déchets ,deuxième étape on élimine les petits déchets par tamis à petit mailles (0.1mm) pour garder seulement les graines.



Figure 18: étapes de criblage graines de quinoa (original, 2018).

4- Paramètres étudiés

4-1- Paramètres morphologiques de quinoa

4-1-1- La longueur et ramifications des plantes

On a utilisé 10 plantes au hasard de chaque parcelle, Nous avons mesurés La longueur de ces plantes à l'aide d'une règle graduée à cm et compte le nombre des ramifications par plante, la mesure est effectuée au stade Maturité physiologique.

4-1-2- Surface foliaire

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

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 représentant la feuille (**Pf**).
- ✓ Déterminer par pesée le poids (**Pp**) correspondant à une surface (**Sp**) connue d'un carré du même papier.
- ✓ Déduire la surface de la feuille **SF** par la formule suivante:

Surface foliaire est estimée à cm^2

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

4-2- Paramètres physiologiques de quinoa

4-2-1- Dosage des pigments photosynthétiques

Les pigments photosynthétiques sont des substances très différentes en structure chimique; ils sont présents sous forme de porphyrine. Les pigments totaux des feuilles comprennent la chlorophylle a, b et les caroténoïdes qui sont nécessaires pour le processus de la photosynthèse. Le dosage des pigments photosynthétiques est réalisé selon méthode (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 :

$$\text{Chl a} = 12 \text{ D.O663} - 2.67 \text{ D.O645}$$

$$\text{Chl b} = 22.5 \text{ D.O645} - 4.68 \text{ D.O663}$$

$$\text{Chl a+b} = 8.02 \text{ D.O663} + 20.2 \text{ D.O645}$$

$$\text{Caroténoïde} = 5 (\text{DO. 640}) - [(\text{chl a} \times 3.12) - (\text{chl b} \times 130.3)] / 200$$

4-2-2- Estimation la biomasse frais et sec des plantes

Pour estimer le poids frais et sec des plantes on a arraché une seul plante de chaque parcelle à même stade phénologique, ensuite on a Coupé la plante en deux parties: partie racinaire et partie aérienne. Par rapport des parties racinaires on a fait le lessivage bien de granules du sol et Supprimer les résidus d'eau.

Pour estimer le poids frais des parties aériennes et parties racinaires nous avons 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 19: Le poids frais et sec des parties aériennes et racinaires (original, 2018).

4-3- Poids des 1000 graines (PMG)

On a compté 1000graines pour chaque variété à chaque parcelle. Le poids est obtenu par pesée directe sur balance à précision de 500 gramme.

4-4- Contenu biochimique de quinoa

L'étude biochimique est consistée sur le dosage de teneur des composés chimiques (métabolites primaire) dans les feuilles et graines de quinoa.

4-4-1- Contenu biochimiques des feuilles

4-4-1-1- Dosage des sucres solubles

Le dosage des sucres est réalisé selon la méthode **Dubois (1956)**. Le principe de la réaction est basée 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.

- ✓ Elle consiste à Peser 100 mg des feuilles vert Fraîche de chaque échantillon.
- ✓ Place des feuilles vert Fraîche dans des tubes à essais et ajoute 3ml d'éthanol à 80% et laisser 48 h.
- ✓ Après 48 h nous évaporons totalement l'éthanol dans bain marinée (T=80°C).
- ✓ Ajoute 20ml de l'eau distillée.
- ✓ Prendre 1ml d'extrait puis on ajoute 1ml de phénol 5%, 5ml d'acide sulfurique concentré.
- ✓ Laisser les solutions dans bain marinée (T=30°C) durée de 15min.
- ✓ Lecture densité optique par spectrophotomètre sur long de onde 490min.

Pour déterminer le contenu des sucres solubles en se référant à la courbe d'étalonnage dressée à partir de concentrations connues de glucose.

4-4-1-2- Dosage des protéines totales

Le dosage des protéines est réalisé selon la méthode **Bradford (1976)** qui se basée sur changement couleur pigment de Coomassie Brilliant Blue R-250 (BBC) de la couleur rouge vers couleur bleu conséquence se liaison avec protéine.

- ✓ 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.
- ✓ 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 long de onde 595min.

Pour déterminer le contenu de protéines totales en se référant à la courbe d'étalonnage dressée à partir de concentrations connues de BSA.

4-4-1-3- Dosage des antioxydants

Le mécanisme de défense antioxydant est impliqué directement ou indirectement dans le piégeage des ROS, Majeur antioxydants, à la fois enzymatiques et non enzymatique, protègent les organismes contre les dommages dus au stress oxydatif sont décrits. Les Caractéristiques biochimiques et moléculaires d'enzymes antioxydants superoxyde dismutase (SOD), catalase (CAT) et ascorbate peroxydase (APX) sont discutés car ils jouent un rôle crucial dans le nettoyage des ROS dans les différentes cellules compartiments et en réponse à des conditions de stress (**Racchi, 2013**). Et les réactions en chaîne oxydatives dans les tissus et membranes (**Vega-G´alvez et al., 2010**).

4-4-1-3-1- Dosage de l'activité de la catalase(CAT)

La catalase ou CAT est une enzyme tétramérique, la décomposition du H₂O₂ en H₂O et O₂ (**Philippe Béguel, 2012**). Le dosage de l'activité de catalase(CAT) est réalisé selon la méthode de (**Cakmak et Horst, 1991**).

• Préparation d'extrait enzymatique

- ✓ Peser 500mg des feuilles vert Fraîche de chaque échantillon.
- ✓ Broyage dans un mortier avec 25ml de solution tampon (à 50 mmol /l et pH=7) et récupéré le broyat dans des tubes à essais.
- ✓ Centrifugation pendant 5min à 5000 tr/min.
- ✓ Récupération du surnageant (extrait enzymatique).

• Dosage

- ✓ Dans des tubes à essais on ajoute 50µl d'extrait enzymatique et 2850µl de solution tampon (à 50 mmol /l et pH=7) puis on ajoute 20µl de l'eau d'oxygénée à 0.3% et agitation les solutions.
- ✓ Lecture de densité optique en longueur d'onde 240nm toute 20 seconde pendant 3 minute.

Estimation d'Activité du catalase (CAT) selon formule suivant:

$$\text{Activité catalase} = \frac{\Delta DO / \text{min}}{0.040 \times \text{mg protéines dans la cuve}} = \mu\text{moles/ min/mg des protéines}$$

ΔDO : Différence entre densité optique.

0.040: Coefficient d'extinction moléculaire de l'eau oxygénée à 240nm en cm⁻¹.mmole⁻¹ .l.

4-4-1-3-2- Dosage d'activité du glutathion (GSH)

Le taux du glutathion est quantifié selon la méthode de (Weckberker et Cory, 1988), dont le principe repose sur la mesure colorimétrique de l'acide 2-nitro 5-mercaptopurique, résultant de la réduction de l'acide 5-5'- dithio-bis-2-nitrobénzoïque (DTNB) par les groupements thiol (-SH) du glutathion mesuré à une longueur d'onde de 412nm.

• Préparation d'extraits enzymatiques

- ✓ Peser 25mg des feuilles vert Fraîche.
- ✓ Broyage dans mortier avec 2ml de solution tampon phosphate (0.1 M pH=6.5) ensuite on fait une filtration de broyage.
- ✓ Centrifugation du filtre pendant 15min à 5000 tr/ min puis récupération de homogénat.
- ✓ Prendre 0.8ml de homogénat dans tube à essais puis ajoute 0.2ml d'ASS à 0.25%.
- ✓ Agitation par vortex et laisser les solutions dans un bain de glace pendant 15min.
- ✓ Centrifugation pendant 5min à 1000tr / min puis récupération de surnageant (extrait enzymatique).

• Dosage

- ✓ Dans des tubes à essais on ajoute 0.5ml de surnageant et 1ml de tampon tris/EDTA à 0.02M puis on ajoute 0.025ml de DTNB, le volume de la solution finale est 1.525ml.
- ✓ La lecture de la densité optique en longueur d'onde de 412nm.

Concentration du glutathion (GSH) est estimée selon formule suivante:

$$\text{glutathion (GSH) (\mu\text{moles /mg des protéines})} = \frac{DO}{13.1} \times \frac{1}{0.8} \times \frac{1.525}{0.5} / \text{mg des protéines}$$

La concentration du glutathion est exprimée en $\mu\text{mole/mg}$ de protéines.

DO: Densité optique.

13.1: Coefficient d'absorption (concernant le groupement (-SH) à 412nm).

1: Volume total des solutions utilisées dans la déprotéinisation = 0.8ml d'homogénat + 0.2ml d'ASS.

0.8: Volume de l'homogénat trouvé dans 1(ml).

1.525: Volume total des solutions utilisées dans le dosage de la GSH au niveau du surnagent = 0.5ml surnagent + 1ml Tris – EDTA+0.025ml DTNB.

0.5: Volume du surnagent trouvé dans 1.525.

mg des protéines : quantité des protéines exprimée en mg.

4-4-1-3-3- Dosage d'activité du glutathion S – transferase (GST)

La glutathion S-transférase ou GST a une action la détoxification des ROS puisqu'elle permet le transport du GSH vers les compartiments cellulaires subissant des dommages oxydatifs (**Philippe Béguel, 2012**).

Le taux du glutathion S- transferase est quantifié selon la méthode de **Habig et al .,1974**.

- **Préparation d'extrait enzymatique**

- ✓ Peser 500mg des feuilles vert Fraîche.
- ✓ Broyage avec 1ml de tampon phosphate avec saccharose (0.1M, pH=6) a un mortier dans un bain de glace.
- ✓ Centrifugation à 14000tr/min pendant 30min puis récupération de surnageant.

- **Dosage**

Est réalisé par prendre 1.2ml du mélange (CDNB+ GHS) et 200µl du surnageant et lecture densité optique sur longe d'onde 340nm tout 1min pendant 5min.

L'activité enzymatique du GST est obtenue par la formule suivante:

$$\text{Activité GST } (\mu\text{moles /min/mg des protéines}) = \frac{A \times 1400}{9.6 \times 1 \times 200} / \text{mg des protéines}$$

A: Absorbance.

1400: Volume total de la cuve en µl.

9.6: Coefficient d'extinction en mM⁻¹.cm⁻¹.

1: Epaisseur de la cuve en cm.

200: Volume du surnagent en µl.

4-4-2- Etude paramètre biochimique des graines

4-4-2-1- Dosage des sucres solubles

- **Préparation d'extrait des sucrés**

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

- ✓ Peser 500 mg des poudres échantillons des grains de quinoa et poser dans Becher.
- ✓ Ajoute 5ml de acide trichloracétique (TCA) (20%) et agitation par vortex durée 5min ensuite remplace les mélanges dans tubes verres.
- ✓ Séparation des mélanges par centrifugeuse 3000tr /min durée 10min ensuite récupérée surnageant.

- **Dosage**

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

- ✓ Dans tubes à essais on a posé 1ml des surnagent.
- ✓ Ajoute 1ml de phénol (5%) puis 5ml d'acide sulfurique concentré.
- ✓ Agitation des solutions et leur laisser durer 15min.
- ✓ Lecture de densité optique sur long d'onde 490nm.

Déterminée contenu de sucres solubles à échantillons des grains de quinoa à partir de courbe étalonnage de concentration glucose à indication l'absorption.

4-4-2-2- Dosage des protéines totales

- **Préparation des extraits protéiques**

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

- ✓ Peser 500 mg des poudres échantillons des grains de quinoa 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 remplace mélanges dans tubes.
- ✓ Séparation des mélanges par centrifugeuse 3900rt /min durée 20min ensuite récupérée surnageant.

- **Dosage**

Est réalisé selon la méthode **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 des protéines totales en se référant à la courbe d'étalonnage dressée à partir des concentrations connues de BSA.

5- Analyses statistiques

Les résultats expérimentaux sont mentionnés comme moyen de trois mesures parallèles. Les valeurs de $p < 0.05$ ont été considérées comme significatives. L'analyse statistique a été effectuée à analyse de variance ANOVA par le logiciel MINITAB.16.

Chapitre IV

Résultats et

Discussion

Résultats

1- Résultats test de germination

On a trouvé que le pouvoir germinatif des trois variétés étudiées est très élevé particulièrement chez les deux variétés *Blanca de junín*, *Sajama* avec un pourcentage de germination 100%, par contre il y a une diminution de 10% chez la variété *Santa maria*.

Tableau 08: Résultats test de germination.

Variété	Nombre de graines total	germées la graines	Pourcentage de germination
<i>Blanca de junín</i>	20	20	100%
<i>Santa maria</i>	20	18	90%
<i>Sajama</i>	20	20	100%

2- Résultats études paramètres morphologiques de quinoa

2-1- La longueur des plantes

Concernant la hauteur des plantes, nous avons enregistré une élévation chez les variétés *Blanca de junín* et *Santa maria* avec des valeurs 70.91; 68.76 cm respectivement, par ailleurs on a noté une réduction avec une valeur de 58.76 cm pour la variété *Sajama*. L'analyse statistique montrent qu'il n'y a pas des différences significatives entre les variétés ($p > 0.05$).

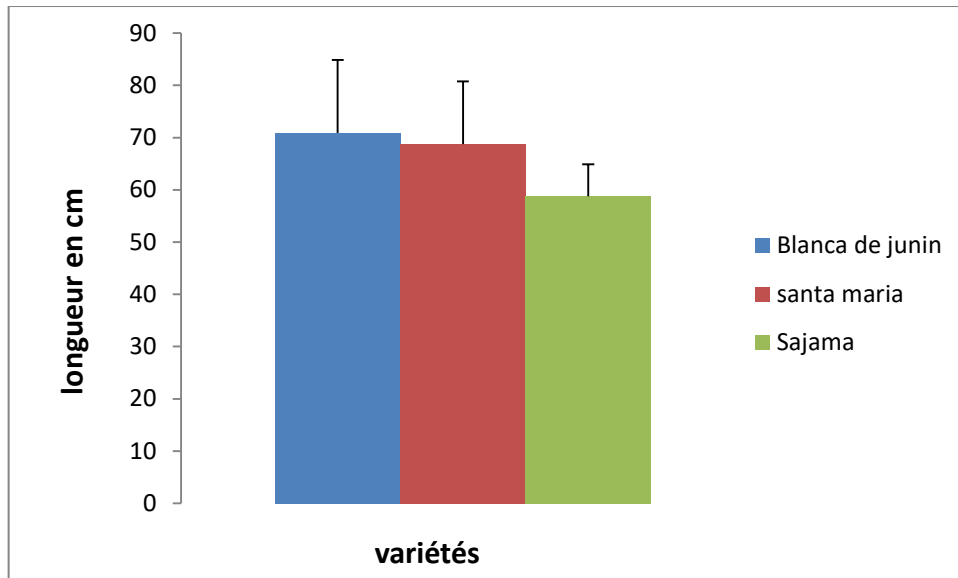


Figure 20: Les moyens de la longueur des trois variétés de quinoa.

2-2- La ramification des plantes

Les résultats obtenus (Figure 21) montrent qu'il y a une diminution des ramifications chez les variétés *Santa maria* et *Sajama* avec des moyennes de 12.96; 12.63 respectivement, comparativement avec la variété *Blanca de junín* qui est enregistré un moyen de ramification 15.56. L'analyse statistique montre qu'il n'y a pas de différences significatives ($p > 0.05$).

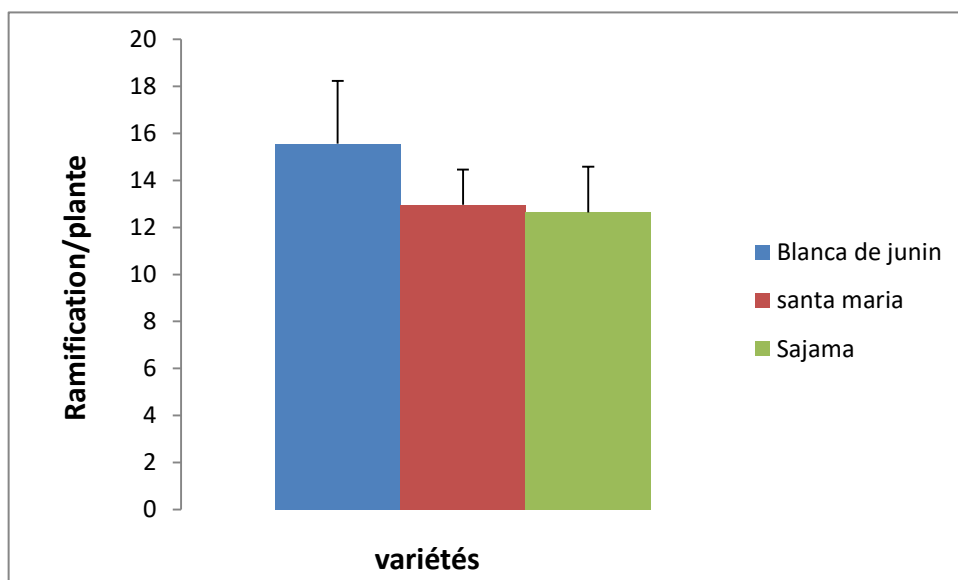


Figure 21: Moyen nombres ramifications des trois variétés de quinoa.

2-3- Surface foliaire

Les résultats (Figure 22) montrent que la valeur la plus élevée est notée chez la variété *Blanca de junín* avec une valeur de 39.10 cm². Les valeurs les plus basses sont observées chez les variétés *Santa maria* et *Sajama* avec des valeurs 30.20 ; 28.04 cm² respectivement. L'analyse statistique montre qu'il n'y a pas de différences significatives ($p > 0.05$).

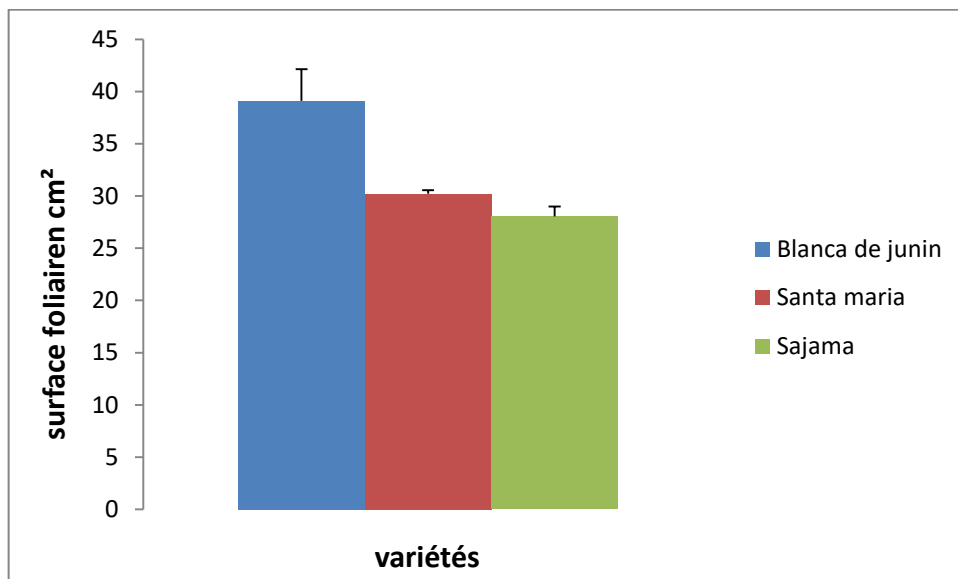


Figure 22: Moyenne de surface foliaire des trois variétés de quinoa.

3- Paramètres physiologiques de quinoa

3-1- Paramètre de pigments photosynthétiques

3-1-1- Chlorophylle a

On observe des résultats obtenus dans la figure(23) que le contenu en chlorophylle a est élevé chez la variété *Blanca de junín* avec une valeur de 5.40 µg/g de MF par rapport aux variétés *Santa maria* et *Sajama* avec les valeurs 5.07; 4.90 µg/g de MF respectivement. L'étude statistique montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre les trois variétés étudiées ($p > 0.05$).

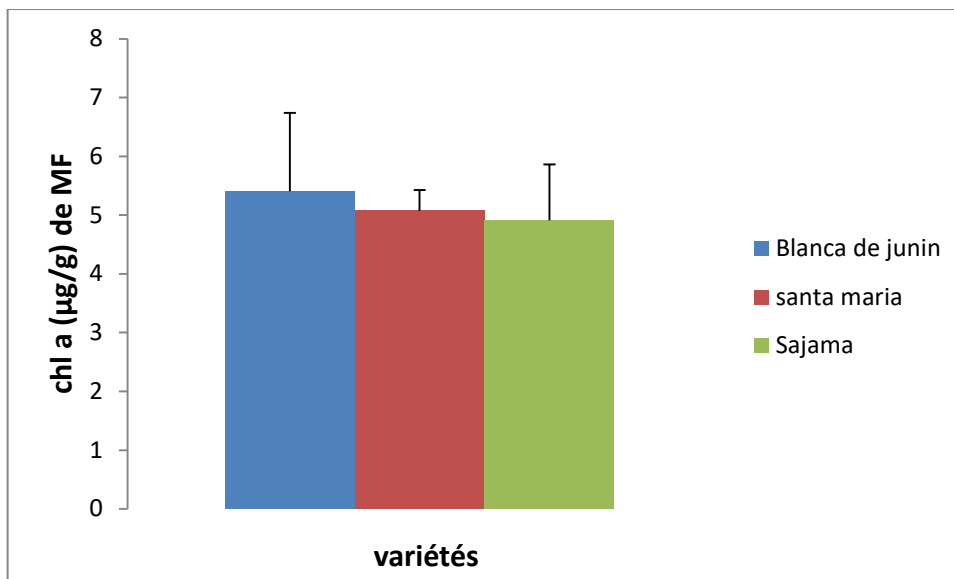


Figure 23: Contenu de chlorophylle a des feuilles des trois variétés de quinoa.

3-1-2- Chlorophylle b

Les résultats obtenus en figure(24) montrent qu'il ne pas y a des différences significatives ($p > 0.05$) entre trois variétés étudiées, contenu la Chlorophylle b est élevée chez la variété *Santa maria* avec la valeur $4.48 \mu\text{g/g}$ de MF, par contre réduction chez les variétés *Sajama* et *Blanca de junín* avec valeur 4.41 ; $4.16 \mu\text{g/g}$ de MF respectivement.

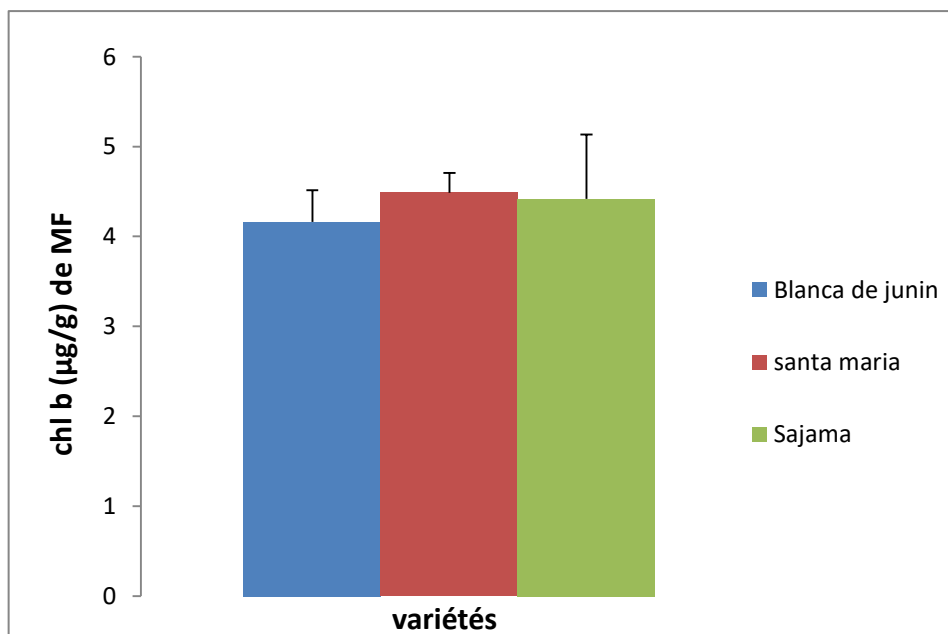


Figure 24: Contenu de chlorophylle b des feuilles des trois variétés de quinoa.

3-1-3- Chlorophylle a+b

Contenu chlorophylle a+b est consigné dans figure (25). On a observé qu'il n y a pas différent significative ($p>0.05$), contenu en chlorophylle a+b est élevée chez la variété *Blanca de junín* avec une valeur 10.24 $\mu\text{g/g}$ de MF, on outre il y a une réduction chez les variétés *Santa maria* et *Sajama* avec des valeurs 9.55; 9.32 $\mu\text{g/g}$ de MF respectivement.

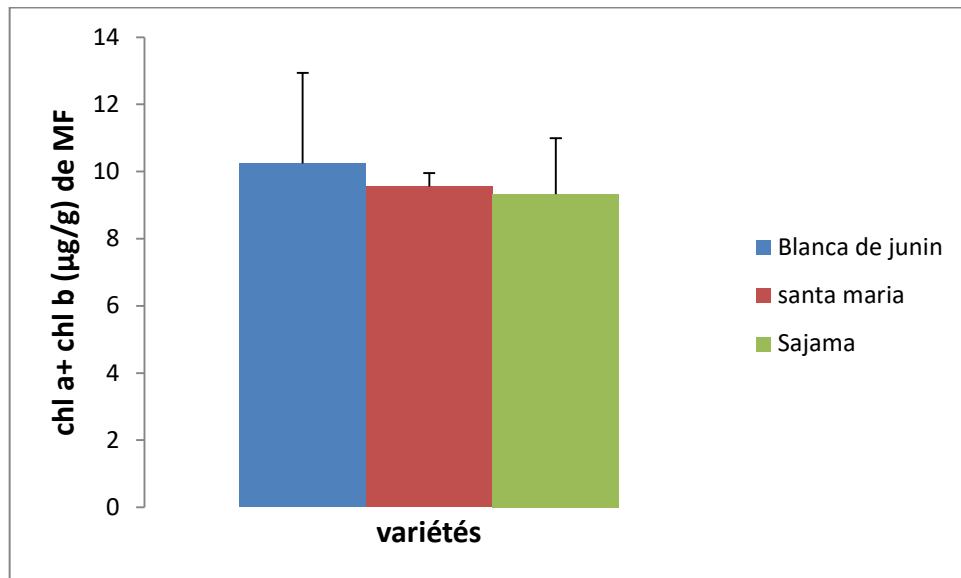


Figure 25: Contenu de chlorophylle a + b des feuilles des trois variétés de quinoa.

3-1-4- Caroténoïde

Les résultats obtenus en la figure (26) montre que contenu du caroténoïde est élevée chez la variété *Santa maria* avec une valeur 4.21 $\mu\text{g/g}$ de MF comparativement avec les variétés *Sajama* et *Blanca de junín* 4.13; 3.94 $\mu\text{g/mg}$ de MF successivement. L'étude statistique montre qu'il n y a pas différences significative ($p>0.05$).

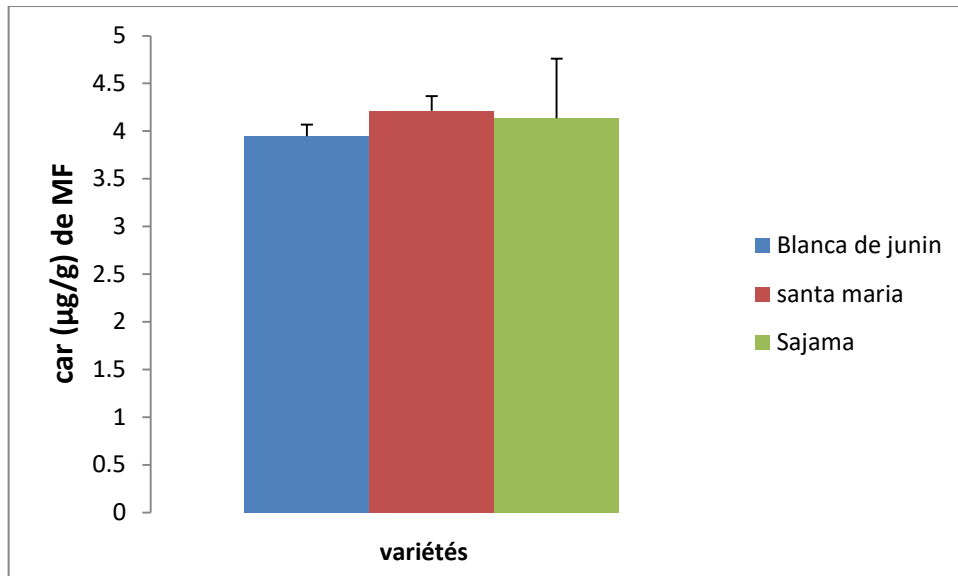


Figure 26: Contenu de caroténoïde des feuilles des trois variétés de quinoa.

3-2- Le poids frais de plante

3-2-1- Le poids frais des parties aériennes

Les résultats que circonscié dans figure (27) montrent que le poids est plus élevée chez la variété *Blanca de junín* avec une valeur 127.6g et le poids plus réduit chez les variétés *Santa maria* et variété *Sajama*, 106.96; 53.66g respectivement. L'analyse statistique montrent clairement qu'il n y a pas différences significatives ($p > 0.05$).

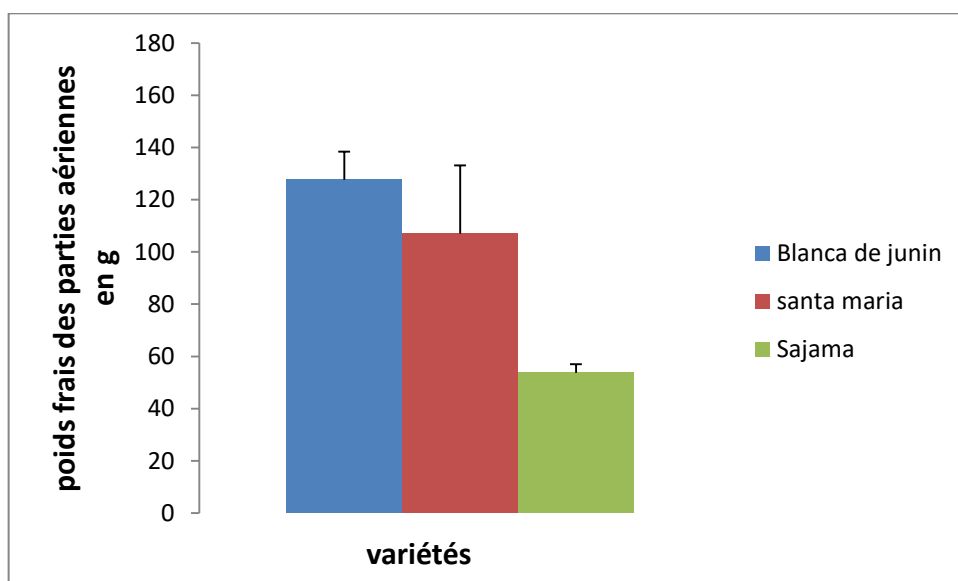


Figure 27: Le poids frais des parties aériennes des trois variétés de quinoa.

3-2-2- Le poids frais des parties racinaires

Les résultats obtenus en figure(28) montrent une élévation chez la variété *Blanca de junín* avec une valeur 14.93g, par comparaison avec les variétés *Santa maria* et *Sajama* avec des valeurs (9.46; 3.6g) respectivement. L'analyse de variance montre des différences non significatives ($p>0.05$) entre trois variétés.

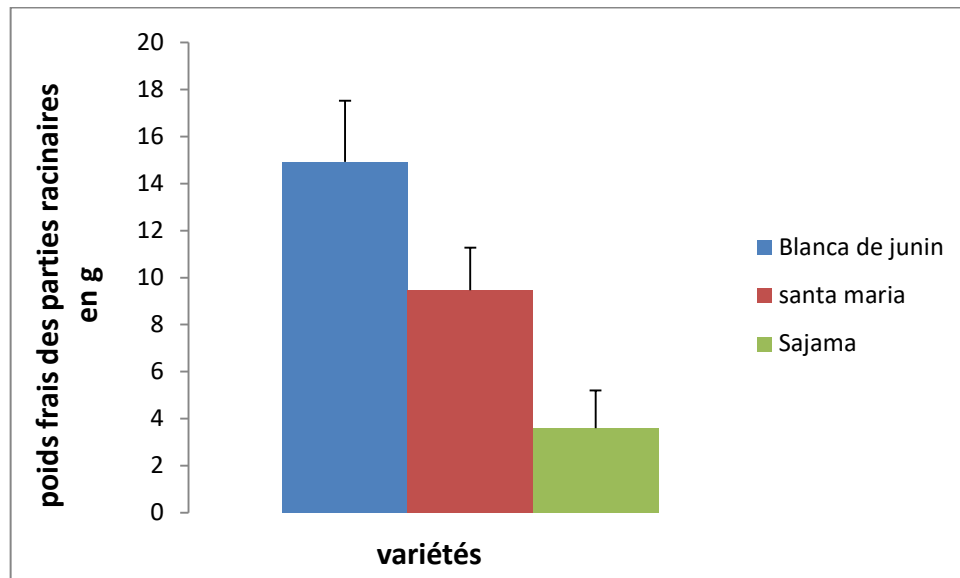


Figure 28: Le poids frais des parties racinaires des trois variétés de quinoa.

3-3- Le poids sec de plante

3-3-1- Le poids sec des parties aériennes

Nos résultats montrent une réduction du poids sec de la partie aérienne chez variété *Blanca de junín* et *Sajama* avec des valeurs 26;12.63g respectivement, comparativement avec la variété *Santa maria* qui est enregistré 33.7g. L'analyse de variance montre des différences non significatives ($p>0.05$) entre trois variétés.

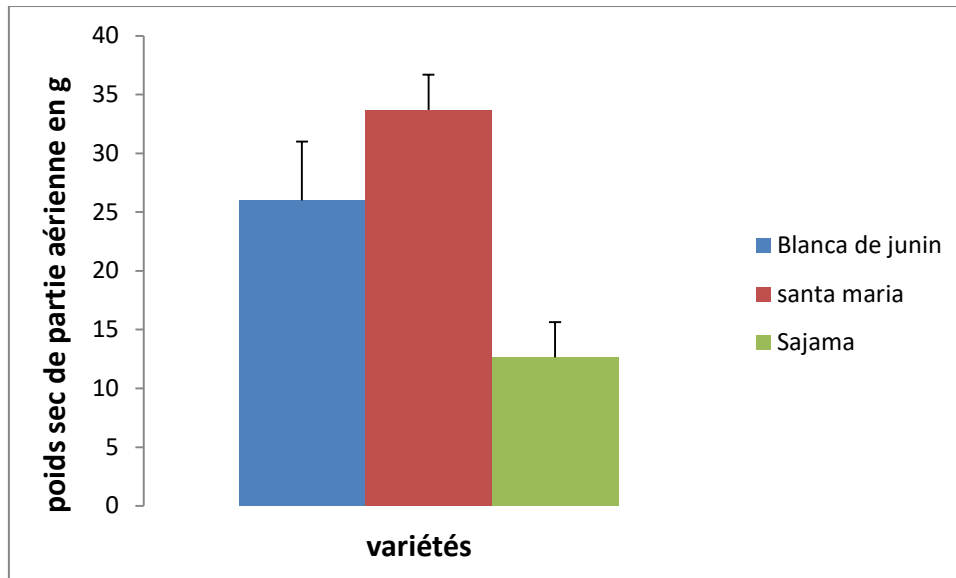


Figure 29: Le poids sec des parties aériennes des trois variétés de quinoa.

3-3-2- Le poids sec des parties racinaires

La figure (30) montre élévation importante chez la variété *Blanca de junín* avec une valeur 5.03g, comparativement avec les variétés *Santa maria* et *Sajama* qui sont enregistrées des chiffres 2.9; 1.16g respectivement. Ce paramètre varié d'une façon non significative ($p > 0,05$).

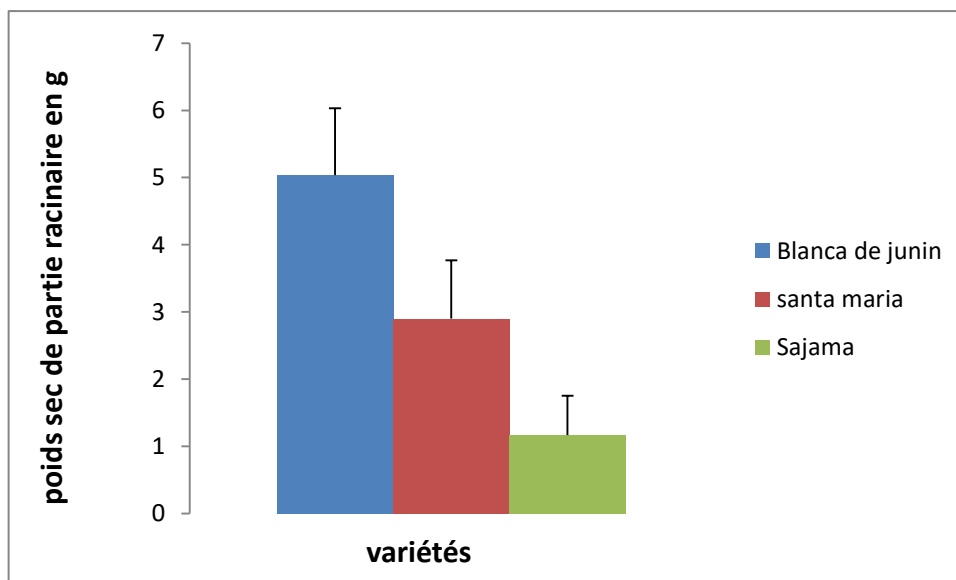


Figure 30: Le poids sec des parties racinaires des trois variétés de quinoa.

4- Poids des 1000 graine

Les résultats dont présentés dans la figure (31) montrent une élévation chez les variétés *Santa maria* et *Sajama* avec valeur 4.98; 4.94g respectivement, par rapport à la variété *Blanca de junín* avec valeur 3.73g. Autant le traitement statistique montre des différences non significatives ($p>0.05$).

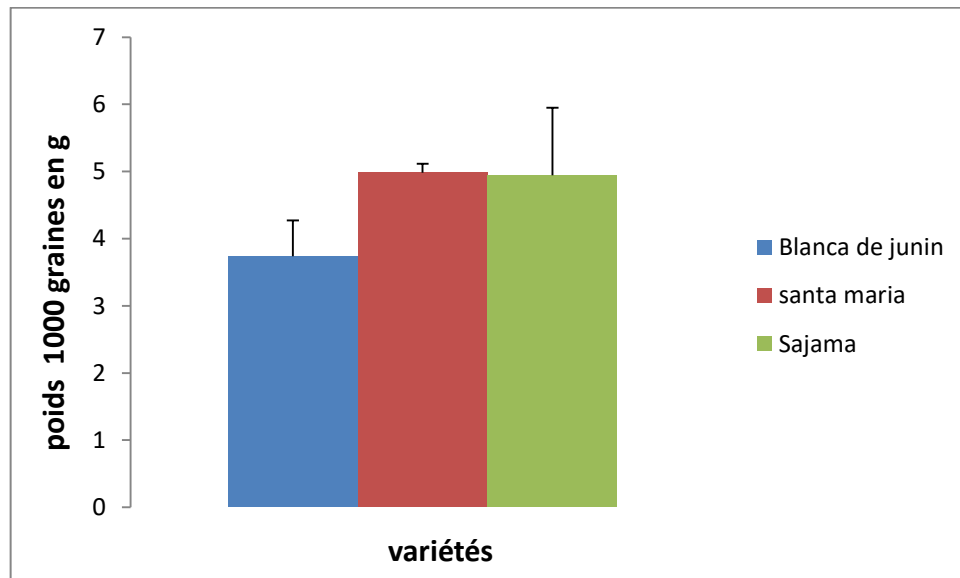


Figure 31: Moyen poids des 1000 grains des trois variétés de quinoa.

5- Résultats études biochimiques de quinoa

5-1- Contenu biochimiques des feuilles

5-1-1- Contenu des sucres solubles

La figure suivante (32) montre une élévation en contenu des sucres solubles chez les variétés *Sajama* et *Santa maria* avec les valeurs 65.71; 63.67 $\mu\text{g/g}$ de MF respectivement, comparativement avec la variété *Blanca de junín* qui est la plus basse avec une valeur 26.80 $\mu\text{g/g}$ de MF. L'étude statistique montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre les trois variétés étudiées ($p<0.05$).

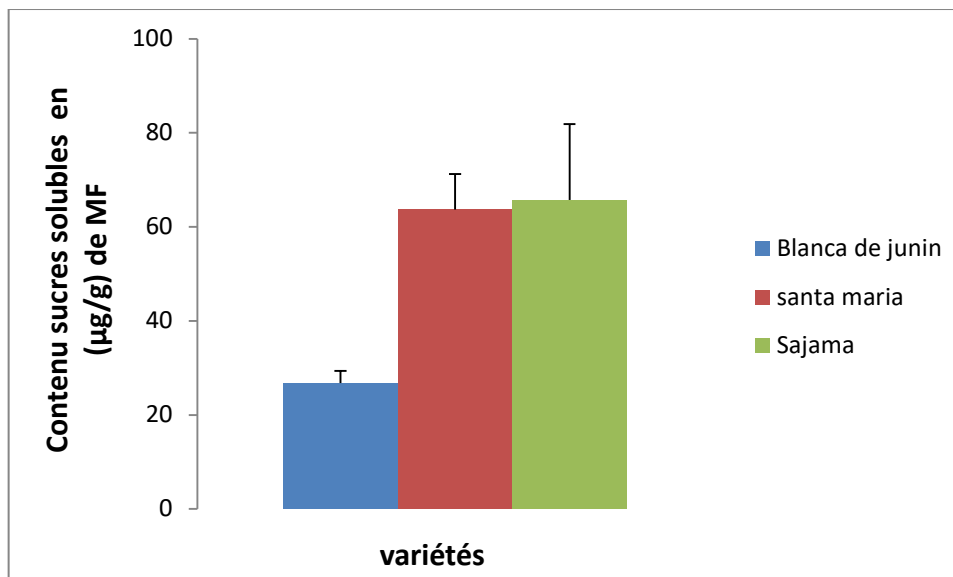


Figure 32: Contenu des sucres solubles des feuilles des trois variétés de quinoa.

5-1-2- Contenu des protéines totales

Les Résultats qui ampliative dans figure (33) montrent élévation chez la variété *Sajama* avec une valeur 418.4µg/mg de MF, comparativement avec les variétés *Santa maria* et *Blanca de junín* avec les valeurs 411.8; 401.73µg/mg de MF respectivement. L'étude statistique montre différences non significative entre les trois variétés ($p>0.05$).

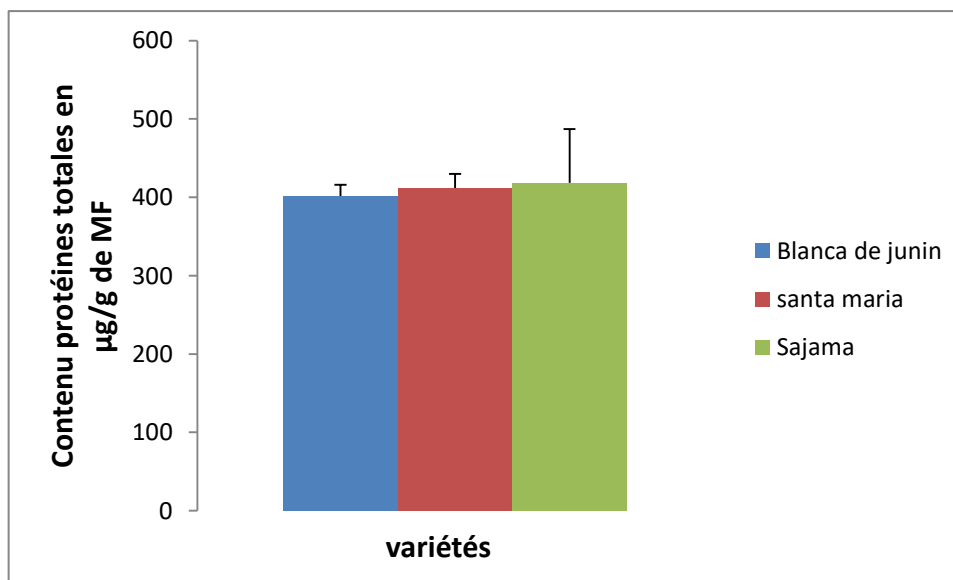


Figure 33: Contenu des protéines totales des feuilles des trois variétés de quinoa.

5-1-3- Résultats dosage des antioxydants

5-1-3-1- L'activité d'enzyme Catalase(CAT)

Les résultats mentionnés dans la figure (34) montrent une présence des différences significatives entre trois variétés ($p < 0.05$), on observe une élévation chez la variété *Santa maria* avec une valeur $144.17 \mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$, par contre il y a une réduction chez les variétés *Sajama* et *Blanca de junín* avec les valeurs 125.27 ; $76.35 \mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ respectivement.

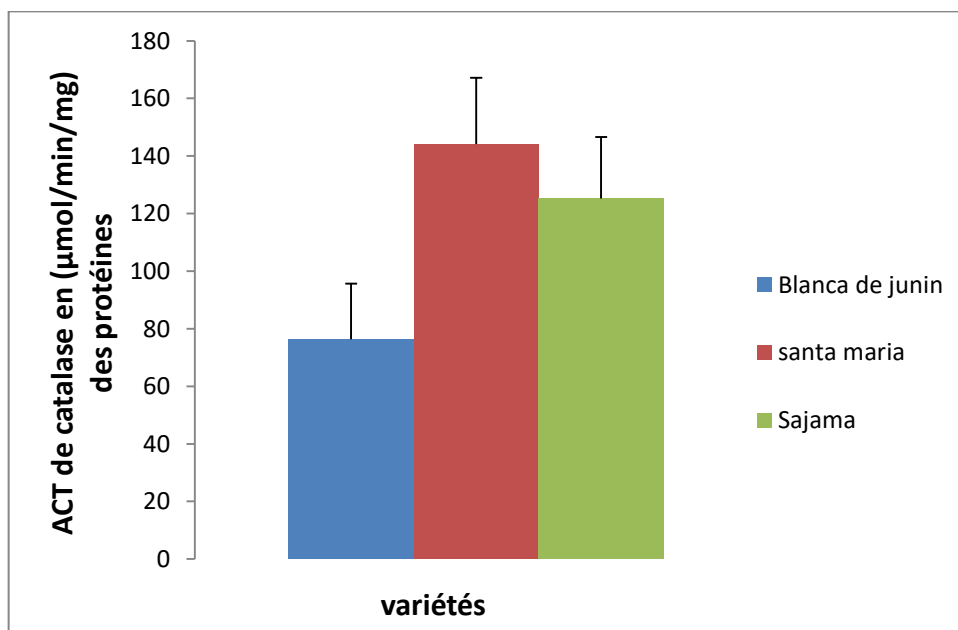


Figure 34: Activité de catalase des trois variétés de quinoa.

5-1-3-2- Activité du glutathion(GSH)

Les résultats obtenus dans la figure (35) montrent une augmentation de ce paramètre chez la variété *Blanca de junín* avec une valeur $0.00189 \mu\text{mol}/\text{mg}$ des protéines, comparativement avec les variétés *Sajama* et *Santa maria* 0.00175 ; $0.00166 \mu\text{mol}/\text{mg}$ des protéines respectivement. Traitement statistique montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre les trois variétés étudiées ($p > 0.05$).

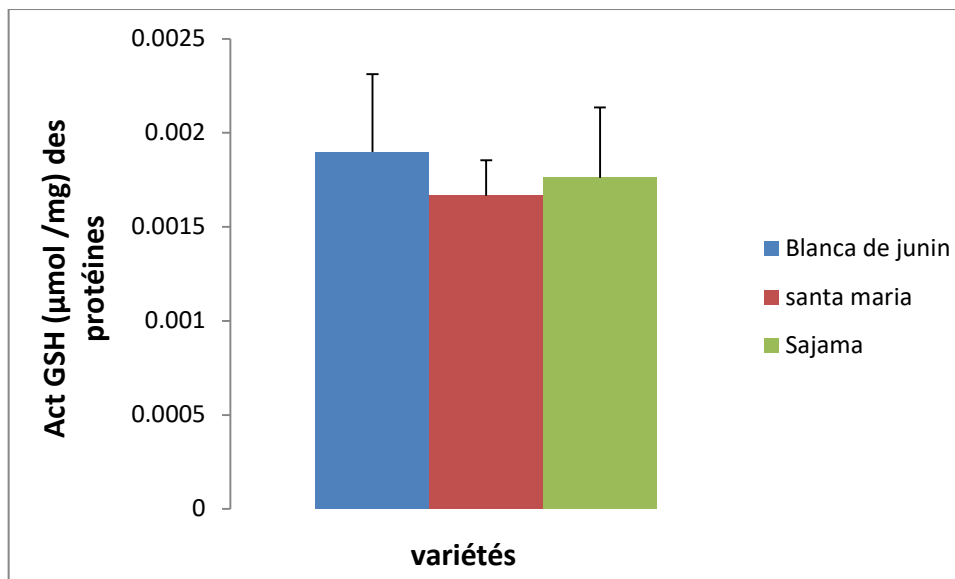


Figure 35: Activité du glutathion (GSH) des trois variétés de quinoa.

5-1-3-3- Dosage de l'activité d'enzyme glutathione S – transferase (GST)

Les Résultats obtenus dans la figure (36) montrent que l'activité d'enzyme (GST) est élevée à façon très important chez la variété *Santa maria* avec une valeur $41.86 \mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ des protéines, par ailleurs il y a réduction chez les variétés *Sajama* et *Blanca de junin* avec des valeurs 11.66 ; $5.97 \mu\text{mol}/\text{min} / \text{mg}$ des protéines respectivement. L'analyse statistique montrent une Différence d'une façon très hautement significative ($P < 0,05$).

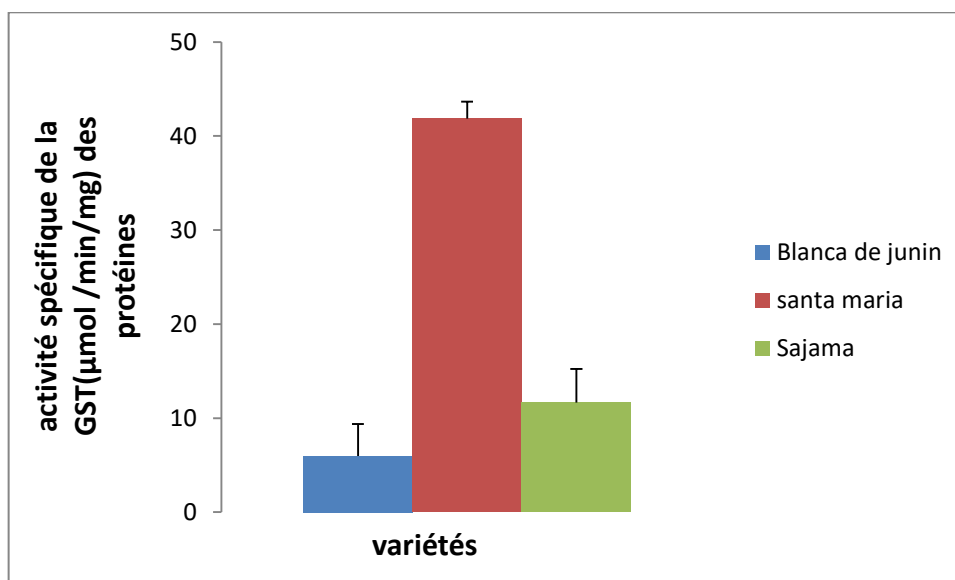


Figure 36: Activité spécifique de la glutathione S – transferase des trois variétés de quinoa.

5-2- Contenu biochimiques des grains

5-2-1- Contenu des sucres solubles

Les résultats obtenus (figure 37) montrent que le contenu des sucres solubles chez les variétés *Sajama* et *Blanca de junín* est élevée avec des valeurs à 129.83; 128.81 et $\mu\text{g/g}$ de MS respectivement. Par contre on a noté une réduction chez variété *Santa maria* avec une valeur 109.12 $\mu\text{g/g}$ de MS. L'étude statistique montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre les trois variétés étudiées ($p > 0.05$).

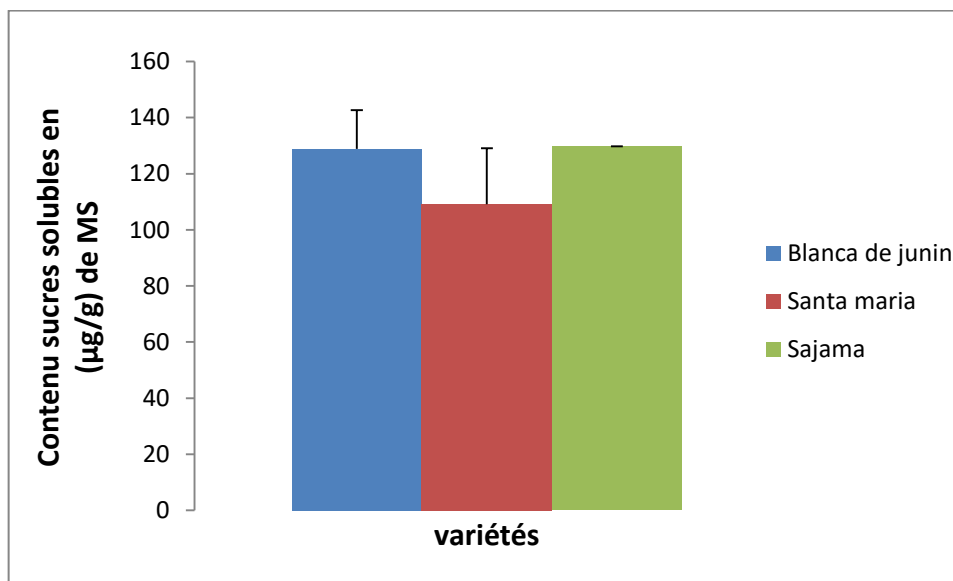


Figure 37: Contenu des sucres solubles dans les graines des trois variétés de quinoa.

5-2-2- Contenu des protéines totaux

A la lumière des résultats obtenus dans la figure (38). On observe une élévation en contenu des protéines totales chez la variété *Sajama* 240.48 $\mu\text{g/g}$ de MS, par rapport aux variétés *Blanca de junín* et *Santa maria* avec des valeurs 162.56; 160 $\mu\text{g/g}$ de MS respectivement. L'étude statistique montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre les trois variétés étudiées ($p > 0.05$).

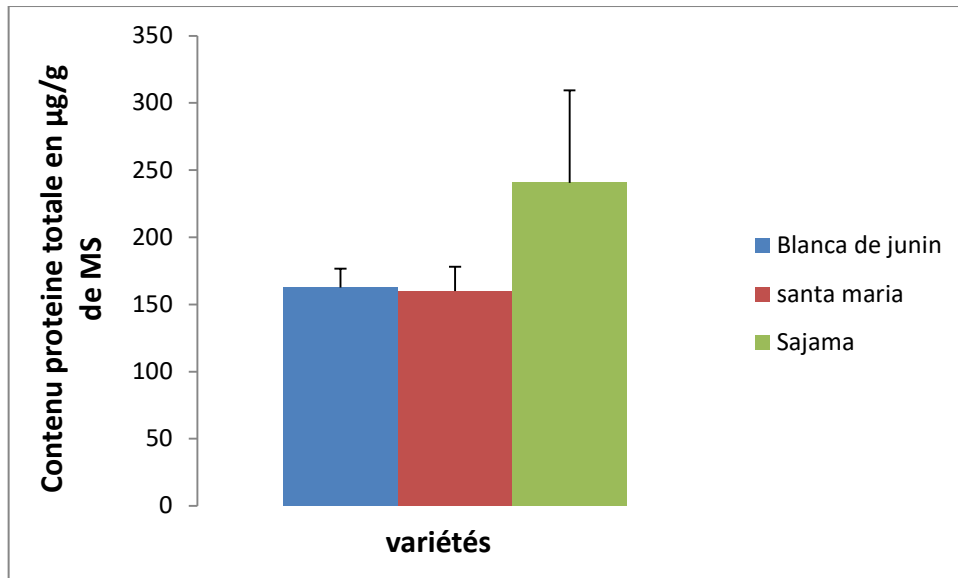


Figure 38: Contenu des protéines dans les graines des trois variétés de quinoa.

Discussion

Dans la recherche des plantes qui ont une importante valeur agronomique et qui sont capables de résister aux stress environnementaux, on s'est intéressé à une pseudo-céréale d'Amérique du sud, le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd).cette étude a permis de mettre en évidence l'influence des conditions environnementaux (qualités d'eau et sol, conditions météorologiques) sur les paramètres morphologique(longueur, ramification, surface foliaire) et physiologiques (chlorophylle, poids frais et sec), biochimiques (sucre, protéine, enzyme) et rendement (PMG) de quinoa, le travail a permis d'observer le comportement des trois variétés de quinoa.

On a trouvé que la longueur des plantes celle obtenus dans ce travail montre que les moyens de longueur des plantes Confiné entre 58.76 et 70.91 cm, Ces résultats sont en accord avec qui est obtenus par **Boubaiche, (2016)**.

Concernant la ramifications on a observé un maximum de moyen de ramification est 15.56 et minimum 12.63, ces moyens sont plus faible qui est obtenus par **Hendawey et al., (2013)** .

La surface foliaire est montre une valeur maximum 39.10cm² et minimum 28.04cm², ces les résultats sont en accord avec les résultats obtenus par **Rjeibi et al., (2015)**. La différence dans surface foliaire se référer à différent morphologies des feuilles enter les variétés de quinoa.

Les résultats Concernant contenu des feuilles de chlorophylle (a), chlorophylle (b), et chlorophylle (a+b), a été Compatible avec les résultats **González et al., (2008)**. Concernant les résultats des caroténoïdes on a enregistré une élévation chez la variété *Santa maria* par rapport la variété *Blanca de junín* ces résultats sont conformement avec les études **Triki et al., (2016)**.

Concernant les résultats des poids frais des parties aériennes et racinaires été très réduit comparativement aux travaux obtenus par **Azhar et al., (2017)**.

Les poids sec des parties aériennes a été similaire qui obtenu par **Azhar et al., (2017)**.

La valeur maximale de poids sec des parties racinaire a été chez la variété *Blanca de junín* (5.03g), aussi cette valeur enregistré chez **Azhar et al., (2017)**, en étude de quatre variétés de quinoa. Et la valeur minimal a été enregistré chez *Sajama* (1.16g) ces valeurs sont compatibles avec **Stikić et al., (2015)**.

Les rendements en grains sont la résultante des interactions qui s'établissent entre le sol, le climat, les techniques culturales et le peuplement végétal (potentiel génétique de la variété), tout au long du cycle de la culture. Le poids de mille grains (PMG) est un paramètre qui décrit la capacité d'accumulation des substances de réserves en conditions environnementales optimales. Le remplissage des grains se fait essentiellement par les assimilats récemment photosynthétisés (**Lahouel, 2014**). Nos résultats pour poids 1000 graines montrent une élévation à rendement en grains et surtout chez variété *Santa maria*, ces résultats sont plus important que celui obtenu par **Sajjad et al., (2014)** en étude sur le quinoa dans région de Pakistan, et **Bhargava et al., (2006)**, ce différent à causer différent conditions climatiques et nature terrains des régions.

Les résultats obtenus à l'essai de dosage sucres solubles des feuilles a été proche avec les résultats **Bankaji et Sleimi, (2012)** en étude biochimique chez quelques halophytes.

Les résultats des contenus en protéines dans les feuilles sont homogènes avec les études **Bankaji et Sleimi, (2012)**; **Brinis., et al (2015)** sur l'Atriplex. Ces résultats justifié que le quinoa sont capables de synthétiser des acides aminés pour tolérer et signalent que le quinoa ajuste osmotiquement leur contenu cellulaire en synthétisant des acides aminés comme la proline (**Bankaji et Sleimi, 2012**).

Les principaux antioxydants à base de plantes, peuvent protéger les biomolécules des dommages oxydatifs à travers différents mécanismes qui inclure le piégeage direct des radicaux libres d'oxygène et la chélation les ions des métaux de transition; ces derniers, dans leur forme ionique libre peut générer des ROS via Haber-Weiss et / ou réactions de Fenton (**Letelier et al ., 2010**). Les résultats des activités antioxydants (catalase, GST, GSH) montrés bien que la variété *Santa maria* présente des activité enzymatique importante que les variétés *Blanca de junín* et *Sajama*, ces résultats sont similaire avec celle-ci trouvé par **Hedayati et al., (2016)** sur la variété *santa maria*.

Le Contenu des sucres solubles dans les graines a été élevée chez la variété *Blanca de junín* et Diminué chez *Santa maria*, ces résultats sont en accord avec **Triki et al., (2016)**.

Le quinoa est un aliment très intéressant en raison à ses caractéristiques nutritionnelles complètes principalement à leur haute teneur en protéines de bonne qualité (**Ranhotra et al., 1993**). Les teneurs en protéines totaux dans les graines varient entre valeurs 160 et 240.48µg/g de MS. De nombreuses étude ont trouvé que la teneur en protéines est élevée en graines de quinoa et prouvent que les graines de quinoa sont riches en protéines totaux, tel que: **Triki et al., (2016)**, **Hendawey et al., (2013)** .

Conclusion générale

Conclusion générale

Le quinoa (*Chenopodium quinoa willd*) est une plante herbacée, annuelle, défini de la famille des Chenopodiaceae, originaire des Andes en Amérique du Sud (région du lac Titicaca), sa longueur entre 50cm et 2m, résistante aux conditions environnementales difficiles. Malgré que les graines considérées comme pseudocéréales mais sont des aliments complets à haute valeur nutritive et surtout les protéines.

Dans notre travail qui est l'étude de comportement morpho-physiologiques, biochimiques et antioxydants des trois variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa willd*), cultivé dans la région d'El Oued (zone aride), a révélé plusieurs résultats:

Les paramètres morphologiques (longueur, ramification, surface foliaire) obtenus indiquent que la variété *Blanca de junín* présente des valeurs plus élevées par rapport *Santa maria* et *Sajama*.

Par ailleurs les résultats des paramètres physiologiques obtenus montrent que les pigments chlorophylliens sont élevés chez la variété *Blanca de junín*.

La même variété présente une supériorité du poids frais de partie aérienne et racinaire et le poids sec de la partie racinaire, par contre le poids de 1000 grains est élevée chez les deux variétés *Santa maria* et *Sajama* contrairement au *Blanca de junín*.

Concernant les paramètres biochimiques il existe une accumulation des contenus en sucres solubles et protéines totaux dans les feuilles et les grains de la variété *Sajama*.

On outre, l'activité des enzymes antioxydants a été très élevée avec la variété *Santa maria*.

Ces résultats indiquent que la variété *Sajama* présente une stratégie caractéristique des espèces tolérantes à des zones arides par ces contenus élevés des protéines et sucres solubles....

Le PMG est une composante très importante pour le rendement, les deux variétés *Santa maria* et *Sajama* ont des valeurs très importants comparativement au d'autres travaux.

Nous avons constaté que la culture de quinoa dans la région d'El Oued a montré de bons résultats et ce à travers les critères et les caractéristiques que étudiés précédemment. Nous avons également constaté que la plante de quinoa donnait une bonne rentabilité et ceci est dû à son adaptation aux caractéristiques environnementales de la région.

Conclusion générale

En fin, nous demandons aux agriculteurs de prêter attention à ce type de culture en raison de son importance sanitaire et économique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Abugoch, James L E., 2009-** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Chemistry, Nutritional and Functional Properties. Advances in Food and Nutrition Research .Santiago. Chile. 58 (9): 1043-4526.
- **Ahamed T, Singhal R, Kulkarni P, and Pal M., 1998-** A lesser-known grain, *Chenopodium quinoa*: Review of the chemical composition of its edible parts. Food Nutr. The United Nations University. Bull. 9 (1), pp: 63–69.
- **Alvarez-Jubete L, Wijngaard H, Arendt E K, Gallagher E., 2009-** Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. Food Chemistry. Ireland. 119: 770–778.
- **Alvarez-Jubete L, Arendt E K, Gallagher E, 2010-** Nutritive value of pseudocéréales and their increasing use as functional gluten-free ingredients. Trends Food Sci Technol. Ireland. 21:106-113.
- **Anonyme 01:** Murielle Rouen sur <http://www.daletale.net/>.
- **Avila Ruiz G., 2016-** Exploring novel food proteins and processing technologies A case study on quinoa protein and high pressure high temperature processing. Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of doctor. Wageningen University. Wageningen, p: 09.
- **Azhar M F, Aziz SH, Aziz A, Javaid M, Aatif HM, 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.
- **Bankaji I, Sleimi N., 2012-** Polymorphisme biochimique chez quelques halophytes autochtones du nord Tunisien. Rev. Écol. (Terre Vie). Vol (67): 29-39.
- **Benhabib O., 2005-** Les cultures alternatives quinoa,amarante et épeautre. Royaume du maroc. N° 133, p1-4.
- **Bhargava A., Shukla S., Rajan S., Ohri D., 2006-** Genetic diversity for morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm. National Botanical Research Institute. Lucknow. India. 54:167–173.
- **Bhargava A., Srivastava S., 2013-** Quinoa Botany, production and Uses. Typeset by SPI Pondicherry. India, p:25.
- **Bioversity International et FAO., 2013-** Quinoa et ses espèces sauvages apparentées. Bolivie. N° 538, pp:3-38.

Références bibliographiques

- **Boerema G H, Mather S B, and Neergaard P., 1977-** *Ascochyta hyalospora* (Cooke and Ell.) comb. nov. in seeds of *Chenopodium quinoa*. European journal of plant pathology. 83: 153-159.
- **Boubaiche y., 2016-** Essai de comportement de trois variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) dans la région de Biskra. Mémoire de Master. Université Mohamed Khider .Biskra, p:11.
- **Boulifa kh., 2012-** Synthèse hydrogéologique sur la région d'El-Oued Sahara nord oriental -Est Algérien. Mémoire Magister. Université Constantine 1, 3 p.
- **Boyer F., 2018-** Gestion intégrée des ravageurs Nématode à kystes. Institut technique de la betterave, p: 4.
- **Brinis A, Belkhodja M., 2015-** Effet de la salinité sur quelques traits physiologiques et biochimiques chez *Atriplex halimus* L. Rev. Sci. Technol., Synthèse. Algérie.31: 42 -51.
- **Carciochi R A, Manrique G D, Dimitrov K., 2013-** Changes in phenolic composition and antioxidant activity during germination of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). Olavarría. Argentina. International Food Research Journal. 21(2): 767-773.
- **Cercam., 2014-** Fiche de synthèse QUINOA Une culture à fort potentiel d'adaptation et de production pour le Maroc. Maroc, 3 p.
- **Costa J F, Cosio W, Cardenas M, Yábar E, Gianoli E., 2009-** Preference of quinoa moth: *Eurysacca melanocampta* meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) for two varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in olfactometry assays. Chilean j. agric. res. 69 (1): 71-78.
- **Danielsen S, Bonifacio A, Ames T., 2006-** Diseases of quinoa (*Chenopodium quinoa*). Food Reviews International. 19(1-2): 43-59.
- **David E J et al ., 2017-** The genome of *Chenopodium quinoa*. 542:307-312.
- **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.
- **El hafid R, Aitelmaalem H, Driedger D, Bandara M, Stevenson J., 2005-** Quinoa ... The next Cinderella Crop for Alberta?. Agriculture. food and rural development Ag-Entrepreneurship.780: 968-3515.
- **Fahmi F, Tahrouch S, Bouzoubâa Z, Hatimi A., 2011-** Effet de l'aridité sur la biochimie et la physiologie d'*Argania spinosa*. Agadir. Maroc, p: 305.

Références bibliographiques

- **Fanciullino A L, Gautier H., 2014-** Enrichissement des fruits charnus en caroténoïdes: exemple de la tomate et des agrumes. *Innovations Agronomiques*. 42: 77-89.
- **FAO,1994:** Cultures marginalisées 1492: Une autre perspective. *Production végétale et protection des plantes*. n°26, pp: 141-145.
- **FAO, 2011:** Quinoa: An ancient crop to contribute to world food security. *Latin America and the Caribbean*, pp: 3-14.
- **Filho A M., 2017-** Quinoa: Nutritional Aspects. *Journal of Nutraceuticals and Food Science*. University of Espírito Santo. Alegre. ES Brazilh. 2 (1:3).
- **González J A, Gallardo M, Hilal M, Rosa M, and Prado F., 2008-** 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.
- **Hedayati A R, Kazemeini S A, Pirasteh-Anosheh H, Kamalizadeh M., 2016-** Dry Matter, Yield and Activity of Antioxidant Enzymes in Three Quinoa Genotypes Grown At Varied Water Stress Conditions. *International Quinoa Conference*. Shiraz University.
- **Hendawey M H, Aljane F, Omar S A, Farag H I, Ferchichi A., 2013-** Genotypic variation in some biochemical constituents of quinoa genotypes subjected to saline stress conditions at Ras Sudr. Sinai. Egypt. *Actes du 4^{ème} Meeting International ‘‘Aridoculture et Cultures Oasisennes Gestion des Ressources et Applications Biotechnologiques en Aridoculture et Cultures Sahariennes: perspectives pour un développement durable des zones arides*. n° 35 (3/2014), pp: 523-538.
- **Herbillon M., 2015-** Le Quinoa: Intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. these doctorat en pharmacie. Université de rouen u.f.r de medecine et de pharmacie. France, pp:27-50.
- **Jakober L., 2015-** Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins .*National Institutes of health*.175:556-67.
- **Jancurová M., Minarovičová L., Dandár A., 2009-** Quinoa – a review. *Czech J. Food Sci*. 27: 71–79.

Références bibliographiques

- **Katsunori I, Hikaru S, Daisuke O, Yudai M, Hiroki H, Misa M, Syunsuke K, Masao H, Yoichi T., 2016-** Effects of Sowing Time on the Seed Yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in South Kanto. Japan. Nihon University. Japan, 147-148 p.
- **Khechana S, Mega N, El Fadel D, Drouiche A., 2012-** Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution à l'aide d'un SIG dans la région d'El-Oued (se. algé.... Université d'El-Oued. Algérie, p: 178.
- **Kilinc O K, Ozgen S, Selamoglu Z., 2016-** Bioactivity of Triterpene Saponins from Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.). University Nigde. Turkey. 4 (4): 0066-2322.
- **-Kumar A., 2016-** Model study of Backend supply chain of Quinoa & Millets. Head ICM Division NAARM. Hyderabad, p:12.
- **Lahouel H., 2014-** Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur le rendement des céréales (cas de l'orge) dans la région de Hemadna à Relizane. Mémoire de master. Université d'Abou-Bekr Belkaid. Tlemcen. Algérie, p: 86.
- **L'Algérie et FAO., 2016-** Un partenariat en faveur d'un développement agricole et rural durable. Algérie.
- **Lambrot L, Guerrero M A J, Araya E, 1999-** Lepidópteros asociados al cultivo de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willdenow) en la zona central de Chile. Universidad de Chile. Casilla 1004. Santiago. Chile. 25: 203-207.
- **Lebonvallet S., 2008-** Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'altiplano bolivien. Thèse doctorat. Agro Paris Tech. France, pp:17-29.
- **Letelier M E, Rojas C R, Jofré S S, Parks P A., 2010-** Surfactant and antioxidant properties of an extract from *Chenopodium quinoa* Willd seed coats. Universidad de Chile Santiago 8380492. Chile. 53: 239-243.
- **Lovejoy M J., 2015-** An examination of the impact of the global demand for quinoa on the lives and diets of Peruvian quinoa farmers. University of Bergen, p: 7.
- **Lutz M, Bascuñán-Godoy L., 2017-** The Revival of Quinoa: A Crop for Health. A Crop for Health, p:38-42.
- **Maillard J., 2001-** Le point sur l'irrigation et la salinité des sols en zone aride: Risques et Recommandations. Handicap International, 35p.
- **Merchiers K., 2017-** An analysis of the value chain of quinoa. Mémoire de master. Université Gent, p: 3.

Références bibliographiques

- **Ortuño N, Claros M, Gutiérrez C, Angulo M, Castillo J, 2014-** Bacterias asociadas al cultivo de la quinua en el Altiplano Boliviano y su potencial biotecnológico. Revista de Agricultura. Fundación PROINPA. Nro 53.
- **Ouassa B, 2014-** Biodiversité de l'arthropodofaune dans la région d'Oued Souf. Memoire D'ingénieur. Universite Kasdi Merbah. Ouargla. Algérie, pp: 5-8.
- **Pedersen S F., Tingvoll B Ø., 2013-** Quinoa Opprinnelse, dyrking og anvendelse. Bioforsk Report.Vol (8). Nr155. p: 9.
- **Philippe Béguel J., 2012-** Étude de la capacité antioxydante en lien avec la reproduction chez l'huître creuse *Crassostrea gigas*. Biologie animale. Université de Bretagne occidentale – Brest. 2012. Français. p:11-12.
- **Racchi M L, 2013-** Antioxidant defenses in Plants with Attention to prunus and citrus spp. University of Florence. Via Maragliano 77. Firenze 50144. Italy. 2: 340-369.
- **Ranhotra G S, Gelroth J A, Glaser B K, Lorenz K J, Johnson D L., 1993-** Composition and protein nutritional quality of quinoa. American Association of cereal chemists. Inc.70(3): 303-305.
- **Repo-Carrasco-Valencia R A M, Serna L A., 2009-** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. Cienc. Tecnol. Aliment. 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'Altiplano Bolivien". Memoire de master .Universite des sciences et techniques du languedoc, p:1.
- **Sajjad A, Munir M, Ehsanullah, Anjum S A, Tanveer M and Rehman A., 2014-** Growth and development of *Chenopodium quinoa* Genotypes at different sowing dates. J. Agric. Res. 52(4): 535- 546.
- **Sharma K D, Bindal G, Rathour R, Rana J C., 2012-** β -carotene and mineral content of different *Chenopodium* species and the effect of cooking on micronutrient retention. Int J F Sci Nutr 63: 290-295.
- **Smole M S, Hribernik S, Kleinschek K S, Kreže T., 2013-** Plant fibres for Textile and Technical Applications. In Tech open, p: 386.

Références bibliographiques

- **Soltner D., 1998-** Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte- Gemme-sur-Loire. Sciences et Techniques Agricoles.
- **Sophie Foucault A., 2014-** Effets d'un extrait de quinoa enrichi en 20- hydroxyecdysone dans un modèle d'obésité nutritionnelle: Application clinique.Thèse Doctorat Médecine humaine et pathologie. AgroParisTech. Français, p: 112.
- **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.
- **Tang Y, et al., 2015-** Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. Genotypes. Food Chem. 166: 380-388.
- **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.
- **Vega-G´alvez A, Miranda M, Vergara J, Uribe E, Puente L, Amart´mez E., 2010-** Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.). J Sci Food Agrican . Society of Chemical Industry. Chile.
- **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.
- **Zevallos V F, Herencia L I, Chang F, Donnelly S, Ellis H J., 2014-** Gastrointestinal effects of eating quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in celiac patients. Am J Gastroenterol. 109: 270-278.
- **Zito S., 2014-** Impact de la variabilité pluviométrique locale sur la gestion phytosanitaire à l'échelle d'un territoire viticole. Rapport de Stage. Biogéosciences, p: 3.
- **Office National de la Météorologie., 2018-** Ouargla.

Annexes

Annexes 01: Préparation courbes étalonnages

1-Préparation courbe étalonnage de glucose

Pour préparation courbe étalonnage de glucose dissoudre 1g de sucre de glucose dans 10ml de acide sulfurique (1N), le concentration de solution mère est 100mg/ml de ce concentration faire dilutions dégradée(0; 5; 10; 25; 50; 100 mg/ml). On agitation des solutions ensuite on se laisser durée 15min, lecture densité optique à cette dilutions dans spectrophotomètre quand long d'onde 490nm. Dessin courbe étalonnage de concentration glucose à indication l'absorption, à partir de ce dernière déterminée concentration de sucre dans échantillons.

2-Préparation de courbe étalonnage de (BSA)

Pour préparation de courbe étalonnage de Bovine serum albumin (BSA) on dissoudre 1mg de BSA en 1ml de l'eau distille.Le concentration est 1mg/ml, Préparation séries des solutions étalonnage à concentrations suivant: 0; 20; 40; 60; 80; 100 μ g / μ l ensuite on ajoute 4ml de colorant BBC(Coomassie Brilliant Blue R-250) à solutions étalonnage, lecture densité optique quand long d'onde 595nm. Dessin courbe étalonnage de concentration de BSA à indication l'absorption, à partir de ce dernière déterminée concentration de protéine dans échantillons.

Annexes 02: Protocole d'analyse de sol

L'échantillon le sol de terrain de cultural pour l'analyse se prendre à profonde 20cm, les analyses de sol a été effectué dans laboratoire d'analyse et de contrôle de la qualité et de la conformité.

1-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.

* Conductimétrie donné valeur conductivité électrique.

2 - Mesure taux de matière organique

- ✓ Placer d'échantillon de sol dans l'étuve (T=105 °C) pendant 24h.
- ✓ Peser 5g d'échantillon de sol ensuite poser dans foramofol (T= 700°C) pendant 2h pour la brûlure.
- ✓ Peser d'échantillon de sol après la brûlure.

Le taux matière organique calculé selon formule suivant:

$$\begin{array}{l} 5\text{g} \longrightarrow 100\% \\ M\text{g} \longrightarrow X\% \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 5\text{g} \\ M\text{g} \end{array}} \right\} X\% = M\text{g} * 100/ 5\text{g}.$$

5g: Poids d'échantillon de sol avant de brûlure.

M g: Poids d'échantillon de sol après de brûlure.

Annexes

Annexes 03: L'appareil utilisé dans les protocoles.



Plaque chauffante



Spectrophotomètre