

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



Réf :/UAMOB/FSNVST/DSA/2024

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV Filière : Sciences Alimentaires
Spécialité : Agro-alimentaire et Contrôle de qualité.

Présenté par :

NADI Asma et TOUMI Farial

Thème

Etude de la valeur alimentaire et les perspectives nutraceutique de quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)

Soutenu le : 27/06/2024

Devant le jury composé de :

<i>Nom et Prénom</i>	<i>Grade</i>		
Mme. RAHMOUNI Amina	MAA	Univ. Bouira	Présidente
Mme MOHAMMEDI Saliha	MAA	Univ. Bouira	Promotrice
Mme DOUMANDJI Wafa	MAA	Univ. Bouira	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

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

*Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance et nos sincères remerciements à **Mme .MOHAMMEDI** pour son encadrement exceptionnel, son aide, sa rigueur, sa patience et sa disponibilité durant la période de préparation de ce travail.*

*Nous remercions Mme **RAHMOUNI** d'avoir accepté de présider le jury de ce travail.*

*Nos remerciements vont également à Mme **DOUMANDJI**, d'avoir accepté d'examiner ce mémoire.*

*Nos remerciements s'adressent aussi à : M **CHALABI** de nous avoir donné l'accès aux laboratoires de recherche de **Biopharm** A Tout le personnel de laboratoire d'analyses physico-chimique de Biopharm de la zone industrielle à Oued El Bardi (Bouira).*

*A M **Belaid** le directeur du laboratoires de la Repression des fraudes de Sour El Ghozlane –Bouira , à Mme **H.Benhammiche** et Mme **M.Khobizi** ainsi que tout le personnel de laboratoire.*

Dédicace

Dédicace à la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; A mes chers parents.

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour vous, rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien-être ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation tout au long de ces années.

A mon frère, A toute ma famille, que je tiens à exprimer toute ma reconnaissance pour leur immense soutien lors de mes années d'études et qui vécurent de près ou de loin le déroulement de mon parcours.

A mes chères amies : Chaima, Nesrine, Selma, Fella, Hadil.

A mon binôme asma.

Merci à toutes les personnes ayant apporté leur soutien et ayant contribué de loin ou de près à la réalisation de ce mémoire.

Ferial TOUMI

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

Aux êtres les plus chers à mon cœur ceux qui m'ont entouré d'amour et d'affection, qui m'ont protégé, qui m'ont donnés force, courage et confiance .

A mon cher père «Lakhdar» qui m'a toujours encouragé, ta confiance m'a permis de surmonter les difficultés et m'a donné l'espoir pour les projets d'avenir.

A ma chère mère «Samia» la personne la plus proche de mon cœur, je veux te dire maman que tu es une mère exemplaire, par tes conseil, ta tendresse, ta confiance et ton amour.

Que Dieu les récompense mes chers parents pour leurs bienfaits.

A mes chers frères : Abdelmadjid et Ayoub et Taha.

A mes grands-mères: Zohra et Halima.

A mes grands-pères : Meneai et abdelkader

A mes chères oncle : Lakhdar, Bougeura, Saad, Amar ,faicyel et youcef

A mes cousins et cousines.

A mon binôme «fariel» qui a partagée avec moi les moments difficiles de ce travail.

A toutes ma famille spécialement et mes amies.

A tout les collègues de la promotion Master 2 Agroalimentaire et contrôle de qualité 2023/2024.

A tous ceux qui m'ont soutenu.

Asma NADI

ملخص

خصصت هذه الدراسة لتأثير الإنبات على القيمة الغذائية للكينوا وعزل بروتينات الكينوا. فإن دقيق الكينوا له تأثير إيجابي كبير للغاية على البروتين والرماد ومحتويات الدهون وفقاً لنتائج تحليل test T ونشاط مضادات الأكسدة. وأظهرت النتائج أن بذور الكينوا تعتبر مصدراً جيداً للألياف بنسبة 15.1% والبروتين بنسبة 12.3%. أظهرت القيم الغذائية للكينوا أن محتوى البروتين والكربوهيدرات والألياف أثناء الإنبات أدى إلى زيادة معنوية في محتوى الألياف بنسبة 15.1% وانخفض محتوى البروتين إلى 14.7% والكربوهيدرات إلى 41.70% 38.2%. والكربوهيدرات 1.44% معدل استخلاص البيروتينات. يعتبر بروتين الكينوا المعزول مصدراً غذائياً واعداً ومثيراً للإهتمام يوصي به لقيمته الغذائية كاملة. غذائي الكلمات المفتاحية: الكينوا، إنبات، غذاء و مكمل

Résumé

Cette étude est consacrée à l'effet de la germination sur la valeur alimentaire de quinoa et essai de l'isolement des protéines de quinoa.

Selon les résultats de l'analyse statistique test T, la germination du quinoa a un effet positif significatif sur les teneurs en protéines, en cendres, en lipides et les fibres. Les résultats ont révélé que les graines de quinoa sont considérées comme une bonne source de fibre 15.1 %, protéines 12.3 % et de teneurs en carbohydrate de 57.55%. Un taux d'extractabilité de 40.6 %.les valeurs nutritionnelles du quinoa la teneur en protéine et carbohydrate et les fibres pendant la germination a considérablement augmenté de la teneur en fibres de 15.1% et teneur en protéine réduite à 14.7%, carbohydrate a 41.70%, glucide 1.44% un taux d'extractabilité 38.2%.

L'isolat de protéine de quinoa est une source nutritive prometteuse et impressionnante, ce qui conduit à le proposer comme complément alimentaire et aliment fonctionnel.

Mots clé :Quinoa, germé, aliment ;nutraceutique .

Abstract

This study is devoted to the effect of germination on the nutritional value of quinoa and isolation of quinoa proteins. According to statistical analysis T-test , quinoa flour has a very highly significant positive effect on protein, ash, lipid contents and antioxidant activity. The results revealed that quinoa seeds are considered a good source of fiber 15.1%, protein 12.3% and carbohydrate contents of 57.55%. a shrinkage rate of 40.6%. the nutritional values of quinoa the protein and carbohydrate content and fiber during germination significantly increased the fiber content by 15.1% and protein content reduced to 14.7%, carbohydrate to 41.70% , carbohydrate 1.44% a shrinkage rate 38.2%.

Key words: Quinoa, Sprouted quinoa; food; Nutraceutical.

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction 14

Chapitre I: Synthèse bibliographique

I.1 Histoire et origine du quinoa..... 3

I.2. Classification de quinoa 3

I.3. Description botanique 5

I.4. Composition chimique et la valeur nutritionnelle de quinoa..... 5

I.5. Effet germinatif 10

I.6. Définition 11

I.7. Composition..... 11

I.8. Principe de complément alimentaire..... 11

I.9. Le secteur des suppléments nutritionnels..... 12

I.10. Différentes formes de complément alimentaires..... 12

I.11. Utilisation de quinoa dans l'industrie alimentaire 14

I.11.1. Nourriture pour animaux..... 15

I.11.2. Applications pharmaceutiques 15

I.11.3. Autres applications dans l'industrie..... 15

Chapitre II: Matériel et méthodes

II.1. Préparation des graines de quinoa 18

II.2. Germination de quinoa 18

II.3. Recherche des saponines 20

II.4. Les Analyses physico-chimique et biochimique : 21

II.4.1.pH 21

II.4.2 Mesure de la conductivité	21
II.4.3. Mesure de cendre	21
II.4.4. Mesure de l'humidité.....	22
II.4.5. Dosage des fibres	22
II.4.7. Dosage des lipides totaux	23
II.4.6. Dosage des glucides solubles.....	24
II.4.7. Dosage des protéines totales	25
II.4.8. Dosage des polyphénols totaux.....	25
II.4.10. Activité antioxydant DPPH•	27
II.5. Analyses microbiologiques :.....	28
II.5.1. La recherche de la flore mésophile aérobie totale.....	28
II.5.2. Recherche et dénombrement des levures et des moisissures	29
II.6. Préparation d'isolat de protéines	30
II.7. Traitement et analyse statistique des données	30
 <u>Chapitre III: Résultats et discussion</u>	
III.1. Recherche des Saponines	32
III.2. Analyses physico-chimiques et biochimique	32
III.2.1. Taux d'humidité, pH, cendres et conductivité.....	32
III.2.2. Teneur en fibres.....	34
III.2.3. Taux de lipides	34
III.2.4. Taux des sucres solubles	35
III.2.5. Teneurs des protéines totales.....	36
III.2.8. Taux des polyphénols totaux	37
III.2.9. Activité antioxydant par le test du DPPH•	38
III.3. Analyses microbiologiques	39
 Conclusion et perspectives	
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des figures

Figure 1 : Panicule de quinoa.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 2 : Graine de quinoa	6
Figure 3 : Compléments alimentaires sous forme de poudre	12
Figure 4 : Schéma général de préparation de quinoa	18
Figure 5 : Graine de quinoa germé.....	22
Figure 6 : Schéma synthétique de la méthode phénol sulfurique qui permet le dosage des glucide... ..	25
Figure 7 :Protocole de dosage des polyphénols totaux	32
Figure 8 :Dosage de fibres totales	33
Figure 9 :Dosage des lipide	33
Figure 10 :Dosage des sucres solubles	34
Figure 11 :Dosage de protéines	35
Figure 12 :Dosage des polyphénols totaux.....	36
Figure 13 :Activité antioxydant du radical libre DPPH•	37

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification scientifique de quinoa	4
Tableau 2: La teneur en nutriment du quinoa en comparaison d'autres aliment.....	8
Tableau 3: Teneur en minéraux du quinoa en comparaison d'autres cultures (mg/100g)	9
Tableau 4 : Recherche des Saponines chez les quinoas germé et non germé.....	32
Tableau 5: Résultats de la détermination des Paramètres physico-chimique de quinoa.....	32
Tableau 6: Les résultats des analyses microbiologiques.....	38

Liste des abréviations

A.As: acide ascorbique.

BBC: Bleu brillant de coumassie R-250.

BSA: Bovine serum albumin.

CE: Conductivité électrique.

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

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

H %: Humidité.

I : indice de mousse.

IC50: Concentration inhibitrice à 50%.

MS: Matière sèche.

PCA: Plate Count Agar.

QG : quinoa germé.

QNG: quinoa non germé.

OGA: Oxytetracycline-Glucose-Yeast Extract Agar.

TCA: Acide trichloracétique.

Introduction

Introduction

Face au défi d'augmenter la production d'aliments de qualité pour nourrir la population mondiale dans le contexte du changement climatique, le quinoa peut améliorer la situation des pays confrontés à l'insécurité alimentaire. Il offre également une opportunité de réduire la dépendance vis-à-vis d'autres aliments de base tels que le blé et le riz. Consciente de cette réalité, l'Assemblée générale de l'ONU a déclaré 2013 «Année Internationale du quinoa » dans le but de faciliter l'accès à cette céréale et de sensibiliser à sa valeur, mais surtout de promouvoir le développement de sa culture à l'échelle mondiale. Cette initiative rend hommage aux connaissances des peuples andins, qui ont su préserver et protéger le quinoa pour les générations présentes et futures (FAO, 2024).

En Algérie, le quinoa *Chenopodium quinoa willd* offre de vastes perspectives pour une agriculture durable grâce à sa grande capacité d'adaptation aux divers changements bioclimatiques. De plus, il est souvent intégré dans les systèmes de rotation des cultures avec des céréales et des légumineuses. Les graines de quinoa sont caractérisées par leur valeur nutritionnelle supérieure par rapport aux céréales conventionnelles, notamment leur teneur élevée en protéines, sans oublier leurs effets bénéfiques sur la santé, grâce à toutes ces vertus, la culture de quinoa suscite alors un intérêt économique et nutritionnel croissant dans le monde. De nombreuses recherches ont été portées sur les constituants chimiques contenus dans la graine de quinoa et leurs propriétés thérapeutiques, en fait certains de ces constituants bioactifs ont montré des propriétés pharmacologiques intéressantes, menant à entrevoir d'éventuelles applications et exploitations dans le domaine pharmaceutique. Par ailleurs, le quinoa ne contient pas de gluten, et pouvant donc être consommé par les personnes allergiques à cette protéine, et dans ce cas offre une alternative alimentaire précieuse pour les sujets souffrant de la maladie céliaque (Herbillon, 2015).

Notre travail a pour objectif principal d'étudier la valeur alimentaire de quinoa l'effet de la germination sur la valeur alimentaire de quinoa et d'essayer de l'extraction de la fraction protéique de quinoa.

L'étude comporte principalement :

- Une synthèse bibliographique consacrée aux généralités sur le quinoa et son utilisation alimentaire et non alimentaire ;
- Le deuxième chapitre est consacré à la description du matériel et les méthodes utilisées dans réalisation de cette étude ;

- Le troisième chapitre présente les résultats obtenus ainsi que leur discussion. Et enfin, une conclusion et quelques perspectives.



Chapitre I
Synthèse Bibliographique

I.1 Histoire et origine du quinoa

Le quinoa est une plante endémique propre à l'Amérique du Sud. Cependant, il a été domestiqué par des personnes vivant dans les Andes, en particulier au Pérou et en Bolivie, il y a des milliers d'années. Les plus anciens vestiges archéologiques de quinoa remontent à 5000 ans avant J-C. Alors que les langues locales utilisent des noms différents, tels que supha, suba, jupha et dahue pour désigner le quinoa, appelle quinua et quinoa en particulier en Bolivie, au Pérou, en Équateur, en Argentine et au Chili (**Vega-Galvez et al., 2010**).

Le développement technique du quinoa a été avancé et distribué sur tout le territoire des Incas. Avec l'arrivée des Espagnols (**Cercam, 2014**). Au XVIe siècle, la culture et l'utilisation du quinoa ont considérablement diminué en raison de l'introduction de cultures européennes telle que le blé et l'orge (blé et orge) (**Lebonvallet, 2002**).

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

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

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

I 2. Classification de quinoa

Le quinoa " *Chenopodium quinoa* " de la famille des Chénopodiacées, qui comprend également l'épinard ou la betterave. Elle appartient au genre *Chenopodium* qui contient environ 250 espèces. On connaît environ 1800 variétés de quinoa.(**Foucault, 2014**)

Il existe deux classifications de quinoa:

Tableau 1 : Classification scientifique de quinoa (Herbillon ,2015).

Classification de Cronquist (1981)	
Règne	<i>Plantae</i>
Sous-embranchement.	<i>Tracheobionta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous-classe	<i>Caryophyllidea</i>
Ordre	<i>Caryophyllales</i>
Famille	<i>Chenopodiaceae</i>
Genre	<i>Chenopodium</i>
Classification APGIII (2009)	
Ordre	<i>Caryophyllales</i>
Famille	<i>Amaranthaceae</i>
Genre:	<i>Nom binomial</i>
Espèce :	<i>Chenopodium quinoa</i> willd 1798



Figure 01 : Plantes des quinoa (Bhinder et al., 2021)

I.3. Description botanique

I.3.1. Plante

Les plantes sont dressées, d'une hauteur de 0,60 3,00 m, selon type de quinoa, génotype, fertilité Le sol et les conditions environnementales dans lesquelles il pousse (**Vidal et al., 2013**).

I.3.2. Racines

Les racines sont pivotantes, fortes, profondes, ramifiées et fibreuses. Cela lui confère les propriétés nécessaires pour survivre dans des conditions défavorables environnement (**Jael, 2012**).

I.3.3. Tige

Tiges cylindriques et anguleuses au sommet de la plante Dans les branches, la couleur varie du vert au rouge, souvent avec des rayures, également Le pigment des aisselles est vert ou violet. (**Apaza et al., 2013**).

I.3.4. Feuilles

Les feuilles de quinoa sont diverses, de couleurs alternées, simples, Allant du vert au rouge, ils sont également consommés comme légumes Haute valeur nutritionnelle, à prendre avant la floraison (**Jael, 2012**).

I.3.5. Inflorescence

La panicule du quinoa est constituée d'un axe principal à partir duquel émergent des axes secondaires et tertiaires. Chez le type glomérulaire, les glomérules (courtes ramifications à 6 fleurs) sont ajoutés aux axes tertiaires qui se forment à partir des axes secondaires, tandis que chez le type amaranthiforme, ils sont directement ajoutés aux axes secondaires (**Bertero et al., 1996**).

I.3.6. Fleur

présente des fleurs petites et incomplètes, sans pétale, femelles ou hermaphrodites (**Nebie, 2018**).

I.4. Composition chimique et la valeur nutritionnelle de quinoa

Les graines de quinoa (Fig 02) présentent une composition exceptionnelle en acides aminés, glucides, lipides et micronutriments, avec des niveaux de nutriments souvent supérieurs à ceux des produits céréaliers. ses avantages pour la santé ont été mis en avant grâce à ses

niveaux de macro et micronutriments, l'élément essentiel du quinoa. Les métabolites Ils peuvent également contribuer à préserver la santé et le bien-être des personnes. Le thème abordé La plupart des métabolites secondaires du quinoa sont les triterpénoïdes(saponines, phytostérols et phytoecdystéroïdes), les composés phénoliques, les bêta-aïnes et la glycine bétaïne (Alvarez-Jubete et al., 2010).



Figure 1 : Graine de quinoa (Original, 2024)

I.4.1. Protéine

En général, les protéines du quinoa sont plus riches et de meilleure qualité que celles des céréales, tout en étant sans gluten et très digestes. La protéine totale du quinoa est supérieure (12,9% à 16,5%) à celle de l'orge (10,8% à 11,0%), de l'avoine (11,6%), du riz (7,5% à 9,1%), du maïs (10,2% à 13,4%), et égale à celle du blé (14,3% à 15,4 %). La gestion du stockage le quinoa contient principalement de la globuline et de l'albumine, avec une faible ou aucune présence des prolamines, Les prolamines, tels que la gliadine du blé, la sécaline du seigle et. L'hordéine de l'orge (généralement désignés sous le nom de « glutens »), Effectuer des réactions auto-immunes chez les patients atteints de coeliaque. Une étude récente in vitro sur 15 variétés de quinoa a montré que seulement 2 des variétés présentaient des niveaux détectables d'épitopes de prolamine coeliaque toxiques, tandis que les réponses immunitaires n'étaient pas reproduites par la consommation d'aliments entiers in vivo (Zevallos et al., 2014).

I.4.2. Carbohydrates et fibres alimentaire

Le poids sec des graines est composé de 58,1 % à 64,2 % d'amidon de quinoa, mais il présente un faible indice glycémique. La composition de l'amidon est principalement composée de D-xylose (120 mg/100 g) et de maltose (101 mg/100 g), avec une faible concentration de glucose (19 mg/100 g) et de fructose (19,6 mg/100 g). L'amidon est très

ramifié et est constitué de petites branches. granules (particules dont le diamètre est inférieur à 2 µm), plus petits que les particules de céréales ordinaires (**Vega-Galvez et al., 2010**).

D'après (**Lamothe et al. 2015**), La fibre est la partie des glucides qui n'est pas digérée par les enzymes et absorbée dans le gros intestin, et qui est généralement fermentée entièrement ou partiellement dans le gros intestin. Les fibres alimentaires sont perçues comme indispensables pour une bonne santé digestive et offrent également de nombreux bénéfices fonctionnels. Les fibres alimentaires ont la capacité de stimuler la satiété. Améliorer le microbiote intestinal, diminuer l'absorption du cholestérol et des lipides, influencer la réponse insulinaire après la consommation, favoriser la conversion endogène du cholestérol en acides biliaires, améliorer le risque et la gravité des infections et des inflammations gastro-intestinales. Des recherches épidémiologiques ont également démontré une corrélation inverse (**Brownawell et al., 2012**).

I.4.3. Lipides

Le quinoa contient entre 2 et 10 % d'huile (en moyenne entre 5 et 7 %), ce qui est plus élevé que le maïs (3 % à 4 %) (Vega-Galvez et al. 2010). Selon une recherche récente, il a été constaté que l'huile de graines de quinoa contient 89,4 % d'acides gras insaturés et 54,2 % à 58,3 % de gras polyinsaturés acides appelés PUFA. Selon (**Tang et al., 2015**), principalement de type 18:2n-6 et 18:3n-3, avec un rapport oméga-6/oméga-3 de 6/1, ce qui est généralement plus avantageux que celui des autres huiles végétales. L'acide linoléique et l'acide linoléique sont les acides gras essentiels du quinoa, qui sont métabolisés respectivement en acide arachidonique et en acide eicosapentaénoïque (EPA) ou docosahexaénoïque (DHA). La vitamine E et d'autres antioxydants présents dans les graines de quinoa assurent une protection efficace contre l'oxydation de ces acides gras. Les acides gras essentiels ont un impact significatif sur le développement du cerveau, la sensibilité à l'insuline, la santé cardiovasculaire, le métabolisme des prostaglandines, l'immunité, l'inflammation et la fonction membranaire (**Kim et al., 2006**).

I.4.5. Vitamine

Riche en vitamines, les graines de quinoa sont essentielles à l'alimentation humaine pour jouer un rôle de cofacteur enzymatique dans le métabolisme, réguler la croissance et le développement cellulaire, préserver contre les dommages oxydatifs, améliorer la vision et jouer un rôle bénéfique dans différents autres processus physiologiques (**Vega-Galvez et al 2010**).

I.4.6. Minéraux

Selon (**Bhagava et al.,2006**), le quinoa présente une teneur totale en minéraux (cendres) supérieure (3,4 %) à celle du riz (0,5 %), du blé (1,8 %) et d'autres céréales. Le quinoa contient une quantité adéquate de micronutriments tels que le calcium (275 à 1487 mg/kg), le cuivre (2 à 51 mg/kg), le fer (14 à 168 mg/kg), le magnésium (260 à 5020 mg/kg), le phosphore (1 400 à 5 300 mg/kg), le potassium (75 à 12 000 mg/kg) et le zinc (28 à 48 mg/kg) pour maintenir une alimentation équilibrée pour les humains (**Vega-Galvez et al. 2010**).

Tableau 2: La teneur en nutriment du quinoa en comparaison d'autres aliment (pour 100 g de poids sec)

Aliment	Quinoa	Maïs	riz	blé
Elément				
Energie (Kcal/100g)	399	480	372	392
Protéines (g/100g)	16.5	10.2	7.6	14.3
Lipides (g/100g)	6.3	4.7	2.2	2.3
Glucides totaux (g/100g)	69	81.1	80.4	78.4
Fer (mg/100g)	13.2	2.1	0.7	3.8
Zinc (mg/100g)	4.4	2.9	0.6	4.7

Source (**Koziol et al.,1992 in Chiara et al 2013**)

Tableau 3: Teneur en minéraux du quinoa en comparaison d'autres cultures (mg/100g)

Cultures	Quinoa	Blé	orge	riz	Maïs
Minéraux					
Calcium	60	25	29	60	7
Phosphore	410	332	221	136	210
Fer	9	4	3	4	3
sodium	12	2	9	5	3.5

Source (USDA, 2005 in El Hafid, 2005)

I.4.7. Acide phytique

C'est la source principale de phosphore. Dans de nombreux tissus végétaux. Les rendant ainsi inaccessibles au métabolisme. Cependant, en cas de faible concentration en acide phytique, il pourrait jouer un rôle d'antioxydant en chélatant différents métaux (**Gordillo Bastidas et al., 2016**).

I.4.8. Saponine

La graine du quinoa (péricarpe) contient une grande quantité de saponines amères, des substances détergentes naturelles qui se trouvent dans toutes les plantes. Les saponines sont composées d'un aglycone stéroïdien ou triterpénoïde (**Yendo et al., 2010**).

I.4.9. Polyphénol

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

I.5. Effet de la germination

La germination est une technique biotechnologique qui permet d'améliorer la valeur de la qualité nutritionnelle des graines et des céréales. Lors de la germination, devers la voie métabolique sont activé pour libérer les nutriments de réserve, créer de nouveaux composé bioactifs et réduire les facteur antinutritionnels (**Bhinder et al., 2021**). Parmi les composés phénoliques, les acides gras insaturés, le γ -aminobutyrate, les caroténoïdes et les folates sont augmentés lors de la germination du quinoa, tandis que l'activité des inhibiteurs de la trypsine et la concentration de phytates diminuent. De cette façon, la germination contribue à améliorer la qualité et les avantages pour la santé liée à la consommation du quinoa (**Guardianelli et al., 2022**).

I.6. Définition de complément alimentaire

Les compléments alimentaires désignent les produits alimentaires qui visent à compléter le régime alimentaire habituel et qui fournissent une source concentrée de nutriments ou d'autres substances ayant un effet nutritionnel ou physiologique, que ce soit seuls ou en combinaison. Combinés, vendus en doses, comprenant les différentes formes de présentation telles que les gélules, les pastilles, les comprimés, les pilules et autres formes similaires, ainsi que les sachets de poudre, les ampoules de liquide, les flacons équipés d'un compte-gouttes et les autres formes similaires de préparations liquides ou en poudre destinées à être prises en petites quantités (J.O.R.A.D.P, 2002).

I.7. Composition

Les compléments alimentaires sont disponibles sous forme liquide ou en poudre. En vente libre, ils offrent des vitamines, des minéraux tels que le calcium, le magnésium ou des oligoéléments tels que le zinc et le sélénium, des antioxydants, des acides gras essentiels tels que l'Omega3 et des probiotiques. « Ferments lactiques », des plantes ou des extraits de plantes telles que la reine des prés et la vigne rouge. L'objectif des compléments alimentaires est de compléter le régime alimentaire normal en fournissant une source concentrée de nutriments ou d'autres substances qui ont un effet nutritionnel ou physiologique, que ce soit seuls ou en combinaison.

Les combines, qui ne possèdent aucune activité pharmacologique, ne permettent ni de prévenir ni de le soigner. Émis sous forme de doses, c'est-à-dire sous forme de gélules, de pastilles, de comprimés, de pilules et autres formes similaires, ainsi que sous forme de sachets de poudre, d'ampoules de liquide, de flacons munis d'un compte-gouttes et d'autres formes analogues de préparations liquides ou en poudre destinées à être prises en unités volumineuses (Muller, 2002).

I.8. Principe de complément alimentaire

Étant donné la rareté de l'activité physique, alors que notre alimentation est généralement trop riche en graisses saturées, en glucides et sucres, en sel, etc., de nombreuses maladies chroniques ont émergé telles que l'obésité, le diabète et l'hypertension.

L'hypercholestérolémie artérielle, les maladies coronariennes et les accidents vasculaires cérébraux, entre autres. L'OMS est alarmée et considère qu'il est nécessaire de prendre des mesures d'urgence.

De nombreux travaux ont été menés sur l'influence de l'alimentation sur la santé et la mortalité (cancer, maladies cardiovasculaires...). L'importance accordée à l'équilibre des repas est devenue un élément essentiel dans la sélection des aliments.

Il est nécessaire pour les végétaliens de prendre un supplément ou de consommer des aliments enrichis afin de bénéficier d'un apport adéquat de vitamine B12.

Les bébés et les enfants nécessitent une consommation de vitamine D, qui devrait être fournie. Il est préférable qu'elle soit apportée par l'alimentation, mais elle sera généralement consommée sous forme de compléments alimentaires en raison de sa faible disponibilité dans la ration quotidienne. De la même manière, les femmes nécessitent 77 % plus de fer que les hommes dès la puberté (en raison des pertes liées aux règles ou aux accouchements), ainsi que du calcium pendant la ménopause (pour prévenir l'ostéoporose, due aux changements hormonaux). Cependant, les aliments renfermeront des niveaux différents de vitamine D, de fer ou de calcium (**Khalfaoui, 2018**).

I.9. Le secteur des suppléments nutritionnels

Le secteur nutraceutique s'élevait à 45 milliards d'euros en 2003, dont les États-Unis représentaient 37 %, l'Europe 30 % (la France quatrième après l'Italie, l'Allemagne et le Royaume-Uni). Selon **Wallard (2021)**, l'industrie des nutraceutiques se distingue par sa fragmentation et sa grande diversité, avec la présence d'acteurs de diverses tailles et spécialités. En ce qui concerne la fabrication de compléments alimentaires, on trouve différents acteurs : compléments alimentaires et phytothérapie, laboratoires pharmaceutiques, entreprises agroalimentaires et cosmétiques. Il existe également une grande variété en ce qui concerne la taille des entreprises, avec la présence d'entreprises de petite taille qui coexistent.

La croissance du marché des nutraceutiques est importante à l'échelle mondiale, y compris en Algérie, où il se déroule actuellement sans réglementation ni contrôle. Même si le ministère du Commerce les considère comme des denrées alimentaires, les experts estiment que les compléments alimentaires nécessitent une réglementation adéquate (**Athmani et Baba, 2017**).

I.10. Différentes formes de complément alimentaires

- **Les gélules et les capsules**

Souvent, ces produits sont conçus à partir d'ingrédients végétaux, agréés par la Végétarien Society, et peuvent également être certifiés halal et/ou casher. Ceux-ci sont

largement privilégiés en raison de leurs multiples bénéfices. En général, ils ont peu ou pas de choses.

D'un parfum, ce qui rend la consommation de compléments plus plaisante. Ils ont une forte concentration en principes actifs, ce qui facilite un dosage précis. En outre, il arrive que les capsules et les comprimés soient fabriqués pour résister à l'acidité gastrique ou pour être libérés dans l'intestin, assurant ainsi une absorption optimale sans perte d'efficacité. Toutefois, il convient de souligner qu'ils peuvent inclure des additifs et des adjuvants, ce qui peut entraîner des difficultés pour certaines personnes à les avaler.

- **Les poudres**

L'avantage des poudres (figure 03) est qu'elles peuvent être aisément mélangées à des boissons ou à des préparations culinaires, ce qui les rend extrêmement pratiques. Néanmoins, leur conservation est plus importante, ce qui requiert une protection contre l'humidité et la lumière, On les retrouve principalement dans les produits de nutrition sportive et de gestion du poids (**Wallard, 2021**).



Figure 3 : Compléments alimentaires sous forme de poudre (Nutriperfs, 2016).

- **Le sirop**

L'ingrédient actif du sirop est très concentré et est rapidement absorbé par l'organisme, en plus d'être économique. Néanmoins, son aspect peu pratique, son goût parfois désagréable et son manque de portabilité peuvent constituer des désavantages. Les liqueurs

On les retrouve fréquemment dans les produits liés à la vitalité et à l'immunité (**Wallard, 2021**).

- **Les ampoules**

Ils ont l'avantage de fournir une quantité précise d'ingrédients actifs et d'extraits purs, sans ajouter d'additifs ou d'adjuvants. Les solutions liquides conviennent particulièrement aux individus qui rencontrent des problèmes d'absorption des formes solides. Toutefois, il est nécessaire de prendre en compte.

En tenant compte des dangers liés au transport et du goût parfois désagréable. En général, on sélectionne ces produits pour les gammes de produits axées sur la perte de poids, l'immunité et la vitalité thérapeutique (**Wallard, 2021**).

- **Les gummies**

Les gummies, qui ressemblent à des friandises, proposent une méthode innovante et pratique pour prendre des compléments nutritionnels. Ils ont été créés pour être plus délicieux et équilibrés tout en maintenant une quantité précise de principes actifs, tout comme les compléments alimentaires.

Les classiques. Ces produits jouissent d'une grande popularité à l'heure actuelle aux États-Unis et ont récemment rejoint le marché européen des compléments alimentaires. (**Wallard, 2021**).

I.11. Utilisation de quinoa dans l'industrie alimentaire

Les légumineuses comme les fèves, les haricots rouges et le tarwi peuvent être combinées avec le quinoa pour améliorer la qualité nutritionnelle, notamment pour les petits déjeuners des nourrissons et des enfants. Il existe également d'autres aliments transformés ou semi-transformés, mais ils sont souvent plus onéreux et inaccessibles pour la plupart des personnes.

Ces produits transformés ou semi-transformés comprennent des céréales prêtes à consommer, généralement au petit-déjeuner, telles que des céréales soufflées, extrudées, des flocons, des filaments et des céréales chaudes auxquelles on ajoute un liquide chaud, ainsi que des bouillies reconstituées pour nourrissons.

Les grains de quinoa et la farine peuvent être utilisés pour la fabrication de presque tous les produits de l'industrie de la farine. Dans la région andine et ailleurs, des expériences ont montré qu'il était envisageable d'ajouter 10, 15, 20 et jusqu'à 40 % de farine de quinoa au pain, jusqu'à 40 % aux pâtes, jusqu'à 60 % aux génoises et jusqu'à 70 % aux biscuits. Le principal bénéfice de l'emploi du quinoa comme substitut de la farine est qu'il répond à une demande mondiale croissante de produits sans gluten. (**FAO, 2011**).

Aujourd'hui, le monde a un besoin urgent d'aliments riches en protéines de haute qualité. L'embryon de la graine de quinoa contient une grande quantité de protéines (jusqu'à 45%). Il est possible de séparer l'embryon du reste de la graine et de l'utiliser sous sa forme concentrée directement dans l'alimentation infantile, par exemple, afin de favoriser la récupération nutritionnelle rapide des enfants sous-alimentés. Il peut également être intégré à une variété de plats pour les adultes qui ont besoin d'une assistance nutritionnelle, comme les femmes enceintes (FAO, 2011).

I.11.1. Nourriture pour animaux

Toute la plante est utilisée comme fourrage vert. Les déchets de récolte sont aussi utilisés pour nourrir les bovins, les ovins, les porcs, les chevaux et les volailles.

I.11.2. Applications pharmaceutiques

L'utilisation des feuilles, des tiges et des graines de quinoa est variée en raison de leurs vertus cicatrisantes, anti-inflammatoires, analgésiques (mal de dents) et désinfectantes des voies urinaires. Elles sont aussi utiles en cas de fractures, d'hémorragies internes et en tant qu'insecticide (FAO, 2011).

I.11.3. Autres applications dans l'industrie

Selon la FAO (2011), le quinoa est lié à une variété de sous-produits utilisés dans l'alimentation, la cosmétique, les applications pharmaceutiques et d'autres domaines.

Partie Pratique

II. Matériel et méthodes

II.1.L'objectif

Les objectifs de cette étude sont

Ainsi que d'étudier la valeur alimentaire du quinoa. L'étude de l'effet de la germination sur la valeur alimentaire du quinoa.

II.2.Préparation des graines de quinoa

Les graines de quinoa proviennent de la Commune de Djamaa Wilaya, EL-OUED récoltées de mois de mars de l'année 2024) ont été nettoyées, débarrassées des particules cassées et des matières étrangères, puis trempées dans de l'eau distillée à 25°C/12 heures, dans un rapport de 1:5 graines/eau (p/v). L'eau de trempage non imbibée a été jetée pour éliminer les éléments antinutritionnels, y compris les saponines présentes dans les couches externes des graines, qui sont responsables du goût amer en raison de la forte affinité de liaison des aglycones avec les minéraux (Brady *et al.*, 2007).

II.2. Germination de quinoa

Les étapes de préparation des grains sont les suivantes(Figure 04) :

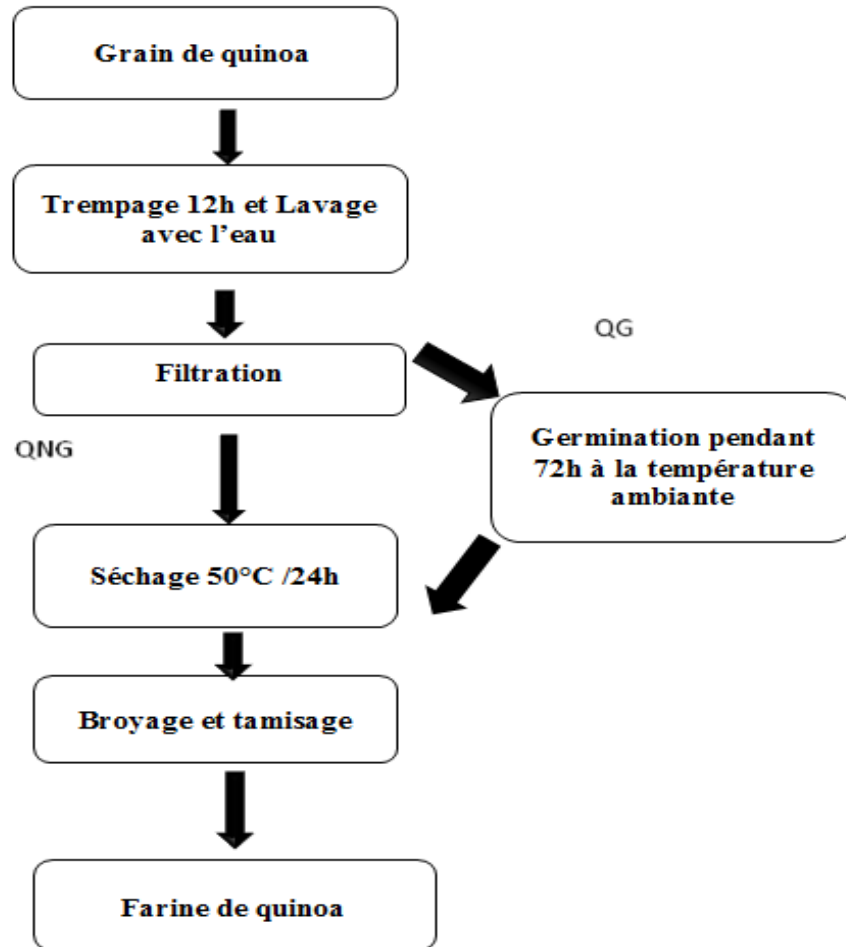


Figure 4 : Schéma général de préparation de quinoa (Originale, 2024)

Les graines ont été étalées sur des sacs de jute mouillés, recouverts d'une mousseline et arrosés d'eau toutes les 12 heures jusqu'à 72 h. Les graines germées (Fig05) obtenus ont été rassemblés, lavés, égouttés, séchés à 50°C/ 24h dans un four à convection mécanique jusqu'à obtention d'un poids constant et se sont séparés des germes puis moulus à l'aide d'un broyeur de laboratoire. Les deux poudres obtenues (brute et germée) sont ensuite conservées dans des boîtes en polyéthylène jusqu'à leur analyse ((Brady *et al.*, 2007 ; Echendu *et al.*, 2009).



Figure 5 : Graine de quinoa germé (Original, 2024)

II.3. Recherche des saponines

➤ Principe

La présence des saponines est déterminée quantitativement par le calcul de l'indice de mousse selon la méthode décrites par **Dohou et ses collaborateurs (2003)** :

- Peser 2 g des grains de quinoa et broyé, 100 ml d'eau est ajouté et porter à ébullition pendant 30 mn ;
- Réajuste le volume à 100 ml après refroidissement et filtration ;
- Dans une série de 10 tubes à essai, répartir 1 ml de l'extrait dans le tube n° 1, 2 ml dans le tube n° 2, ..., 10 ml dans le tube n° 10 ;
- Le volume final dans chaque tube étant de nouveau réajusté à 10 ml avec de l'eau distillée ;
- Agiter les tubes fortement en position horizontale pendant 15 secondes, laisser reposer 15 minutes en position verticale, puis relever la hauteur de la mousse persistante en cm.

➤ Expression des résultats

L'indice de mousse (I) est calculé comme suivant :

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

X : indique le numéro du tube dont la hauteur de la mousse persistante est proche de 1 cm

Si :

(I < 100) la plante est pauvre en saponines.

(I > 100) la plante riche en saponines.

II.4. Les Analyses physico-chimiques et biochimiques

II.4.1. PH

Principe

Indice caractérisant le degré d'acidité ou de basicité d'un milieu

Mode opératoire

Une solution est préparée à base de 60 ml d'eau distillée additionnée à 6g de farine de quinoa. Après une heure de repos avec une agitation continue, la mesure du pH est réalisée à l'aide du pH mètre préalablement étalonné (**Annexe n01**)

II.4.2 Mesure de la conductivité électrique

➤ Principe

La conductivité électrique exprime la teneur du produit en matières minérales, elle est exprimée en (S / m^{-1}).

➤ Mode opératoire

Après le rinçage de l'électrode à l'eau distillée. 10 g de poudre de quinoa avec 100 ml d'eau distillée, la conductivité est mesurée à 25°C avec un conductimètre (J.O.R.AD.P ,2006).

II.4.3. Mesure de cendre (AOAC ,1997)

➤ Principe

Les cendres représentent le résidu de composés minéraux qui reste après l'incinération d'un échantillon.

➤ Mode opératoire

Peser 5g de poudre dans 3 creusets puis mettez dans un four a T-900°C pendant 3h et laissez refroidir puis peser.

➤ Expression des résultats

Les cendres sont calculées selon la formule suivante :

M0% : matières organique.

Mi : prise essai initiale.

Mf : prise essai finale.

C1% : Taux de cendre.

$$M0\% = (M_i - M_f) / m_i \times 100$$

$$CI\% = 100 - M0\%$$

$$\text{La moyenne : } \sum(C\%) / 3$$

II.4.4. Mesure de l'humidité (ISO 18134-3)

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec.

➤ **Mode opératoire**

Peser 5g de la poudre dans 3 boîtes pétri en verre et mettez dans étuve a Température 120 °C pendant 90mn. Sortir les boîtes et mettez dans le dessiccateur pendant 15 mn Peser et mentionner la nouvelle masse. Répéter la manipulation jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

Le calcul de l'humidité est réalisé en utilisant la formule suivante :

H% : Taux d'humidité

Mi : prise essai initiale

Mf : prise essai finale

mi : masse initiale

$$\mathbf{H\% = (Mi - Mf) / Mi \times 100}$$
$$\mathbf{\text{La moyenne : } \sum(H\%) / 3}$$

II.4.5. Dosage des fibres (AOAC, 2005)

Les fibres constituent le résidu organique obtenu après deux hydrolyses successives (en milieu acide et en milieu alcalin) suivie par une complexation avec l'éthylène diamine tétra acétique (EDTA).

➤ **Mode opératoire**

- Peser dans un ballon 1 g de poudre de quinoa et ajouter 50 ml de H₂SO₄ (0.3 N).
- Puis procéder à un chauffage doux pendant 30 minutes et une douce agitation toutes les 5 minutes.
- Ajouter 25 ml de NaOH de 1.5 N et procéder de nouveau à un chauffage de 25 minutes et ajouter environ 0.5g d'EDTA (laisser au chauffage pendant 5 minutes).
- Passer à la filtration, puis au lavage avec 25 ml de H₂SO₄ de 0.3N puis avec trois portions de 50 ml d'eau distillée, ensuite avec 25 ml d'éthanol et enfin 25 ml d'acétone.
- Sécher le creuset à l'étuve à 130°C /2h, puis laisser refroidir (au dessiccateur) et peser.
- Porter au four à moufle et à l'incinération à 400 °C pendant 2 h, puis laisser refroidir (au dessiccateur) peser.

➤ **Expression des résultats**

M1 (g) : masse du creuset + matière après séchage à l'étuve.

M2 (g) : masse du creuset + matière après incinération au four.

m (g) : masse de la prise d'essai.

$$\text{Fibres (\%)} = \left(\frac{M1 - M2}{m} \right) \times 100$$

$$\text{La moyenne : } \Sigma(C\%)/2$$

II.4.7. Dosage des lipides totaux

➤ Principe

L'extraction est réalisée par Soxhlet, il s'agit de placer la poudre de quinoa dans une cartouche poreuse en cellulose, puis l'introduire à l'intérieur du Soxhlet. L'hexane est porté à ébullition, puis il est condensé grâce à un réfrigérant situé en haut du soxhlet, en s'accumulant autour et à l'intérieur de la cartouche. Lorsque ce dernier atteint le niveau supérieur du siphon, le mélange est renvoyé dans le ballon par différence de pression. Après extraction, le mélange hexane matière grasse est séparé par un évaporateur rotatif (**JORADP n°24,2016**).

➤ Mode opératoire

- Peser 5 g de poudre de quinoa ;
- Mettre les échantillons dans une cartouche puis envelopper dans une compresse ;
- Introduire l'échantillon enveloppé dans la colonne d'extraction du soxhlet ;
- Introduire environ 50ml d'hexane dans le ballon ;
- Placer l'entrer et la sortie d'eau du réfrigérant puis ouvrir le robinet d'eau ;
- Allumer la plaque chauffante ou le chauffe ballon à une température modérée pour l'évaporation d'hexane (entre 700C et 1000C) ;
- Après le passage de trois cycles d'extraction, éteigne la plaque chauffante et fermer le robinet d'eau ;
- Transvaser le contenu du ballon du soxhlet dans le ballon du rota-vapeur séché et pesé au préalable, et faire évaporer le solvant au rotavapor ;
- Sécher le ballon dans l'étuve à 1030C, le préserver dans le dessiccateur jusqu'à refroidissement, puis peser, effectuer le séchage jusqu'à stabilité du poids.

➤ Expression des résultats :

Le taux de la matière grasse est exprimé en pourcentage et calculé par la formule suivante :

$$\text{MG\%} = \frac{MF - MI}{PE} \times 100$$

MI : Masse initiale du ballon (ballon vide) en g.

Mf : Masse final du ballon (après séchage a l'étuve) en g.

PE : Prise d'essai en g.

II.4.6. Dosage des glucides solubles

➤ Préparation de l'extrait :

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

- Peser 0.5 g des poudres et additionner un volume de 5 ml d'acide trichloracétique (TCA) à 20% puis soumettre à l'agitation pendant 5 min.
- Ensuite transvaser les mélanges dans tubes verres.
- Séparer les mélanges par centrifugation 3000 tr /min durée 10min puis récupérer le surnageant.

➤ Dosage

Le dosage est réalisé selon la méthode de Dubois (1956) (**Fig10**).

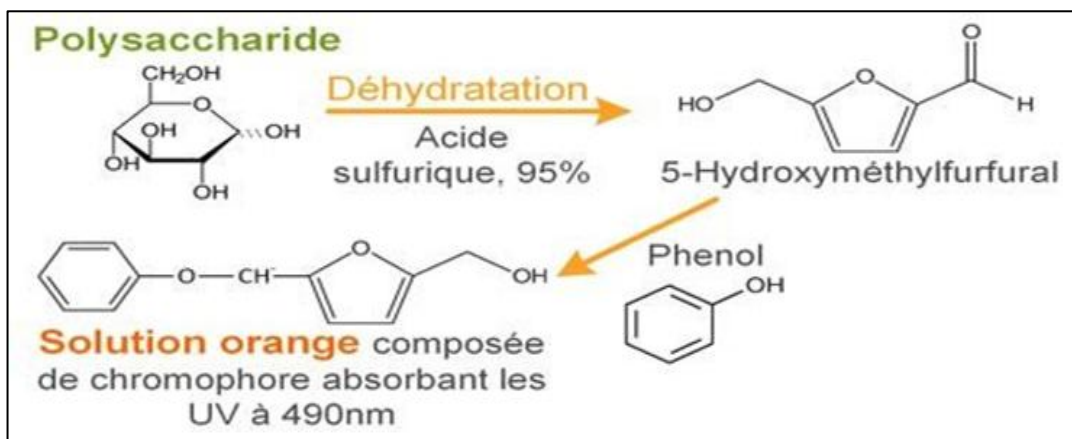


Figure 6 : Schéma synthétique de la méthode phénol sulfurique

- Dans des tubes à essais, prendre 1ml de surnageant puis ajouter 1ml de phénol (5%) puis 5ml d' H₂SO₄ concentré est ajouter contre les parois du tube.
- Agiter les tubes puis incuber à 100 ° C pendant 3 min.
- Laisser refroidir puis faire la lecture de densité optique (DO) sur longueur d'onde 490 nm.

Pour déterminer le contenu des sucres solubles des échantillons analysés nous se référerons à la courbe d'étalonnage dressée à partir de concentrations connues de glucose (**Annexe 02**).

II.4.7. Dosage des protéines totales

➤ Préparation de l'extrait :

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

- peser 0.5 g de poudre dans un bécher ;
- Ajouter 10ml de solution hydroxyde de sodium (0.5M) et 15 ml d'eau distillée ;
- Agiter des mélanges par vortex pendant 15min ;
- Séparer des mélanges par centrifugation 3900rt /min durant 20min ensuite récupérer le Surnageant.

➤ Dosage

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

- Prendre 100 µl de surnageant et ajoute 4ml de BBC et laisser les solutions durée 5min.
- La lecture de densité optique à 595 nm permet de déterminer le contenu en protéines Totales en se référant à la courbe d'étalonnage dressée à partir des concentrations Connues de BSA.

II.4.8. Dosage des polyphénols totaux

➤ Préparation de l'extrait

Les extraits éthanœiques de quinoa sont obtenus par macération de 1 g de la poudre de dans 25 ml éthanol 90% pendant 24 h à température ambiante, sous agitation magnétique. L'opération est répétée trois fois. Les macéras sont filtrés sur un papier Whatman. Ensuite les filtrats sont évaporés à sec à l'aide d'un évaporateur rotatif à une température moyenne de 40°C. Les extraits obtenus sont séchés puis stockés à température de 4°C jusqu'à leurs utilisations.

➤ Calcul du rendement de l'extraction

Le rendement est déterminé par le rapport de la masse de l'extrait sec après évaporation sur la masse de la poudre de matière végétale sèche utilisée pour l'extraction. Il est exprimé en pourcentage et est calculé par la formule suivante :

$$\text{Rendement \%} = \frac{\text{Masse en (g) de l'extrait sec}}{\text{Masse de la poudre en (g)}} \times 100$$

➤ **Le principe de dosage des polyphénols**

Le dosage des polyphénols totaux a été déterminé par spectrophotométrie, selon la méthode colorimétrique en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce réactif de couleur jaune est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique. Lorsque les polyphénols sont oxydés, ils réduisent le réactif de Folin-Ciocalteu en un complexe ayant une couleur bleu constitué d'oxyde de tungstène et de molybdène. L'intensité de la couleur est proportionnelle aux taux des composés phénoliques oxydés. (Singleton et al., 1955) (Figure 7).

➤ **Mode opératoire**

Brièvement, dans des tubes à essai en verre, un volume de 200 µl de chaque extrait a été ajouté, avec un mélange de 1 ml de réactif Folin-Ciocalteu dilué 10 fois, et 800 µl d'une solution de carbonate de sodium à 7,5 %. Les tubes sont agités et conservés pendant 30 min à l'obscurité (annexe V). L'absorbance est lue à 765 nm. Une courbe d'étalonnage a été réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant l'acide gallique à différentes concentrations (0,03 à 1 mg/ml). Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent d'acide gallique par gramme de l'extrait sec (mg EAG/ g).

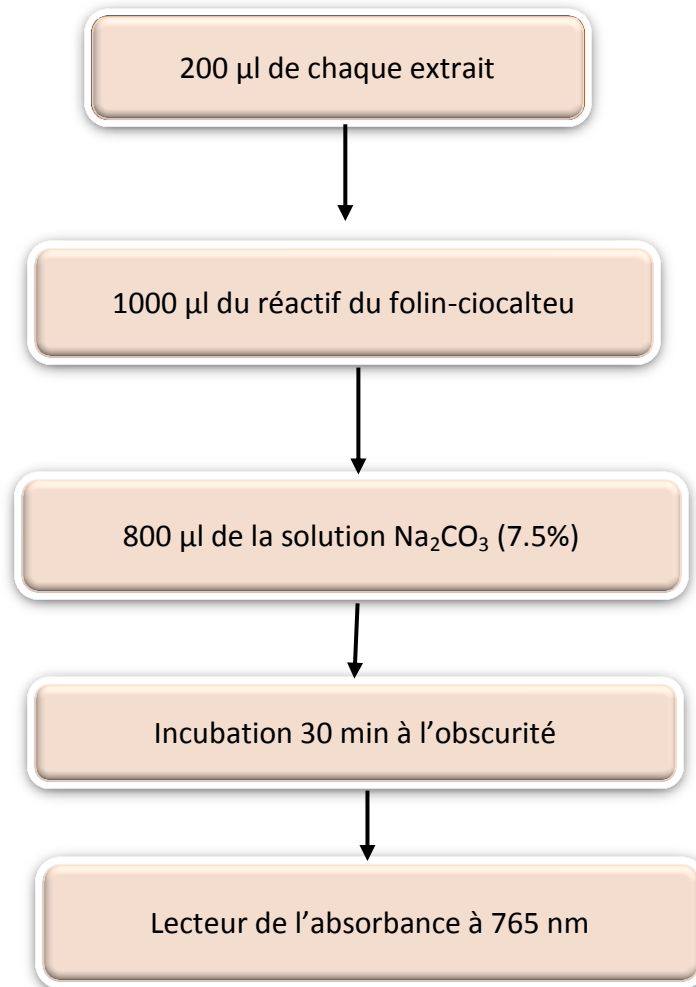


Figure 2 : Protocole de dosage des polyphénols totaux

II.4.10. Activité antioxydant DPPH•

Principe

Le DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) est un radical libre, stable et accepteur d'hydrogène de couleur violet intense (Cavaretal, 2009). Ce radical perd sa coloration native quand il se lie avec des substances antioxydants, qui lui transfèrent des électrons ou des protons. La forme réduite du DPPH confère à la solution une couleur jaune (Gadow et al., 1997).

➤ Mode opératoire

- Un ml (1ml) de solution de DPPH (0.1mM) a été mélangé avec 0.5 ml d'extrait de quinoa éthanoïque à différentes concentrations (0.01 à 0.04 mg / ml) ou de l'acide ascorbique ;

- Le mélange a été incubé pendant 30 min ;
- Les mesures d'absorbance se fait à 517 nm ;
- La diminution de l'absorbance de l'échantillon indique la capacité de piégeage des radicaux libres du DPPH.

➤ **Expression des résultats**

Le taux d'inhibition est estimé par l'expression suivante :

$$I \% = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100$$

I(%) : pourcentage de réduction ou d'inhibition du DPPH•

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

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

Calcule de IC 50% partir de la courbe le taux d'inhibition en fonction de la concentration des extraits de l'acide ascorbique (**annexe 2**).

II.5. Analyse microbiologique :

II.5.1. La recherche de la flore mésophile aérobie totale

La FMAT est un indicateur d'hygiène important. En effet, elle permet d'évaluer le nombre d'UFC présente dans un produit ou sur une surface. Le dénombrement se fait à 30°C pendant 3 jours (ISO 4833, 2003 ; Ghafeir, 2007). Le milieu de culture : utilisé est plate count agar (PCA) contenant un digeste enzymatique caséine, de l'extrait de levure et du glucose avec incubation à 30°C pendant 72h.

➤ **Mode opératoire**

- Préparation de la solution mère (SM) ; 10g de poudre dans 90 ml dans l'eau physiologique stérile et préparation des dilutions décimales.
- Déposer 1ml à partir de SM et les dilutions décimales) sur la gélose sèche ;
- Etaler l'inoculum à l'aide d'une pipette râteau stérile ;
- Retourner les boites et les incuber à 30°C pendant 72h.

➤ **Lecture**

La lecture se fait 72h.

➤ **Expression des résultats**

Le nombre de microorganismes par gramme de produit est calculé à partir des boîtes retenues

Au niveau de deux dilutions successives à l'aide de la formule mathématique suivante :

$$N = \frac{\sum \text{colonies}}{V_{mL} \times (n_1 + 0,1n_2) \times d_1}$$

N : nombre d'UFC par g de produit initial.

ΣC : la somme des colonies des boîtes interprétables.

n1 : nombre de boîtes comptées à la dilution retenue la plus faible.

n2 : nombre de boîtes comptées à la seconde dilution retenue.

d : facteur de dilution à partir duquel les premiers comptages sont réalisés (dilution la plus faible).

V : volume de solution déposé (1 ml)

.

II.5.2. Recherche et dénombrement des levures et des moisissures

Le milieu sélectif utilisé doit renfermer une substance inhibant le développement des bactéries. Ce milieu est la gélose glucosée à l'oxytétracycline (OGA).

➤ **Protocole**

Le même protocole est suivi pour la recherche de la flore mésophile aérobie totale sauf que l'incubation se fait à 25°C pendant 5 jours.

➤ **Lecture**

Les moisissures se présentent en colonies ayant un aspect velouté Les levures se présentent en colonies semblables à celles des bactéries mais plus brillantes et rondes.

II.6. Préparation d'isolat de protéines

Solubilisation des protéines

La poudre de quinoa est dégraissée par l'hexane à un rapport de 1:4 (p/v) pendant 1 h en agitant à température ambiante, l'opération est répétée 4 fois.

La farine dégraissée est placée sous une hotte pendant une nuit à température ambiante pour éliminer l'hexane résiduel (**Shengnan et al. , 2023**).

L'isolat de protéine de quinoa est préparé selon la méthode décrites **Alsohaimy et coll (2007) et Alsohaimy et al. (2015)** avec quelques modifications :

25 g de farine de quinoa dégraissée ont été mis en suspension dans 1 000 ml d'eau distillée désionisée (1:20 w/v) et le pH est ajusté à 10 en utilisant du NaOH 0,1 N / du HCl 0,1 N. La suspension est agitée pendant 120 min tout en maintenant le pH à la valeur déterminée pour atteindre le niveau maximum de solubilisation en ajoutant 0.5 M NaCl. Le mélange est centrifugé à 6 000 g à 20 °C pendant 30 mn.

La concentration en protéines est mesurée dans le surnageant en se référant à la courbe d'étalonnage de BSA (**annexe 02**).

Précipitation acide de protéines solubilisées.

Les surnageant ont été collecté et la valeur du pH est ajustée à 4,5 pour précipiter la protéine. La suspension est centrifugée à 10000 g à +4 °C pendant 45 min. Le précipité est collecté, lyophilisé et stocké à -20 °C.

Le taux d'extractabilité est calculé en pourcentage comme suit :

$$\text{Extra (\%)} = \frac{\text{volume de suspension d' extraction(ml)} \times \text{teneur en protéines en suspension mg/g}}{\text{Teneur en protéines de la poudre (\%)} \times \text{poids de la poudre(g)}} \times 100$$

II.7. Traitement et analyse statistique des données

Les analyses ont été effectuées en triple, les données sont présentées sous forme de valeurs moyennes ± standard déviation(SD). Les calculs numériques et la construction des graphiques le test T ont été effectués avec **EXCEL 2016**. La signification a été évaluée en déterminant le degré de probabilité compte tenu d'une signification niveau inférieur à 5 %.

Chapitre III.
Résultats et discussion

III.1. Recherche des Saponines

L'indice mousse est un indice qui reflète la présence quantitative des saponines qui sont des composés terpeno stéroïdiques et effectué dans des modalités standardisées et dont le fondement est basé sur la formation de mousse constante après agitation d'un décocté aqueux. Le tableau 4 montre que les indices de mousse (I) obtenus pour quinoa non germé (QNG) le quinoa germé (QG) sont inférieurs à 100. Nous pouvons conclure que le QG) le QNG) sont pauvres en saponines.

Tableau 4 : Recherche des Saponines chez les quinoas germé et non germé

Quinoa	QNG	QG
Indice de mousse (I)	80	60

III.2. Analyses physico-chimiques et biochimique

III.2.1. Taux d'humidité, pH, cendres et conductivité

Les résultats des taux d'humidité, de pH et de cendre contenus dans la farine de quinoa sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5: Résultats de la détermination des paramètres physico-chimique de quinoa

type d'échantillon	pH	L'humidité %	Cendres %	conductivité S.m ⁻¹
QNG	6.44 ± 0,02	5.51 ± 0,01	2.15 ± 0,06	222 ± 0.11
QG	4.66 ± 0,11	6.47 ± 0,12	1.77 ± 0,07	113.8 ± 0,53

➤ pH

La valeur moyenne du pH relatif au QNG est de l'ordre 6,44 ± 0,02 (acide faible) , elle est nettement supérieur à celui de QG qui est de l'ordre de 4.6 ± 0,11.

Ce résultat relatif aux QG est relativement proche de celui rapportés par **Martínez-Villaluenga et al. (2020)** qui ont rapportés une valeur de l'ordre de 5.5. Tandis que les valeurs relatives aux QNG sont en concordance avec ceux enregistrés par **Tapia (2000)** qui a enregistré des valeurs de l'ordre de 5.20 et 6.40.

Ces différences peuvent être justifiées par l'augmentation de la quantité du malt de quinoa qui diminue le pH des échantillons en augmentant ainsi leur acidité pendant le processus de germination et à l'action des enzymes alpha-amylase, bêta-amylase (hydrolyse de l'amidon) qui dégradent les molécules d'amidon simples, au protéase, et au lipase et lipoxigénase (enzymes liées aux lipides) (Soni et al., 2020).

➤ **Humidité**

Les résultats de la teneur de l'humidité mentionnés dans le tableau 5 montrent que la farine de QG possède un taux d'humidité de $6,47 \pm 0,12$ % qui est supérieur à ceux de QNG qui est de l'ordre de $5,51 \pm 0,011$ %.

Le QNG présente un taux d'humidité très faible par rapport d'autre recherche tels que les travaux de Tapia (2000) qui a signalé des teneurs de 9.4% à 13.4%.

La détermination de l'humidité est importante, puisqu'elle conditionne d'une part la précision des divers résultats analytiques rapportés à la matière sèche ainsi elle est importante la durée de conservation.

➤ **Cendre**

La teneur en cendre de QG $1.77 \pm 0,07\%$ inférieure à celle de QNG possède $2.15 \pm 0,063\%$ Ces résultats sont légèrement inférieurs à ceux trouvés par Tapia (2000) qui a signalé un taux de 3.5% et à ceux de Pilco-Quesada et al. (2020) qui ont rapporté des valeurs de 2.3 et 4.3%.

Ces différences peuvent être justifiées par les variations des conditions de culture notamment le climat, le type de sol ainsi que la variété.

Par ailleurs, la réduction de la teneur en cendres de quinoa germé peut être probablement due à l'utilisation de minéraux comme coenzymes lors de la bioconversion des glucides au cours de la germination (Demir et Bilgiçli, 2020).

➤ **Conductivité électrique**

La conductivité électrique poudres de quinoa (germé et non germé) exprime la teneur du produit en matières minérales

La conductivité électrique varie entre $222 \pm 0.11 \text{ S.m}^{-1}$ et $113.8 \pm 0,53 \text{ S.m}^{-1}$ pour le quinoa non germé et le quinoa germé respectivement. Ces résultats sont en corrélation positive avec les teneurs relevées des cendres.

La conductivité électrique poudres de quinoa (germé et non germé) exprime la teneur du produit en matières minérales, Cela peut se produire en raison du type de sol et composition minérale de la région et/ou application d'engrais. En ce qui concerne la répartition des minéraux dans la graine (Konishi et al., 2004).

III.2.2. Teneur en fibres

La figure 8 rapporte la teneur en fibre chez les deux échantillons étudiés de quinoa. Elle est bien éclairée que le quinoa germé possède une teneur en fibre plus élevé $15.1\% \pm 0,07\%$ contre $12,3 \pm 0,14 \%$ pour le quinoa non germé.

Les résultats du test T ont également montré qu'il y avait une différence élevée à ($\alpha = 0,05$) entre les échantillons germés et non germés.

Le résultat de l'étude statistique du test Student de la teneur en fibres montre qu'il y a une différence significative entre des deux types de quinoa étudiées ($\alpha = 0.05$).

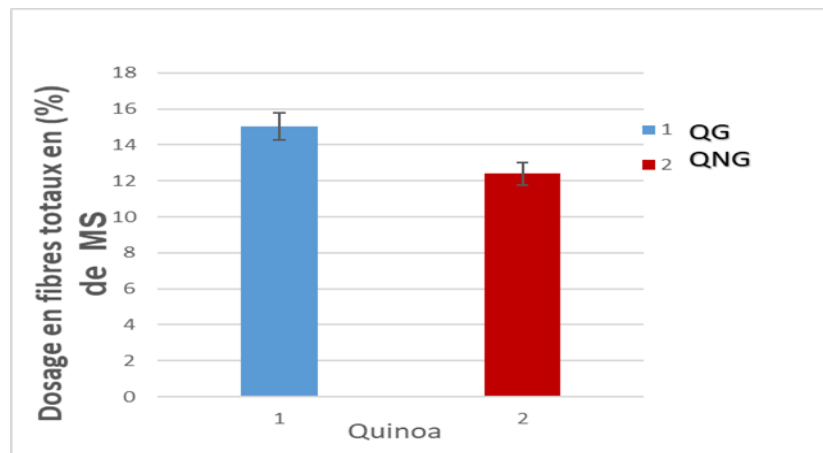


Figure 8 : Taux de fibres totales

Ces résultats enregistrés sont supérieurs à ceux obtenus par et à ceux d'Ogunbenle (2003), Abugoch, 2009, Brownawell et al. (2012) et Carvalho et al (2014) qui ont enregistré des teneurs 10 % et 9.5 % pour le quinoa non germé et le quinoa germé respectivement.

III.2.3. Taux de lipides

Les variations des taux des sont illustrés dans la figure 9 ; ces taux oscillent entre $3.4 \pm 0,14 \%$ et $4.67 \pm 0,15 \%$ lipides pour le QNG et le QG respectivement.

Par ailleurs, l'étude statistique a confirmé qu'il y a des différences significatives entre les deux types étudiées QNG et QG ($\alpha = 0.05$).

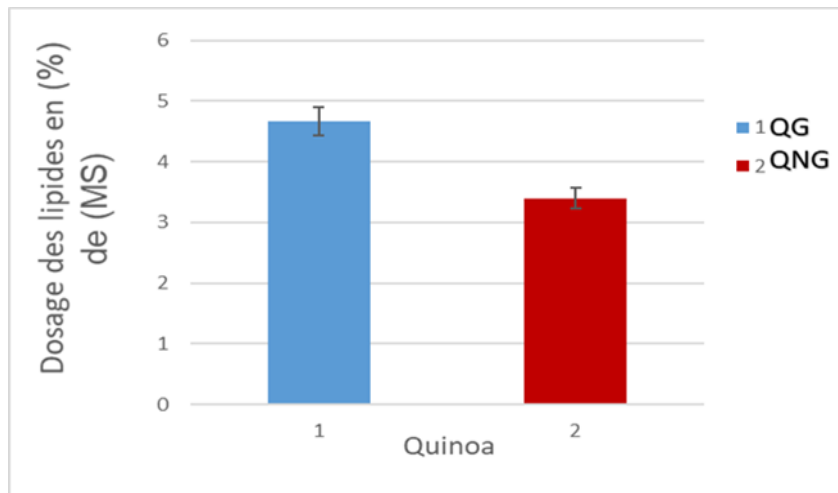


Figure 9 : taux lipides

Les résultats obtenus pour le QNG sont inférieurs à ceux qui ont été signalés par **Gordillo-Bastidas et ses collaborateurs (2016)** 5,3 à 14,5 %.

De même, nos résultats pour QG sont nettement inférieurs aux teneurs relevées par **Quesada et al (2020)** et **Pilco-Quesada (2020)** qui ont signalé des taux de 7 à 7.9 %.

III.2.4. Taux des sucres solubles

Le contenu en sucres solubles est assez élevé pour le quinoa non germé comparativement au quinoa germé, nous avons enregistré $2.12 \pm 0,347$ % contre un taux de $1,44 \pm 0,033$ % par rapport à la matière sèche a été observé (**Figure 10**).

Par ailleurs, les résultats de l'étude statistique (Test T) de la teneur en sucres ont montrés des différences significatives entre les deux types étudiées QNG et QG ($\alpha = 0.05$).

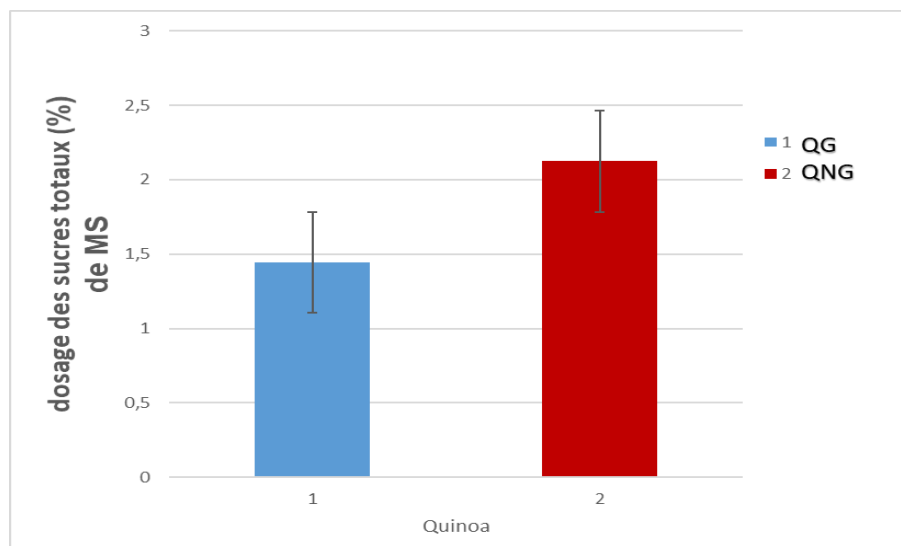


Figure 3 : Teneur en sucres solubles

Les résultats obtenus dans la figure (10) montrent que le contenu des sucres est proche des résultats de (**Ranhotra et al., 1993**) ; (**Oshodi et al., 1999**) qui ont montré que la teneur des graines en glucides de quinoa non germé environ 3% (**Ikram et al., 2021**).

III.2.5. Dosage des protéines totales

Les résultats ampliatifs dans la figure 11 montrent que le contenu en protéine est nettement élevé pour QNG avec une valeur moyenne de $17,59 \pm 0,475$ % Ms, comparativement au QG où une valeur $14,71 \pm 0,948$ % a été noté.

Les résultats de l'étude statistique de la teneur en protéines ont montrés des différences significatives entre les deux types étudiées QNG et QG.

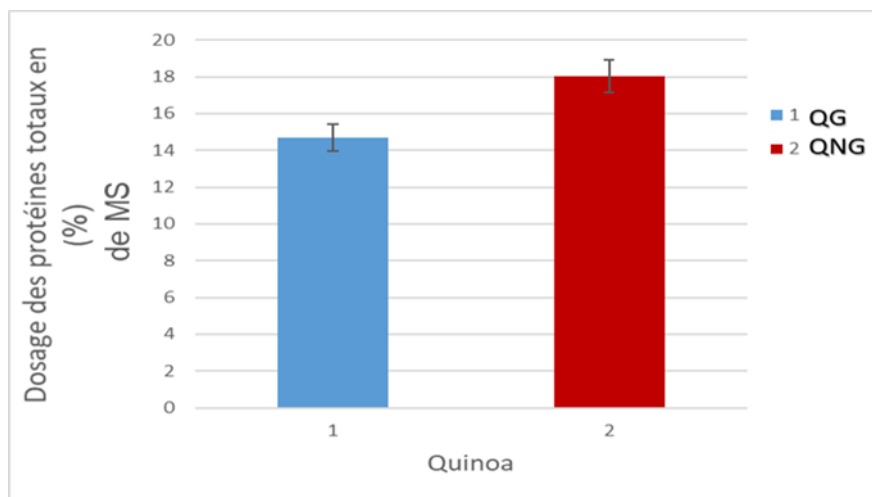


Figure 11 : Taux de protéines

Les résultats du taux de protéines situés entre 12 à 23% ont été enregistrés pour le quinoa non germé rapportés par plusieurs auteurs (**Gonzalez et al., 1989** ; **Koziol, 1992** ; **Ruales et Nair, 1994**; **Ando et al., 2002**; **Karyotis et al., 2003** ; **Abugoch et al., 2008** ; **Comino et al., 2013**; **Fotschki et al. 2020**).

Des pourcentages varient entre 11% à 15% ont été enregistrés par **Halaby et al. (2017)** pour le quinoa germé(QG) et sont peu proches à nos résultats.

En effet, la germination des graines de quinoa a considérablement réduit la teneur en protéines. Suite à la mobilisation des protéines pendant la germination des graines a

été signalée est due soit à la dégradation en peptides et acides aminés plus petits ou à la synthèse de nouvelles protéines (Ahmed et al., 1995).

III.2.6. Teneur en carbohydrates

Les valeurs de carbohydrates ont été calculées conformément au règlement (UE) no. 1169/2011 en utilisant l'équation suivante :

$$\text{CARBS \%} = 100 - (\text{humidité} + \text{cendres} + \text{protéines} + \text{lipides} + \text{fibres}).$$

La teneur en carbohydrates varie entre 41.70 % et 57.55% pour le quinoa germé et le quinoa non germé.

III.2.7. Valeur énergétique

La valeur énergétique a été calculée en utilisant les facteurs de conversion suivants :

9 pour les lipides, 4 pour les glucides, 4 pour les protéines et 2 pour les fibres.

La valeur énergétique pour 100 g varie entre 364.13 Kcal et 357.76 kcal pour le quinoa germé et le quinoa non germé respectivement.

III.2.8. Dosage des polyphénols totaux

➤ Rendement d'extraction

Le rendement en extrait éthanolique (R) est le rapport entre la masse de l'extrait et la masse de la poudre végétale utilisée multiplié par 100.

Le rendement d'extraction par macération pour le quinoa brut est de $13 \pm 0.07\%$ et celui d'est de $7.5 \pm 0.141\%$ pour le quinoa germé.

La figure 12 présente la variation de taux de polyphénols des deux échantillons. Nous remarquons que le QNG possède un taux de polyphénols 5.6 mg EAG /g de MS inférieur à celle de la QG qui est de 7 mg EAG /g de MS. Par ailleurs, les résultats de l'étude statistique (test T) de la teneur en sucres ont montrés des différences significatives entre les deux types étudiées QNG et QG ($\alpha = 0.05$).

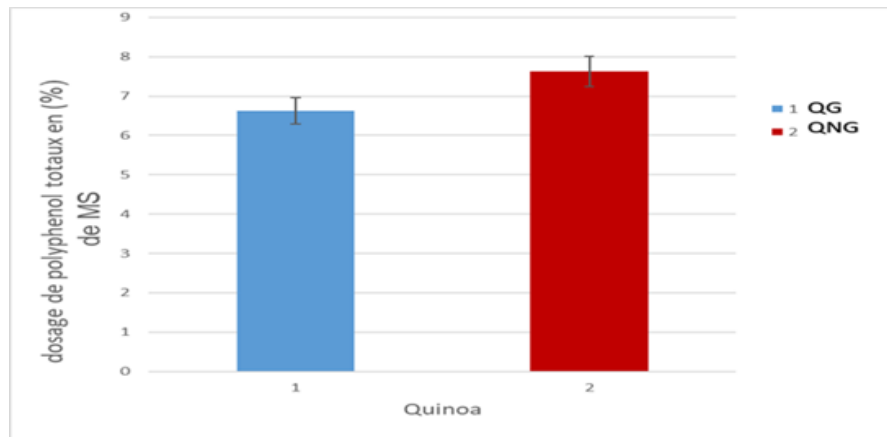


Figure 4 : Taux de polyphénols totaux

Les résultats de QNG sont très supérieurs à ceux de **Gorinstein et al (2008)** qui a montré que QNG contient 0.2515 mg/g, par contre le taux de polyphénols de QG est inférieur de Orozco et al (2006) qui contient 10.56 mg/ g.

Les résultats de notre étude montrent que la germination affecte de manière significative la teneur phénolique des de QG. Ceci peut être expliqué par la biosynthèse des composés phénoliques causé par les enzymes durant la germination. Cette augmentation peut est attribué à la production de β - glucosidase pendant la germination (**Srujana et al., 2019**).

De plus les teneurs phénoliques dépend également du type de solvant utilisé, de sa polarité et de la solubilité des composés phénoliques dans les solvants d'extraction (**Tanase et al., 2019**).

III.2.9. Activité antioxydant par le test du DPPH•

Les résultats obtenus pour les extraits des deux échantillons étudiés sont représentés, sous forme de droites. D'après les courbes illustrées dans la figure. Tous les extraits testés sont capables de neutraliser le radical DPPH• au cours du temps et en fonction de la concentration des antioxydants. L'antioxydant standard l'acide ascorbique (vitamine).a montré une activité antioxydant puissante avec une IC50 de l'ordre de 0,0003 mg/ml, Parmi les deux échantillons le plus actif est le quinoa non germé avec IC50 de avec 0.015 ± 0.004 mg/ml contre 0.024 ± 0.001 mg/ml pour le quinoa germé qui a montré une activité Anti-radicalaire relativement faible (Figure13).

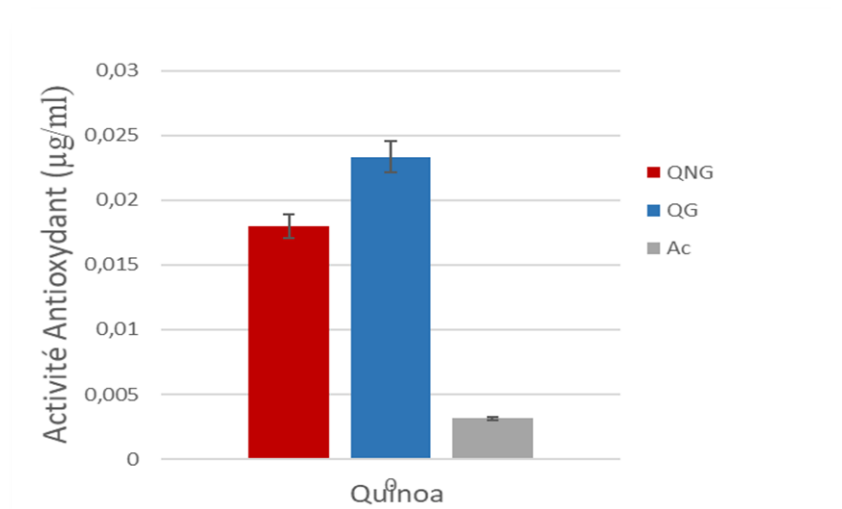


Figure 5 : Capacité antioxydant du radical DPPH•

Nos résultats montrent que le QNG et QG étudiées ont une activité antioxydant mais QNG la plus active.

Ces résultats sont compatibles à ceux de **Gorinstein et al (2007)** qui a étudié l'activité Antioxydant d'extraits de QNG. Et sont compatibles à **Orozco et al (2006)** particulièrement chez QG.

La présence des composés phénoliques dans le quinoa explique son activité antioxydante, car ils ont la capacité d'inhiber les radicaux libres (**Baghiani et al., 2010**).

Les antioxydants naturels peuvent inhiber les radicaux libres et participer aux réactions oxydatives dans les tissus, ce qui leur permet de préserver les membranes cellulaires et de diminuer le risque de diverses maladies liées au stress oxydatif, telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires et l'ostéoporose (**Maradini et al., 2015**).

III.3. Analyses microbiologiques

Le tableau 6 regroupe les résultats des analyses microbiologiques effectuées sur les deux échantillons de quinoa.

Tableau 6 : Les résultats des analyses microbiologiques

Tableau 6: Les résultats des analyses microbiologiques

	Moisissure et levure	FAMT
QG	4.52 log UFC/g	4.53 log UFC/g
QNG	2.43 log UFC/g	4.48 log UFC/g

La recherche de microorganismes indicateurs de contaminations permet de juger l'état Hygiénique d'un produit.

Les résultats obtenus montrent que le QNG présentent des charges variables dans la flore mésophile totale 4.48 log UFC/g les résultats sont similaires à (**Johnston-Monje, 2016**) qui comprises entre 4.75 ± 0.43 Log UFC/g.

Cependant, les résultats de moisissure et levure dans le QNG sont proches de (**Johnston-Monje, 2016**) qui est de 1.7 ± 0.21 Log UFC/g.

Cependant, aucune donnée sur la qualité microbiologique n'a été trouvée pour le quinoa germé dans la littérature scientifique.

III. Résultats de l'rétractabilité de protéines

Nous avons extrait les protéines du quinoa blanc en utilisant la méthode de solubilisation alcaline et de précipitation acide et nous avons enregistré un taux d'rétractibilité de **38.2 %** et **40.6 %** pour le quinoa germé et le quinoa non germé respectivement.

Conclusion

Conclusion et perspectives

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'étudier la valeur alimentaire du quinoa son intérêt nutraceutique et alimentaire. Nous nous sommes intéressés à étudier les vertus de quinoa et l'effet de la germination sur la valeur alimentaire du quinoa.

Cette étude a déterminé la teneur en macronutriments pour étudier la valeur nutritionnelle de graines brutes et des graines germés de quinoa et leurs bienfaits pour la santé.

Le quinoa germé peut être idéalement utilisé dans les formulations d'aliments fonctionnels. Ainsi, le processus de germination pourrait donc offrir une excellente stratégie pour produire des ingrédients enrichis en composés bénéfiques pour la santé de manière naturelle et qui peut être utilisée dans la formulation d'aliments.

Enfin, nous pouvons conclure que l'isolat de protéine de quinoa est une source nutritive prometteuse et candidate pour être utiliser comme complément alimentaire et aliment fonctionnel mais a toujours besoin des recherches plus avancées pour améliorer ses propriétés fonctionnelles.

Le quinoa possède sensiblement la même valeur calorique que les céréales (riz, pâtes, semoule ...) mais il s'en distingue par sa composition nutritionnelle. Bien plus riche en protéines que les pâtes et le riz, le quinoa est précieux pour les personnes qui limitent voire suppriment les aliments carnés (viande, poisson ...). Végétariens, vegans et même flexitariens auront ainsi tout intérêt à mettre le quinoa au menu pour compléter leur apport protéique. Autre atout de cette petite graine : elles possèdent tous les acides aminés essentiels à la bonne assimilation de leurs protéines, contrairement aux autres céréales et aux légumes.

Deux fois plus riche en fibres que les pâtes et trois fois plus que le riz, le quinoa est bon pour le transit, mais aussi précieux en prévention des maladies cardiovasculaires, du diabète et de certains cancers.

Références
bibliographique

- **Abugoch, J.L.E., 2009.** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Adv.Food Nutr. Res.* 58, 1–31.
- **Abugoch, L., Romero, N., Tapia, C., Silva, J., and Rivera, M. (2008).** Study of some physicochemical and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) protein isolates. *J. Agric. Food Chem.* 56, 4745–4750.
- **Ahmed, F. A. R., Abdel-Rahim, E. A. M., Abdel-Fatah, O. M., Erdmann, V. A., & Lippmann, C. (1995).** The changes of protein patterns during one week of germination of some legume seeds and roots. *Food Chemistry*, 52(4), 433–437. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)93296-4](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)93296-4).
- **Alvarez-Jubete L, Wijngaard H, Arendt EK, Gallagher E (2010) ;** Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa, buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chem* 119:770–778.
- **Alvarez-Jubete, L., Arendt E.K. and Gallagher E. 2010.** Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Sci. Technol.* 1(2):106-113.
- **Ando, H.; Chen, Y.-C.; Tang, H.; Shimizu, M.; Watanabe, K.2002;** Mitsunaga, T. Food Components in Fractions of Quinoa Seed. *Food Sci. Technol. Res.*, 8, 80–84.
- **AOAC (1997).** Association of Official Analytical Chemists International Official Methods of Analysis. 16th Edition, AOAC, Arlington.
- **AOAC. (2016).** Official Methods of Analysis AOAC International (20th ed.; G. Latimer, Ed.).
- **APAZA, V.; CACERES, G.; ESTRADA, R.; PINEDO, R. 2013.** Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). p.15-82.
- **Athmani. S., et Baba D., (2017)** .Les compléments alimentaires consommés par les sportifs de la région de Tlemcen : composition et effets sur les paramètres biochimiques sanguins. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de docteur en pharmacie.

- **Bazile, D., Fuentes, F., and Mujica, A. (2013).** “Historical perspectives and domestication,” in *Quinoa: Botany, Production and Uses*, eds A. Bhargava and S. Srivastava (Wallingford: CABI Publishing), 16–35
- **Bhargava A, Shukla S, Ohri D.2006.** *Chenopodium quinoa*. An Indian perspective. In review potential and perspectives. *Molecular Breeding.* ; 23(1) : 73-87.
- **Bhinder S., Kumari S., Singh B., Kaur A., Singh N.2021,** Impact of germination on phenolic composition, antioxidant properties, antinutritional factors, mineral content and Maillard reaction products of malted quinoa flour. *Food Chem.*;346.
- **Boussouf, S., Louahem, I. (2022).** Compléments alimentaires et vaccino-vigilances mémoire de master en Microbiologie et Hygiène Hospitalière. Université de frère **Montouri, Constantine. Bertero, D., Medan, D. and Hall, A.J. (1996)** Changes in apical morphology during floral initiation and reproductive development in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Annals of Botany* 78, 317–324.
- **Bradford M.M., 1976-** A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*.Vol 72.p: 248-254.
- **Brady TF, Chun MM.** Spatial constraints on learning in visual search: Modeling contextual cueing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance.* 2007;33(4):798–815.
- **Brownawell AM et al., 2012.** Prebiotics and the health benefits of fiber: current regulatory status, future research, and goals. *The Journal of Nutrition* 142: 962–974.
- **Brownawell et al. (2012)** Brownawell AM, Caers W, Gibson GR, Kendall CW, Lewis KD, Ringel Y, Slavin JL. Prebiotics and the health benefits of fiber: current regulatory status, future research, and goals. *Journal of Nutrition.* 2012;142(5):962–974.
- **Cercam., 2014-** Fiche de synthèse QUINOA Une culture à fort potentiel d’adaptation et de production pour le Maroc. Maroc, p: 3.
- **Comino I et al., 2013.** The gluten-free diet: Testing alternative cereals tolerated by celiac patients. *Nutrients* 5(10): 4250–4268.

- **Compléments alimentaires, 2022.** <http://www.ameli.fr> consulté le 14 mars 2024.
- **Dacunha veloso A., 2016-** Impacts de l'essor international du quinoa. Haute École de Gestion de Genève (HEG-GE). Suisse, p 2-3.
- **Demir, B.; Bilgiçli, N.2020.** Changes in chemical and anti-nutritional properties of pasta enriched with raw and germinated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) flours. *J. Food Sci. Technol.*, 57, 3884–3892.
- **Djedei S ; Merabet R.2018,** Étude comparative des quatre variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivées dans la région d'Oued Righ "Djamaa".Mémoire d'un master académique en science biologique. Spécialité Biodiversité et Physiologie Végétale. Université Echahid Hamma Lakhdar -El Oued. Algérie, :29.
- **Dohou N., Yamni K., Tahrouch S., Idrissi Hassani L.M., Badoc A., Gmira N., 2003-** Screening phytochimique d'une endémique Ibéro Marocaine *Thymelaea lythroides*. Ed., Bull. Soc. Pharm., Bordeaux, p: 67.
- **Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Pebers P.A and Smith F. 1956-** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28, p: 350-356.
- **Ekholm, P., Virkki, L., Ylinen, M., & Johansson, L. (2003).** The effect of phytic acid and some natural chelating agents on the solubility of mineral elements in oat bran. *Food Chemistry*, 80(2), 165–170. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)002492](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)002492)
- **Enciso-Roca, E.C.; Aguilar-Felices, E.J.; Tinco-Jayo, J.A.; Arroyo-Acevedo, J.L.; Herrera-Calderon, O.** Biomolecules with Antioxidant Capacity from the Seeds and Sprouts of 20 Varieties of *Chenopodium quinoa* Willd. (*Quinoa*). *Plants* 2021, 10, 2417 et INIA. Perú, p: 26-65.
- **FAO, 2011-** Quinoa: An ancient crop to contribute to world food security. Latin America and the Caribbean, p: 3-14.
- **Foucault A., 2014** - Effets d'un extrait de quinoa enrichi en 20-hydroxyecdysone dans un modèle d'obésité nutritionnelle : application clinique. Thèse doctorat. Agro Paris Tech. France, p: 112.

- **Gordillo-Bastidas E et al., 2016.** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild), from nutritional value to potential health benefits: An integrative review. *Journal of Nutrition and Food Sciences* 6(497): 4110-4172.
- **Gordillo-Bastidas E, Díaz-Rizzolo DA, Roura E, Massanés T, Gomis R.** Quinoa (*Chenopodium quinoa* wild), from nutritional value to potential health benefits: an integrative review. *Journal of Nutrition and Food Sciences*. 2016; 6(3):1-10.
- **Gorinstein S, Lojek A, Ciz M, Pawelzik E, Delgado-Licon E, Medina OJ, Moreno M, Salas IA, Goshev I.** Comparison of composition and antioxidant capacity of some cereals and pseudocereals. *Int J Food Sci Technol*. 2008; 43:629–37.
- **Gorinstein S, Vargas OJ, Jaramillo NO, Salas IA, Ayala AL, Arancibia-Avila P, Toledo F, Katrich E, Trakhtenberg S.** The total polyphenols and the antioxidant potentials of some selected cereals and pseudocereals. *European Food Research and Technology*. 2007 Jul 1;225(3-4):321-8.
- **Guardianelli LM, Salinas MV, Brites C, Puppo MC (2022)** Germination of white and red quinoa seeds: improvement of nutritional and functional quality of flours.
- **Guiraud, J.P. et Rosec, J.P. (2004).** *Pratique des normes en microbiologie alimentaire*. Saint-Denis la plaine : Afnor. France. 300p.
- **Herbillon M. 2015.** Le quinoa : intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. Thèse de doctorat d'état, université de Rouen U.F.R de médecine et de pharmacie, 127p.
- **Herbillon. M, 2015,.** Le Quinoa: Intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques. Ed;Université de Rouen-Normandie. Rouen. France. P34
- <http://www.Digitalnativegroup.com> consulté le 14 mars 2024.
- Ikram, A., Saeed, F. , Afzaal, M. , Imran, A. , Niaz, B. , Tufail, T. , Hussain, M. , & Anjum, F. M. (2021). Nutritional and end- use perspectives of sprouted grains: A comprehensive review. *Food Science & Nutrition*, 9(8), 4617–4628. 10.1002/fsn3.2408.
- **ISO standard methods 6888 Part 1 and Part 2: 1999**—Enumeration of coagulase-positive staphylococci in foods.

- **J.O.R.A. (2006).** journal officiel de la république algérienne. Décret Exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006, section 1, article 3.
- **Jael C., (2012).** Manejo agronomico del cultivo du quinoa.
- **Jan, A., Coon, E. T., Painter, S. L., Garimella, R., and Moulton, J. D.:** An intermediate-scale model for thermal hydrology in low-relief permafrost-affected landscapes, *Comput. Geosci.*, 22, 163–177, 2018b.
- **Johnson, E. J. (2002).** The Role of Carotenoids in Human Health. *Nutrition in Clinical Care*, 5(2), 56–65. <https://doi.org/10.1046/j.1523-5408.2002.00004.x>.
- **Johnston-Monje, D.; Lundberg, D.S.; Lazarovits, G.;** Reis, V.M.; Raizada, M.N. Bacterial populations in juvenile maize rhizospheres originate from both seed and soil. *Plant Soil* 2016, 405, 337–355.
- **JORADP n°24,2016** journal officiel de la république algérienne. Décret Exécutif n° 24- Dimanche 16 Rajab 1437 Correspondant au 24 avril 2016
- **Khalfaoui Y. 2018.** Le profil des consommateurs de compléments alimentaires. Faculté de médecine et pharmacie .Maroc.31p.
- **Kim, S.L.; Kim, S.K. & Park, C.H. Introduction and nutritional evaluation of buckwheat sprouts as a new vegetable. Food. Res. Int., 2004,** 37, 319-327. doi: 10.1016/j.foodres.2003.12.008.
- **Konishi Y, Hirano S, Tsuboi H and Wada M,** Distribution of minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Biosci Biotechnol Biochem* 68:231–234 (2004).
- **Koziol, M. J., 1992.** Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J. Food Compos. Analysis*, 5 (1): 35-68
- **Lebonvallet, S. 2002.** Simulation de l'azote chez le blé dur et impacts des changements climatiques. DEA Adaptation des plantes cultivées aux contraintes environnementales, pp290+ annexes.
- **Lutz M, Bascuñán- Godoy L., 2017.** The Revival of Quinoa: A Crop for Health. *A Crop for Health*, p:38-42.
- **Maradini Filho, A.M., M.R. Pirozi, J.T. Da Silva Borges, H.M. Pinheiro Sant'Ana, J.B. Paes Chaves, and J.S. Dos Reis Coimbra. 2015.** Quinoa:

nutritional, functional and antinutritional aspects. *Crit. Rev. Food Sci.Nutr.* 57:1618–1630.

- **Martínez-Villaluenga, C.; Peñas, E.; Hernández-Ledesma, B.** Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. *Food Chem. Toxicol.* 2020, 137, 111178.
- **Muller DM. (2002).** Effects of oral L-carnitine supplementation on in vivo long-chain fatty acid oxidation in healthy adults. *Metabolism.* 2002 Nov; 51(11):1389-91.
- **Navruz-Varli S and Sanlier N, 2016.** Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.). *Journal of Cereal Science* 69: 371–376.
- **Nutriperfs, 2016.** « Image des compléments alimentaires sous forme de poudre». <http://www.nutriperfs.fr> consulté le 14 mars 2024.
- **Orozco, f.; Piskula, R.; Zielinski, M.K.; Kozłowska, H.; frias, J. & Vidal-Valverde, C.** Germination as a process to improve the antioxidant capacity of *Lupinus angustifolius* L. var. zapaton. *Eur. Food. Res. Technol.*, 2006, 223, 495-502.
- **Pilco-Quesada, S.; Tian, Y.; Yang, B.; Repo-Carrasco-Valencia, R.; Suomela, J.P.** Effects of germination and kilning on the phenolic compounds and nutritional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *J. Cereal Sci.* 2020, 94,102996.
- **Quesada, S.P.; Tian, Y.; Yang, B.; Repo-Carrasco-Valencia, R.; Suomela, J.-P.** Effects of germination and kilning on the phenolic compounds and nutritional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *J. Cereal Sci.* 2020, 94, 102996.
- **Repo-Carrasco-Valencia, R. ; Peña, J. ; Kallio, H. ; Salminen, S., 2009.** Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *J. Cereal Sci.*, 49 (2): 219-224
- **Shibko S., Koivistoinen P., Tratnyneck C., New Hall A., Freidman L., 1966-** A method for the sequential quantitative separation an glycogen from a single rat liver homogenate or from a subcellular fraction. *Analyt. Biochem.*, 19: 415-428.

- **Singleton, R., Jr., J. R. Kimmel, and R. E. Amelunxen. 1969.** The amino acid composition and other properties of thermostable glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase from *Bacillus stearothermophilus*. *J. Biol.Chem.* 244:1623-1630.
- **Snyder J.C., Desborough S.L., 1978-** Rapid estimation of potato tuber total protein content with Coomassie brilliant blue G-250. *Theor Appl Genet* , 52:135-139.
- **Suja, K.P., Jayalekshmy, A. and Arumughan, C. 2005.**Antioxidant activity of sesame cake extract. *Food Chemistry* 91(2): 213-219.
- **Tang Y, Li X, Chen PX, Zhang B, Hernandez M, Zhang H, Tsao R. 2015.** Characterisation of fatty acid, carotenoid, tocopherol/tocotrienol compositions and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes. *Food chemistry* 174, 502-508
- **USDA, 2005.** www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/nut_search.plT, accessed January 2005.
- **USDA. (2018).** United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference Release. In National Nutrient Database for Standard Reference Release. Retrieved from <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/45212529?fgcd=&manu=&format&count=&max=25&offset=&sort=default&order=asc&qlookup=WHITE+QUINOA%2C+UPC%3A+041224721487&ds=&qt=&qp=&q=&qn=&q=&ing=>
- **Valette, J. (2015).** Les compléments alimentaires (définition, aspects réglementaires, cas pratique : un médicament qui évolue en complément alimentaire. Thèse de docteur en pharmacie. Université de Limoges 122p.2015.
- **Van Hung, P.** Phenolic Compounds of Cereals and Their Antioxidant Capacity. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2016, 56, 25–35.
- **Vega-Galvez A, Miranda M, Vergara J, Uribe E, Puente L, Martinez EA.** Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). an ancient Andean grain: a review. *J Sci Food Agric.* 2010; 90:2541–7. [PubMed: 20814881]

- **Vega- Gálvez A, Miranda M, Vergara J, Uribe E, Puente L, Martínez EA.** Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2010 Dec;90(15):2541-7.
- **Vidal A. et al.,2013-** Catálogo de variedades comerciales de quinoa en le Perú. FAO
- **WALLARD, M. (2021).** A., membre de Jury, T., & ADAWI, M. R. Mémoire de fin d'étude.
- **Yendo, A. C. A.; De Costa, F.; Gosmann, G.; Fett-Neto, A. G.** Production of Plant Bioactive Triterpenoid Saponins: Elicitation Strategies and Target Genes to Improve Yields. *Mol. Biotechnol.* 2010, 46(1), 94–104.
- **Zevallos. V.F., L.I. Herencia, F. Chang, S. Donnelly and H.J. Ellis. 2014.** Gastrointestinal effects of eating quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in celiac patients. *American J. Gastroenterol.* 109: 270-278.

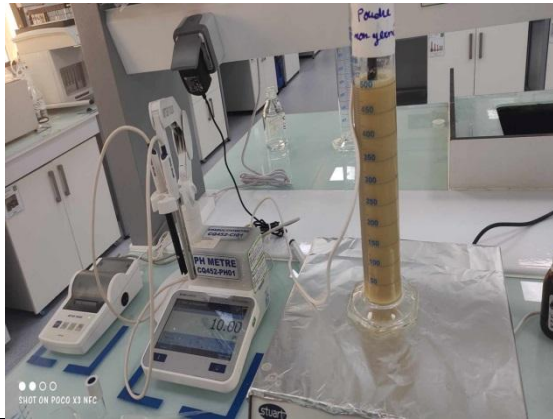
Annexes

Annexe N° 01 :

Matériel et méthodes

Mesure de
pH

Ph mètre



Mesure
de
Conductivité

Conductimètre



Dosage des
lipides

Soxhlet



Mesure de
cendre

Four a moufle

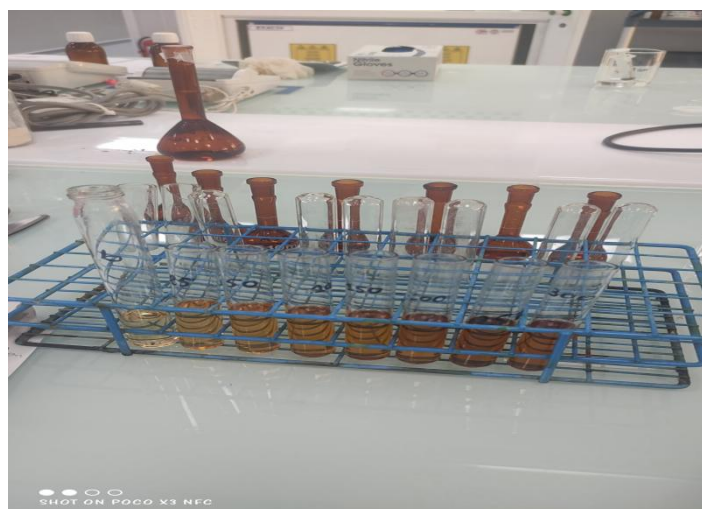


Séchage

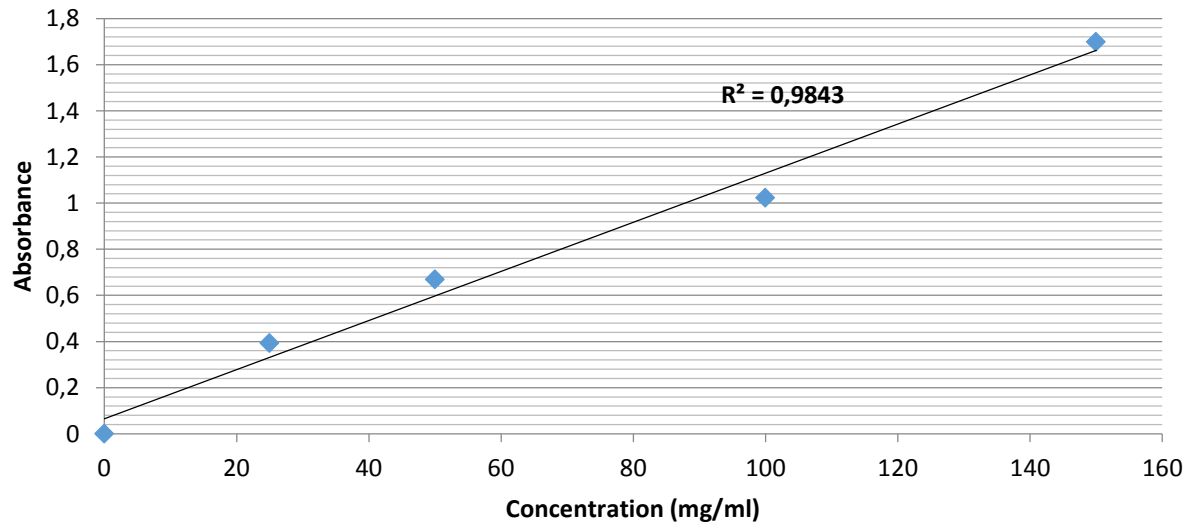
Lyophilisateur



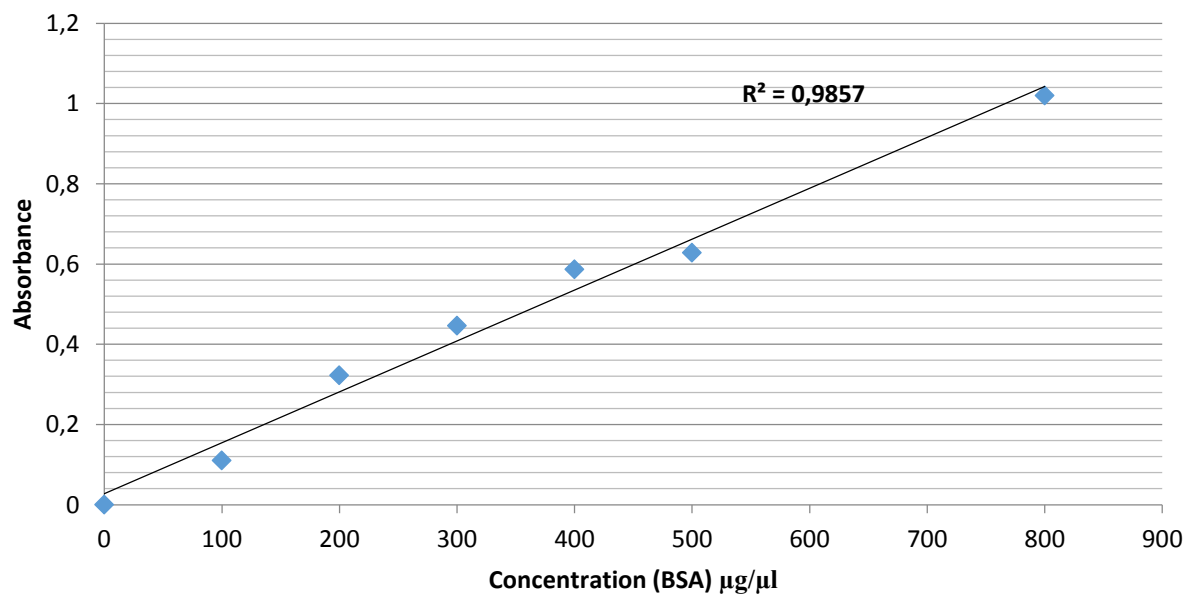
Dosages des
sucres
solubles



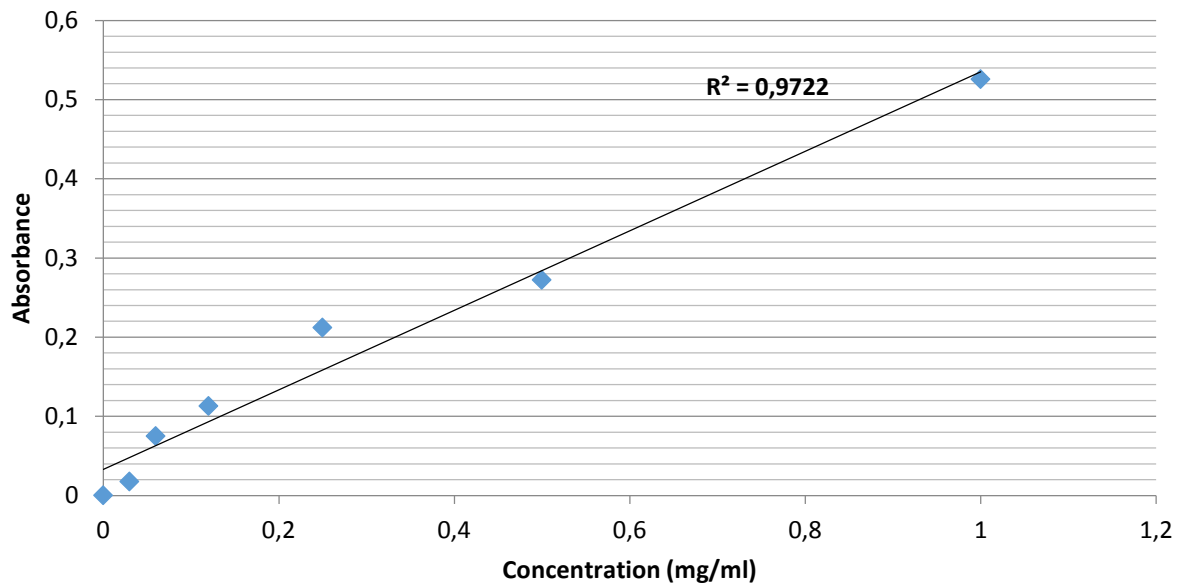
Courbe d'étalonnage de glucose



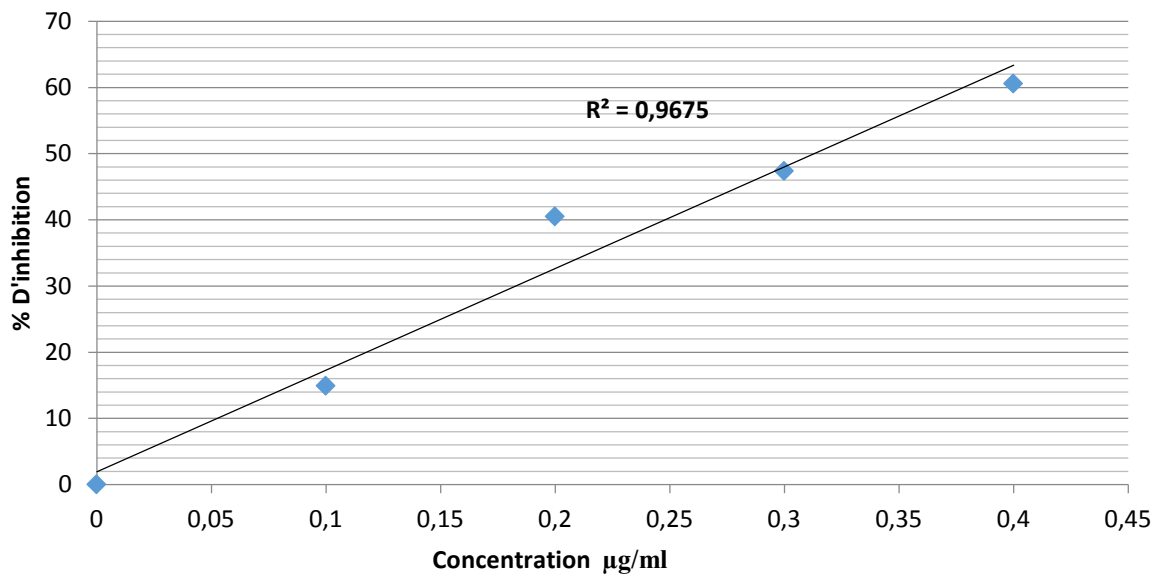
Courbe détalonnage des protéines



Courbe d'étalonnage des polyphénols



Courbe détalonnage d'acide ascorbique



- 1- Peser la quantité appropriée de milieu en prenant soin de mettre en place les équipements de protection individuelle indiqués dans les fiches de données de sécurité.
- 2- Ajouter progressivement le volume d'eau nécessaire à la reconstitution.
- 3- Agiter lentement et régulièrement pour solubiliser les composants et répartir la gélose de façon homogène.
- 4- Porter à ébullition les milieux contenant de l'agar avant de répartir en tube ou en flacons.

La dissolution complète de la gélose est obtenue lorsque la solution visqueuse ne contient plus aucune particule d'agar s'accrochant aux parois du récipient.

Dans le cas des milieux présentant normalement des précipités, homogénéiser la suspension obtenue avant de répartir.

Pour les milieux liquides, on obtient des solutions limpides sans avoir de besoin de chauffer avant d'autoclave. Sauf dans le cas de certains bouillons tels que le bouillon sélénite cystine qui nécessite un court chauffage (se référer à la fiche technique et à l'étiquette).

- 5- Répartir le volume de milieu requis en flacons ou en tubes selon l'utilisation.

Remarque : chaque milieu doit être préparé dans des conditions aseptiques afin de le protéger contre la contamination extérieure.