

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département des sciences biologiques



**Mémoire En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Thème

Le lait de quinoa : formulation et valeur nutritionnelle

Présenté par : M^{elle} BENABBAS Souhila

M^{elle} MENAA Hanane

Soutenu publiquement le : 24.06.2022

Devant le jury :

Mr KADAR.N	M.C.A	Présidente	U.K.M. Ouargla
M ^{me} ANNOU. G	M.C.B	Examineur	U.K.M. Ouargla
M ^{me} DJERROUDI.O	M.C.A	Encadreur	U.K.M. Ouargla
M ^{lle} TELLI.A	M.C.A	Co-Encadreur	U.K.M. Ouargla

Année Universitaire : 2022/2023

REMERCIEMENT

Nous remercions ALLAH tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté et de nous avoir bénie pour la réalisation de ce travail.

Nous tenons avant tout à exprimer nos remerciements les plus sincères à notre encadreur à Madame Professeur au Département des Sciences Biologiques à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Kasdi Merbah-Ouargla pour avoir accepté de Diriger ce travail.

Aussi nous adressons nos sincères remerciements, qui a fait preuve d'une grande patience et qui a été d'une grande dans la réalisation de ce travail, et ses conseils, ses orientations, ainsi que de son soutien moral et scientifique, nous ont permis de mener à terme ce projet.

Nous tenons à remercier l'ensemble de notre jury

En premier à juger pour ce travail et insigne C'est un honneur qu'il ait accepté d'être président du jury pour ce mémoire.

Un grand merci à Mme Annou et M KADAR accepter de revoir et d'évaluer cet humble travaille, Que Dieu Tout Puissant vous bénisse Santé, prospérité et bonheur.

Nous aimerions exprimer notre gratitude et nos remerciements à tous les membres de jury.

*Nos remerciements vont aussi à tous les membres de l'équipe de laboratoire
CENTRE DE RECHERCHE de l'Université Kasdi Merbah Ouargla*

Enfin, après beaucoup d'efforts et de persévérance, nous remercions tous ceux qui nous ont soutenus, accompagnés, encouragés et contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Aucun dédicace, aucun mot ne pourrait exprimer mon respect ma considération et mes profonds sentiments envers eux je pris mon Dieu de les bénir de veiller sur eux, j'espère qu'ils seront toujours fiers de moi.

A la mémoire de A, toi Ma chère maman

«KADRİ KHALDIYA»

A la mémoire de a mon cher père « BEN

ABBES TIDJANI»

A celle qui m'a tant bercé, tant donné et tant enseigné, toi qui m'a guidé dans le droit chemin, toi qui m'appris que rien n'est impossible... mon chère père, ma chère, qui dieu pitié de toi

A Mes chères sœurs : IKRAM SAFA

A Mes chers frères : HAMADI

Au reste de ma famille « BEN ABBES », la famille « KADRİ ».

A Mes amies surtout, IMANE FATHIYA SANAA

khawla

Pour tous les bons moments que nous avons partagés;

mes binômes HANANE qui m'ont beaucoup aidé

ET MON FIENCES BASSAM

A toute la promotion master II 2022/2023. Option Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire, Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, Université Kasdi Merbah Ouargla

Dédicace

Aucun dédicace, aucun mot ne pourrait exprimer mon respect ma considération et mes profonds sentiments envers eux je pris mon Dieu de les bénir de veiller sur eux, j'espère qu'ils seront toujours fiers de moi.

A la mémoire de A, toi Ma chère maman «

MeDaKANE FATIMA»

A la mémoire de à mon cher père «

MENAA LAZHER»

A celle qui m'a tant bercé, tant donné et tant enseigné, toi qui m'a guidé dans le droit chemin, toi qui m'appris que rien n'est impossible... mon chère père, ma chère, qui dieu pitié de toi

A Mes chères sœurs ET A Mes chers frères

Au reste de ma famille «MNA», la famille «MDAKEN».

A Mes amies surtout,

*Pour tous les bons moments que nous avons partagés;
mes binômes au Labo SOUHILA qui m'ont beaucoup
aidé*

*A toute la promotion master II 2022/2023. Option Option Qualité des
Produits et Sécurité Alimentaire,*

*Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences de la Nature
et de la vie, Université Kasdi Merbah Ouargla*

Liste des abréviations

%	Pourcentage	B12	Vitamine B12 (cobalamine)
ABTS	2,2'-Azinobis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)	NH3	Ammoniac (ou azote ammoniacal)
APG	Alkyl Polyglucoside (un type de tensioactif)	v/v	Volume par volume
C°	Degré Celsius (unité de mesure de température)	B1	Vitamine B1 (thiamine)
E	Énergie	Mm	Millimètre (unité de mesure de longueur)
H	Hydrogène	B2	Vitamine B2 (riboflavine)
HCl	Acide chlorhydrique	M	Molarité (concentration en moles par litre)
HNO3	Acide nitrique	Cl	Chlore
kHz	Kilohertz (unité de mesure de fréquence)	I2	Iode
L	Litre (unité de mesure de volume)	G	Gramme (unité de mesure de masse)
LDL	Lipoprotéines de basse densité	ml	Millilitre (unité de mesure de volume)
Min	Minute (unité de mesure de temps)	Mg	Milligramme (unité de mesure de masse)
Mg	Magnésium	NaCl	Chlorure de sodium (sel de table)
NH4Cl	Chlorure d'ammonium	AgNO3	Nitrate d'argent
p/v	Poids par volume (une mesure de concentration exprimée en poids d'un constituant pour un volume total)	KI	Iodure de potassium
abs	Absorbance don le spectrophotométrique	Va	Volume d'analyte (volume de la substance analysée)
SC	Sulfite de calcium	BSA	Albumine sérique bovine
T	Température	Ca	Calcium
Ug/ml	Microgramme par millilitre (une mesure de concentration exprimée en microgrammes par millilitre)	NaNO	Nitrate de sodium
UHPH	Ultra High Pressure Homogenization (homogénéisation à ultra haute pression)	p/p	Poids pour poids (une mesure de concentration exprimée en poids d'un constituant pour le poids total)
Um	Micromètre (unité de mesure de longueur)	pH	Potentiel Hydrogène (une mesure de l'acidité ou de la basicité d'une solution)

Liste des tableaux

Tableau 1	Composants fonctionnels des substituts végétaux de lait et leurs bienfaits sur la santé (Swatiet al., 2016).	6
Tableau 2	La composition chimique de quinoa et d'autres céréales (blé et l'avoine), et des graines oléagineuses (soja et lin), g pour 100g des poids sec (ps). n.r = not signalé	17
Tableau 3	Comparaison des besoins humains en acides aminés et des teneurs en acides aminés essentiels des protéines de lait du quinoa, du blé et du soja 'mg d'acides aminés/g de protéine (FOA ,1985,Ayala 2001)	18
Tableau 4	classification botanique de la plante de quinoa (catalogueoflife.org)	23
Tableau 5	IC50 d'acide gallique et du lait de quinoa	31
Tableau 6	Echelle d'évaluation de l'acceptance du lait de quinoa	32
Tableau 9	les valeurs des éléments minéraux	33
Tableau 9	IC50 d'acide gallique et du lait de quinoa	35
Tableau 9	Echelle d'évaluation de l'acceptance du lait de quinoa	36

Liste des figures

Figure 1	Organigramme des étapes de production de lait végétal (Aydar, E et al.,2020)	10
Figure 2	graine du quinoa de l'espèce Chenopodium quinoa variété Q102	23
Figure 3	Protocole de préparation de lait de quinoa (Lívia de L et al., 2015)	24
Figure 4	Activité d'inhibition du radical cation par l'acide gallique et le lait du quinoa.	36

Sommaire

REMERCIEMENT	2
<i>Dédicace</i>	3
<i>Dédicace</i>	4
Liste des abréviations.....	5
Liste des tableaux	6
Liste des figures	7
Sommaire	8
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I : Aperçu général sur le lait végétal.....	4
I.1 Aperçu général sur le lait végétal	5
I.1.1 Définition des laits végétaux	5
I.1.2 Types des laits végétaux.....	5
I.1.3 Avantages des laits végétaux pour la santé.....	5
I.1.4 Inconvénients des laits végétaux :	7
A. Lait végétal ne peut pas substituer complètement le lait bovin.....	7
B. l'effet de profils de saveur et de acceptation limitent :	7
I.1.5 Enjeux technologiques de la conservation du lait végétal	8
I.1.6 Acceptance du lait végétal :	9
I.1.7 Etapes de production du lait végétal :	9
7.1 Torrification	11
7.2 Le broyage à sec :	11
7.3 L'épluchage à l'aide d'acide :	11
7.4 Trempage dans l'eau	11
7.5 Le blanchiment.....	12
7.6 Le broyage humide	12
7.7 La filtration.....	12
7.8 Ajout d'ingrédients.....	12
7.9 Fortification et enrichissement	13
7.10 Stérilisation	13
7.11 Homogénéisation	14
7.12 Conditionnement aseptique et entreposage frigorifique	14
8. Le Quinoa comme source de lait végétal	14

8.1 Origine, historique et situation géographique :	15
9. les exigences écologiques de la plante	15
9.1.1 Conditions climatiques	15
9.1.2 Conditions édaphiques	16
9.1.3 Conditions hydriques	16
10 Introduction du quinoa en Algérie :	16
11 La valeur nutritive et la composition de grains du quinoa :	17
11.1 Protéines	17
11.2 Lipides	18
11.3 Glucides	18
11.4 Vitamines et minéraux	18
11.5 Activité anti-oxydante	19
12 Les facteurs antinutritionnels du quinoa	20
Chapitre II : Matériel et Méthodes	21
1. Matériel	22
1.1. Matériel végétal	22
2. La procédure suivie pour la préparation de lait de quinoa	23
3. Analyses physico-chimiques	24
3.1 Teneur en matière sèche	24
3.1.1 Détermination de la teneur en cendre	24
3.2 Quantification des métabolites primaires :	25
3.2.1 Dosage des sucres totaux	25
3.2.2 Dosage de l'amidon	25
3.2.3 Dosage des protéines	26
3.3 Quantification des métabolites secondaires	26
3.3.1 Dosage des polyphénols totaux	26
3.3.2 Dosage des flavonoïdes	27
3.3.3 Dosage des acides-phénols	27
3.3.4. Dosage de saponine	27
3.3.5 Activité antioxydante :	28
3.10 Dosage des éléments minéraux :	28
4. Evaluation sensorielle du lait de quinoa	29
Chapitre III : Résultat et discussion	30

III.1 Teneur en matière sèche du lait de quinoa.....	31
III.2 Teneurs en métabolites primaires du lait de quinoa	31
III.3 Teneur en métabolites secondaires.....	32
III.3.1Teneurs en cendre et éléments minéraux	33
III.3.2 Activité anti-oxydante	34
Test de dégustation	35
Conclusion.....	37
Références bibliographique	39
Annexes.....	45
Teneur en amidon.....	47

INTRODUCTION GENERALE

Récemment, il y a eu une augmentation spectaculaire partout dans le monde de l'obésité et du syndrome métabolique, ainsi que du diabète, de l'hypertension, des accidents vasculaires cérébraux et des maladies cardiaques avec une augmentation parallèle des cancers notamment du sein, du côlon et du pancréas. **(Raharinalona *et al.*, 2020)**.

À mesure que la conscience du consommateur augmente quant au fait que l'alimentation est le critère initial crucial déterminant l'état de santé individuel et populationnel, d'importants bouleversements sont survenus dans leurs modes de vie et leurs habitudes alimentaires. **(Krehl, 1983)**.

Un changement majeur a tendu vers les régimes à base de plantes qui comprennent les céréales, les légumineuses, les graines, les noix, les fruits et les légumes, comme désir d'un mode de vie sain et comme aversion pour la cruauté envers les animaux **(Fehér *et al.*, 2020)**.

À cet égard, peu de légumineuses et d'oléagineux ont été largement utilisés pour la préparation d'alternatives laitières végétales saines, abordables et nutritives, cette industrie s'est rapidement répandue dans le monde et a atteint une valeur de 14 milliards de dollars dans les pays occidentaux et cela en raison des multiples bienfaits pour la santé **(Chalupa *et al.*, 2018)**.

tenant compte de l'importance des laits végétaux en général, notre choix d'étude s'est porté spécialement sur le lait de quinoa et ceci pour l'intérêt général qu'il a récemment commencé à recevoir du monde (2013 a été élu l'année internationale du quinoa) Et l'attention croissante qu'il semblait recevoir par la communauté scientifique qui ne cesse de partager de plus en plus sur la composition de la plante très riche en protéines, vitamines, lipides, fibres et minéraux et sa balance extraordinaire d'acides aminés essentiels, de plus de ses capacités médicinales spécialement pour les atteints de maladies de cœliaque.

L'adaptabilité aux différentes conditions climatiques et aux différents sols font du quinoa un potentiel considérable pour l'Algérie. Cette dernière a saisi l'opportunité et a installé différents sites dédiés spécifiquement à l'expérimentation de la culture de la plante.

Désormais, et avec cet intérêt transcendant que notre pays porte à la plante de quinoa, nous avons trouvé encore plus judicieux d'aborder le sujet des laits végétaux à base de quinoa afin d'inspirer d'autres commerces possibles et rentables qui feront l'objet de projets d'état économique à venir, et ceci à travers notre expérimentation qui démontre la technique de sa préparation et qui tente d'exposer la valeur nutritive de sa composition afin de mieux convaincre de l'importance de l'adopter.

La démarche qu'on a suivie se scinde en trois parties :

-La première partie passe en revue une synthèse bibliographique sur les laits végétaux et la plante du quinoa

-La deuxième partie a été consacrée à la méthodologie de recherche et décrit le matériel et les méthodes utilisées dans l'étude expérimentale.

-La troisième partie a été consacrée à la discussion des résultats obtenus finalisée par une conclusion générale et les perspectives de recherche et développement à entreprendre dans un avenir proche.

Chapitre I :

Aperçu général sur le lait

végétal

I.1 Aperçu général sur le lait végétal

I.1.1 Définition des laits végétaux

Les laits végétaux sont des fluides obtenus à partir d'une réduction de la taille des végétaux tels que les céréales, les pseudo-céréales, les légumineuses, les oléagineux et les fruits à coque, le but est d'avoir un aspect et une consistance similaire au lait de vache grâce à une homogénéisation supplémentaire de ces fluides qui diminue la distribution granulométrique dans une plage de 5 à 20 μm (Swatiet *al.*, 2016).

Le débat qui se pose est : est-il juste de mettre ces liquides dans la catégorie du lait ou dans la catégorie des boissons en général ? Car par définition le lait est un fluide riche en graisses et en protéines, sécrété par des glandes de mammifères, prélevées sur des vaches, brebis, etc., ce qui n'est pas le cas des laits végétaux, et pourtant ils sont commercialisés comme substituts du lait (Sai et Vijaia 2017).

I.1.2. Types des laits végétaux

La classification des laits végétaux est basée sur le type de grain utilisé :

- a) A base de céréales : Tels que le lait d'avoine, lait de riz, lait de maïs, lait d'épeautre.
- b) À base de légumineuses : Comme le lait de soja, lait d'arachide, lait de lupin, lait de niébé.
- c) À base de noix : le lait d'amande, lait de coco, lait de noisette, lait de pistache, lait de noix.
- d) À base de graines : Par exemple le lait de sésame, lait de lin, lait de chanvre, lait de tournesol.
- e) A base de pseudo-céréales : tel que le lait de Quinoa, lait de Teff, lait d'amarante (Swatiet *al.*, 2016).

I.1.3. Avantages des laits végétaux pour la santé

Il y a eu une augmentation remarquable de l'industrie du lait non laitier au cours de ces dernières décennies en Amérique du Nord, contrairement à l'industrie du lait de vache qui a diminué. Par exemple la consommation de lait liquide par habitant chez les Canadiens était de 89,14 L, mais en 2016, ce nombre a chuté à 69,48 L (Sebastianet *al.*, 2018).

Des prévisions ont estimé que l'industrie des laits végétaux atteindrait 28 milliards de dollars en ventes totales sur le marché de détail aux États-Unis d'ici 2021. (Sebastianet *al.*, 2018).

La raison de cet intérêt transcendant pour les laits végétaux est qu'ils sont la solution pour les consommateurs qui souffrent des problèmes d'allergie au lait de vache, d'intolérance au lactose, de souci calorique et de prévalence de l'hypercholestérolémie, grâce au fait qu'ils sont peu caloriques sans lactose et sans cholestérol, ce qui les rend également adaptés à un groupe de la population souffrant de maladies cardiaques et en général à tout le monde car il contient des composants bioactifs et bénéfiques pour la santé qui attirent les consommateurs soucieux de leur santé (**Sebastian et al., 2018**).

Le tableau ci-dessous résume les composants de certains types de laits végétaux et leurs bienfaits pour la santé.

Tableau 1 : Composants fonctionnels des substituts végétaux de lait et leurs bienfaits sur la santé (**Swatiet al., 2016**).

Type de lait	Fonctionnel ou bioactif composant	Avantages pour la santé
Lait de soja	Isoflavones	Effet protecteur contre le cancer, les maladies cardiovasculaires et l'ostéoporose
	Phytostérols	Propriétés anti cholestérol
Lait d'arachide	Des composants phynoliques	Rôle protecteur contre les dommages oxydatifs et les maladies telles que les maladies coronariennes, les accidents vasculaires cérébraux et divers cancers
Lait de riz	Phytostérols en particulier β -sitostérol γ -oryzanol	Abaisse le cholestérol, l'hypertension, des effets antidiabétiques, anti-inflammatoires, antioxydants
Lait d'avoine	B-glucane	Augmente la viscosité de la solution et peut retarder le temps de vidange gastrique, augmente le temps de transit gastro-intestinal qui sont associés à leur taux du glucose sanguin réduit, effet hypocholestérolémiant en réduisant le cholestérol total et LDL
Lait de sésame	Les lignanes comme la sésamine, sésamoline et le sésaminol	Propriétés neutralisantes tel qu'antioxydant, activités hypocholestérolémiantes, anti cancérigènes, anti-tumorales et antivirales
Lait d'amande	Alpha-tocophérol	Puissant antioxydant qui joue un rôle essentiel dans la protection contre les réactions radicalaires
	Arabinose	Propriété pré biotique
Lait de noix de coco	L'acide l'aurique	Favorise le développement du cerveau, stimule le système immunitaire et maintient l'élasticité des vaisseaux sanguins
	Vitamine E	Lutte contre le vieillissement, nourrit la peau

I.1.4. Inconvénients des laits végétaux :

A. Lait végétal ne peut pas substituer complètement le lait bovin

Les alternatives végétales au lait pourraient-elles reproduire le rôle alimentaire du lait de vache ?

La montée en puissance des alternatives végétales au lait et le déclin du lait bovin sont préoccupants du point de vue de la santé publique dans la mesure où les individus et les familles pourraient utiliser des alternatives végétales au lait comme substituts nutritionnels totaux et complets au lait bovin, sans autre modification. Cela pourrait être dû au fait que le mot «lait» est utilisé dans de nombreux substituts du lait à base de plantes et que les consommateurs interprètent le nom du produit comme signifiant qu'il s'agit d'un substitut nutritionnel approprié au lait de vache (Sai et Vijaia 2017).

En général, la faible teneur en protéines, la disponibilité du calcium, les valeurs d'index de glycémie plus élevées et la présence potentielle de facteurs antinutritionnels comme les phytates, les oxalates, les tanines et les lectines ...etc rendent les substituts laitiers à base de plantes nutritionnellement inférieurs au lait de vache. Pour éviter des maladies potentiellement graves provoquées par des carences nutritionnelles, il est conseillé aux consommateurs de ne pas considérer les substituts du lait à base de plantes comme des alternatives nutritionnelles complètes au lait de vache, de se familiariser avec le profil nutritionnel des substituts du lait à base de plantes et de faire des ajustements alimentaires pour compenser toute perte d'éléments nutritifs due au remplacement du lait de vache par des substituts du lait. Cette préoccupation est particulièrement importante pour les nourrissons et les enfants, qui peuvent ne pas être exposés à la même gamme d'aliments qu'un adulte (Sai et Vijaia 2017).

B. L'effet de profils de saveur et de acceptation limitent :

Le lait végétal peut provoquer une sensation crayeuse en bouche qui est désagréable. Pour remédier à cela la fermentation peut aider à améliorer les profils sensoriels. De plus, la fermentation peut entraîner des arômes volatils souhaitables. Par exemple, le diacétyle (2,3-butanedione), qui donne un bel arôme de caramel au beurre, est émis lors de la fermentation à base de céréales (Peyeretet *al.*, 2016). Acétaldéhyde, offre une saveur piquante et fruitée (pomme verte) avec des notes sucrées et augmente la concentration des notes en arachide, céréales et soja.

I.1.5 Enjeux technologiques de la conservation du lait végétal

La production des laits végétaux est confrontée à certains problèmes technologiques ; liés à la transformation ou à la conservation (**Swatiet al., 2016**).

La stabilité du lait végétal dépend de la taille des particules en phase dispersée. Les laits végétaux sont des systèmes colloïdaux formés de particules dispersées de grande taille telles que des globules gras, des particules solides de matières premières, des protéines et des granules d'amidon qui rendent difficile l'obtention d'un produit stable à stocker, pas très longtemps en raison de la sédimentation ou dépôt de particules solides (**Swatiet al., 2016**).

Pour résoudre le problème de la stabilité des laits végétaux la taille des particules dans la phase dispersée et réduite à l'aide de diverses techniques. Traditionnellement, le broyeur colloïdal était utilisé pour réduire la taille des particules en phase dispersée dans la préparation du lait de soja et du lait d'arachide. Mais, la détérioration microbienne est un facteur limitant dans l'utilisation du broyeur colloïdal pour la réduction de la taille et le produit doit être pasteurisé davantage du point de vue de la sécurité alimentaire (**Swatiet al., 2016**).

Un traitement thermique tel que la pasteurisation et la stérilisation peut provoquer des changements dans les composants alimentaires, en particulier les protéines et les lipides qui stabilisent l'émulsion et également le chauffage de l'amidon provoque une forte augmentation de la viscosité (**Fennema 1996**), ce qui peut également avoir un effet significatif sur la stabilité du lait végétal.

L'homogénéisation à ultra-haute pression (UHPH) est l'une des technologies de traitement prometteuses qui se traduit par des particules de taille plus petite et plus uniforme, peut être utilisée efficacement pour améliorer la stabilité du lait à base de plantes (**Valencia-et al., 2013**). En obtenant une réduction de la taille des particules colloïdales, la destruction simultanée des micro-organismes peut être obtenue par le traitement UHPH en raison des effets déclarés de la haute pression sur les micro-organismes (**Cruz et al., 2007**).

Cette technologie convient aux produits alimentaires liquides, permettant une meilleure stabilité du produit et en même temps donnant un effet conservateur au produit final (**Swatiet al., 2016**).

I.1.6. Acceptance du lait végétal :

L'expérience d'un nouvel aliment dépend de plusieurs critères : un goût bon ou familier, les informations nutritionnelles, les bénéfices santé et les aspects environnementaux du produit. Tous les critères ont un impact sur l'augmentation ou la diminution de la volonté du public d'essayer un nouvel aliment (**Makinenet al., 2016**).

Selon l'analyse de marché, le développement de la sensorialité et de la qualité des substituts végétaux du lait pourrait être un facteur clé dans la notoriété du produit ainsi que le taux de sucre, l'origine végétale, la taille de l'emballage, l'intolérance au lactose et le désir d'une alimentation équilibrée (**Makinenet al., 2016**).

De plus, le prix des substituts végétaux du lait est plus élevé que celui du lait de vache puisque le coût de production des substituts végétaux du lait est plus élevé. Ces problèmes entraînent une baisse du taux de rotation des stocks de substituts végétaux du lait. Par conséquent, le goût doit être amélioré de manière à répondre aux préférences des consommateurs tout en conservant les bienfaits pour la santé (**Makinenet al., 2016**).

I.1.7. Etapes de production du lait végétal :

Il existe plusieurs méthodes de production de substituts de céréales, de grains et de lait de noix. Parce qu'ils ont de nombreuses étapes communes, un organigramme est préparé pour la production générale d'oléagineux, de céréales et de substituts de lait de céréales dans cette étude (Fig. 1). Dans le tableau 1, le chemin qui peut être appliqué pour produire chaque substitut de lait à base de plantes est indiqué. Les matières premières telles que la noix de coco, l'arachide, le soja, la noix et la noix de cajou peuvent être fournies décortiquées. Si le produit n'est pas décortiqué, l'une des méthodes de décorticage consiste à tremper la matière première dans de l'eau chaude (**Manzooret al., 2017**). Après le décorticage, le matériau frais obtenu nécessite un processus de séchage (**Kohliet et al., 2017**). Si la matière première est fournie sous forme séchée, ces matières premières ne nécessitent pas de processus de séchage mais suivent les processus de torréfaction ou de broyage à sec. Par conséquent, dans la Fig. 1, "séché" représente la matière première qui n'est pas fraîche et ne nécessite pas de processus de séchage, par exemple, les amandes ou les cacahuètes qui sont vendues sur les marchés. Le séchage est nécessaire si la matière première est achetée sans coque et qu'elle est fraîche, ou si elle est achetée avec coque et que la coque est retirée avant transformation. Enfin, le broyage à sec représente un broyage sans ajout d'eau (**Aydar, et al., 2020**).

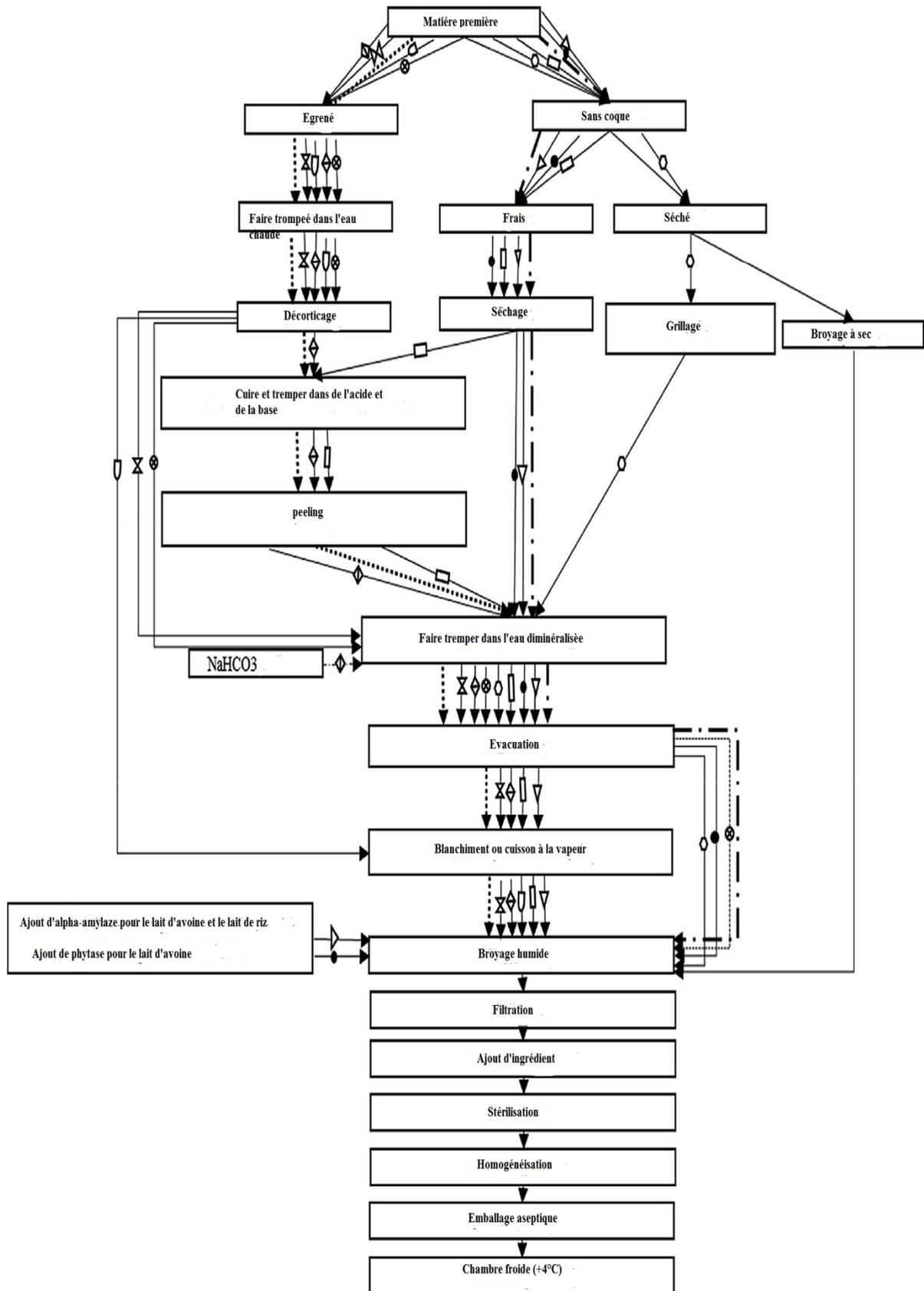


Figure 1: Organigramme des étapes de production de lait végétal (Aydar, E et al., 2020)

7.1 Torréfaction

Dans la littérature, le processus de torréfaction est utilisé pour les substituts de lait d'arachide, d'amande, de noisette, de sésame et de céréales. La torréfaction augmente l'indice de stabilité de l'émulsion et la solubilité de l'isolat de protéines. Afin de réduire la concentration en benzaldéhyde et pyrazine dans un substitut de lait d'amande à moins de 0,5 ppm et d'obtenir un goût neutre, le procédé est démarré par un traitement thermique. Le processus de torréfaction réduit l'acidité, la teneur totale en solides, les protéines, les matières grasses et la stabilité et prévient l'amertume et le goût crayeux (**Ahmadian-Kouchaksaraei et al., 2014**).

7.2 Le broyage à sec :

Le broyage à sec n'est pas préférable dans la production de substituts de lait à base de plantes, cependant, **Makinen et al., (2016)** déclarent que le broyage à sec présente une alternative au broyage humide, et il existe un substitut de lait d'amande breveté qui est obtenu par broyage à sec d'amandes grillées

7.3 L'épluchage à l'aide d'acide :

L'épluchage à l'aide d'acide ou de base est appliqué au sésame, aux noix, aux souchets et aux noix du Brésil dans la littérature. En plus de l'acide et de la base, de l'eau peut également être utilisée, mais, dans ce cas, le temps de traitement augmente. Par exemple, le pelage de la peau des noix et des amandes par trempage dans l'eau doit être fait pendant la nuit, une période de 18 à 20 h, respectivement ; cependant, lorsque de l'acide citrique à 2 % à 90 °C est utilisé, les noix peuvent être pelées en deux à trois minutes (; **Maghsoudlou et al., 2015**). La durée du processus de pelage dépend également de la matière première. Cependant, après le traitement, le produit doit être nettoyé pour éliminer toute solution acide ou basique restante.

7.4 Trempage dans l'eau

Un traitement de trempage dans l'eau est appliqué au soja, aux noisettes, au riz, aux amandes, aux souchets, aux céréales, aux graines de sésame et aux cacahuètes. Dans cette étape, le gonflement et le ramollissement des céréales et des noix sont obtenus. Le trempage dans l'eau permet au grain de riz de ramollir, et donc le temps nécessaire au blanchiment diminue (**Padma et al., 2018**). De plus, **Padma et al., (2018)** indiquent qu'après le trempage, l'amylose apparente est moindre et les toxines sont libérées dans l'eau (**Kizzie-Hayford et al., 2016**). Selon **Sethi et al., (2016)**. Il a été observé que l'utilisation de NaHCO₃ réduit la saveur désagréable et augmente la stabilité du substitut de lait de sésame (**Ahmadian-Kouchaksaraei et al., 2014**).

7.5 Le blanchiment

Dans la littérature, le blanchiment est appliqué au soja, aux amandes, aux noix de coco, aux sésames, aux cacahuètes, au riz et au quinoa. Le blanchiment présente de nombreux avantages comme la diminution de la charge microbienne et l'inactivation des enzymes (**Sethi et al., 2016**). Le blanchiment inactive également la lipo-Xygénase qui provoque la saveur crayeuse dans les substituts de lait de soja (**Sethi et al., 2016**). **Seow et Gwee (1997)** mentionnent également que le blanchiment diminue la charge microbienne initiale et inactive la lipase. Au lieu du blanchiment, la cuisson à la vapeur peut également être utilisée, ce qui augmente le rendement total en solides et en protéines par rapport à l'ébullition et au trempage (**Quasemet et al., 2009**)

7.6 Le broyage humide

Le broyage humide est appliqué aux noix tigrées, au soja, à la noix de coco, aux noix de cajou, aux noisettes, aux graines de chanvre, au niébé, aux amandes, aux noix et aux arachides. Dans le processus de broyage humide, de l'eau est ajoutée à la matière première, puis un broyage est appliqué. La quantité d'eau ajoutée, la température de broyage, le pH, le type de broyage et le débit d'alimentation sont les facteurs qui affectent le produit final. La quantité d'eau ajoutée a un impact certain sur la concentration du substitut de lait obtenu (**Seow&Gwee, 1997**). Dans le tableau ci-dessous, les conditions de broyage humide qui ont lieu dans la littérature sont données.

7.7 La filtration

La filtration est appliquée pour séparer le tourteau et la partie laitière de la matière première broyée. Différents matériaux filtrants comme une étamine à double couche, une mousseline (25 µm) et du papier filtrant de différentes tailles (tamis de 150 mailles, papier filtre, tamis de 180 µm, filtre à pores de 4 µm et filtre de 100 µm) sont utilisés.

7.8 Ajout d'ingrédients

Dans les applications industrielles, la lécithine de tournesol, la gomme de caroube et la gomme gellane sont utilisées pour améliorer la stabilité physique. De l'acide ascorbique est ajoutée aux ingrédients pour éviter l'oxydation. **Kohliet al., (2017)** mentionnent l'ajout d'antioxydants et de conservateurs au substitut du lait de soja après filtration. En plus des stabilisants industriels, **Bernatet et al., (2014)** ont bénéficié de 0,05 g/100 mL de gomme xanthane ajoutée avant le traitement thermique qui épaissit le substitut de lait de noisette et augmente la stabilité colloïdale du produit final. L'ajout de

stabilisants n'est pas seulement appliqué après le processus de broyage. **Nor (2012)** a ajouté de la lécithine (0,03 % p/p) au moment du processus de broyage dans la production de substitut de lait d'amande.

Divers édulcorants tels que la canne à sucre et le sel de mer sont ajoutés pour améliorer la saveur du produit ainsi que des ingrédients tels que la vanille ou le cacao. Pour améliorer l'aspect soyeux, l'huile de tournesol (un pour cent de la masse initiale du quinoa) a été utilisée dans le substitut du lait au quinoa (**Pineliet al., 2015**), et l'huile d'olive est incluse dans la liste des ingrédients des substituts du lait à base de plantes. De la marque Fo-lait (www.fomilk.com, n.d.).

7.9 Fortification et enrichissement

La teneur en protéines, vitamines et minéraux d'un produit sont des critères importants pour les personnes qui préfèrent les substituts de lait à base de plantes au lait de vache. Pour maintenir la quantité de protéines aussi élevée que possible, il est nécessaire d'augmenter la quantité de graines utilisées. Pendant la production, différentes matières premières sont mélangées pour augmenter la quantité totale de protéines et améliorer les propriétés sensorielles du produit (**Sethi et al., 2016**).

Une autre solution pour augmenter la quantité de protéines dans le substitut de lait végétal est d'utiliser une matière première à haute teneur en protéines comme les lentilles dont les propriétés sensorielles sont proches du lait de soja (**Jeske, Bez, Arendt, & Zannini, 2019**). Du calcium, des vitamines A, B2, B1, B12, D2 et E sont également ajoutés pour augmenter la teneur en vitamines et en minéraux, et l'utilisation de tricitrate de calcium augmente la quantité de calcium dans le produit final (**Sethi et al., 2016**).

7.10 Stérilisation

Le but du traitement thermique est de prolonger la durée de conservation et de maintenir une qualité élevée. Le traitement thermique peut être appliqué sous forme de pasteurisation, de stérilisation ou de stérilisation ultra-élevée (**Khuenpetet al., 2016**). La stérilisation se produit à 121 °C pendant 15 à 20 min. De plus, bien qu'il n'y ait pas eu de recherche spécifique sur les substituts de lait à base de plantes, la microfiltration, qui est une méthode de stérilisation non thermique, est également un choix pour éliminer les micro-organismes et prolonger la durée de conservation.

7.11 Homogénéisation

L'homogénéisation est appliquée pour améliorer la stabilité physique du produit final (**Bernatet *al.*, 2015**). Dans la littérature, l'homogénéisation a été réalisée à l'aide de basse, haute et ultra haute pression. Au fur et à mesure que la pression d'homogénéisation appliquée augmente, la stabilité, la clarté et l'indice de blancheur du substitut de lait augmentent. Cependant, l'homogénéisation n'affecte pas la viscosité et la stabilité des protéines. De plus, l'ultra haute pression réduit la taille des particules. Bien que le rendement puisse être augmenté en appliquant le procédé deux fois ou plus, une augmentation de la température du produit se produit en raison de la pression d'homogénéisation (**Gulet *al.*, 2018**).

7.12 Conditionnement aseptique et entreposage frigorifique

Pour une longue durée de conservation et une stabilité élevée, un emballage aseptique et un stockage à froid sont nécessaires. La température de stockage doit être de +4 °C.

8. Le Quinoa comme source de lait végétal

Le quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) est une plante alimentaire considérée comme une pseudo-céréale, elle fait partie de la famille des Chénopodiacées, originaire des régions Andines d'Amérique du Sud comme le Chili, le Pérou, l'Equateur et la Bolivie. Les anciens considéraient la plante comme un aliment sacré et l'appelaient "grain d'or" en raison de sa haute valeur nutritive, ils l'utilisaient donc pour préparer des aliments avec, ils préparaient de la farine, des soupes de céréales, etc. Mais pas seulement cela, la plante a même été utilisée à des fins médicinales comme anti-inflammatoire, analgésique et désinfectant. (**Vega-Gálvez *et al.*, 2010**)

Récemment, des études ont découvert de nouveaux usages médicaux pour cette plante, à savoir sa capacité à améliorer l'intestin grêle dans la maladie cœliaque et à ramener à la normale les villosités intestinales des patients atteints. Pour cette raison, la FAO l'a choisi comme l'une des cultures destinées à assurer la sécurité alimentaire. (**FAO, 2011**) et l'organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture a déclaré l'année 2013 années internationales du quinoa. (**FAO, 2013**).

8.1 Origine, historique et situation géographique :

Le quinoa a été signalé comme étant une source importante pour les populations précolombiennes. Des preuves historiques ont affirmé que les premières traces de quinoa proviennent d'une époque de plus de 7000 ans cultivées par les peuples andins, par exemple les Péruviens ont domestiqué la plante pendant plus de 5000 ans avant JC, des traces ont été trouvées dans le nord du Chili qui dataient de 3000 ans avant JC et d'autres preuves ont été trouvées en Bolivie datant de 750 avant JC (**Tapia et al. 1979**).

Cependant, au moment de la conquête espagnole de l'Amérique du Sud, la culture du quinoa déclina, on pense que les raisons en sont que les conquistadors n'appréciaient pas le goût amer qui provenait de la forte teneur en saponines dans la coque des graines, et aussi à la non-appréciation de sa valeur nutritive, ce qui a conduit à son éradication totale (**Tapia et al. 1979**).

Suite à son interdiction, le quinoa n'a été cultivé qu'illégalement dans quelques zones rurales et a fini par acquérir une mauvaise réputation à travers des titres comme "nourriture pour les indiens", "nourriture pour les pauvres" qui menaçaient sa disparition pour toujours jusqu'à sa « redécouverte » dans les années 1970 (**Valencia-Chamorro, 2003**).

Précisément, vers la fin des années 1970, des facteurs tels que l'apparition de nouvelles habitudes alimentaires, la conversion à «l'alimentation saine» et la recherche scientifique croissante sur la valeur nutritive du quinoa ont favorisé sa redécouverte et son exportation dans le monde entier. (**Valencia-Chamorro, 2003**).

9. les exigences écologiques de la plante

9.1.1 Conditions climatiques

La génétique de la grande variabilité du quinoa signifie qu'il peut fructifier dans différents climats depuis le niveau de la mer, les hautes régions andines et même dans les sourcils de la jungle.

La plante ne peut prospérer qu'à une température qui varie entre 05 et 15°C. Les températures inférieures à 4°C peuvent affecter les phases de germination, de même pour les températures trop élevées qui altèrent le processus physiologique de la plante. (**JAEL CALLA, 2012**).

9.1.2 Conditions édaphiques

Le quinoa est cultivé sur des sols marginaux peu fertiles, il pousse bien sur des sols peu limono-sableux à limono-sableux. En Amérique du Sud, le quinoa est cultivé sur des sols peu ou trop drainés, peu fertiles, très acides (PH 4,8) ou alcalins (PH 8,5) (**MADRPM, 2005**).

9.1.3 Conditions hydriques

La culture de quinoa tolère le stress hydrique et s'adapte bien aux régions où la pluviométrie annuelle avec irrigation est comprise entre 250 et 400 mm. Une irrigation excessive augmente la taille des plantes (hauteur) et améliore le rendement mais avec un risque de verse (**MADRPM, 2005**).

10 Introduction du quinoa en Algérie :

D'après **FOA (2016)**, l'introduction de la culture du quinoa en Algérie ouvre de grandes perspectives de développement en raison de l'adaptation de cette plante associée aux céréales à différents climats. Selon des scientifiques, l'intérêt de cette plante réside dans sa capacité de résistance face à des conditions climatiques extrême (sécheresse, pauvreté des sols, salinité) soulignant son efficacité dans la lutte contre la désertification d'autant plus que le quinoa se développe dans un milieu aride où il pourrait même donner des rendements acceptables.

Les essais d'introduction du quinoa sont effectués au niveau des stations expérimentales des institutions de recherche et développement relevant du secteur de l'agriculture afin d'étudier son comportement et ses potentiels de production dans différentes zones agro-écologiques tout en veillant à ce que l'introduction de cette nouvelle plante ne nuise pas aux autres cultures (**Journal Presse Algérie,2014**).

Le quinoa a été introduit en Algérie depuis l'année 2014 (1er projet) sous le titre de Projet « lancement du projet régional regroupant des pays d'Afrique et du Moyen-Orient de l'Organisation mondiale pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) », destiné à promouvoir, à terme, la culture du quinoa en Algérie et dans d'autres pays du Moyen-Orient et d'Afrique (Égypte, Irak, Iran, Liban, Mauritanie, Soudan et Yémen).

Le projet était coordonné, au niveau national, par Madame **Hamana Malika** (DFRV) et Monsieur **Souici Djamel** était désigné comme consultant national (FAO) chargé de la recherche et de la production (journal Algérie presse service page économique édité le 26- 01- 2014).

Cette plante est cultivée à titre expérimental dans huit sites qui ont été choisis au niveau des différentes régions agro-écologiques, pour l'implémentation des essais. Il s'agit de Bainem (Alger), Sétif, Guelma, Tiaret, Relizane, Biskra, El Arfiane (El Oued) et Adrar, dont les institutions impliquées dans le projet sont : INRAA, ITGC, INSID, INPV, INRF et ITDAS.

11 La valeur nutritive et la composition de grains du quinoa :

Ce qui rend le quinoa attractif pour les systèmes de production, ce sont les caractéristiques de la composition de la plante et des grains (**Vega-Gálvez et al., 2010**).

Les feuilles peuvent être consommées au même titre que les épinards et les boutons floraux comme le brocoli ou la fleur de chou et elles sont une excellente source de protéines, de fibres, de minéraux et de vitamines et assurent la bonne digestion (**Vega-Gálvez et al., 2010**).

Le grain de quinoa est une matière première féculente à haute teneur en glucides, composée principalement d'amidon et d'un faible pourcentage de sucres. C'est un aliment complet à haute valeur nutritionnelle, principalement en raison de sa teneur élevée en protéines de bonne qualité. Il présente également, dans sa composition, des fibres, des vitamines du complexe B, de la vitamine E et C et des minéraux comme le calcium, le magnésium, le fer, le potassium, le phosphore, le manganèse, le zinc, le cuivre et le sodium. Il contient des niveaux plus élevés de protéines totales, de méthionine et de lysine par rapport aux céréales traditionnelles telles que le riz, le maïs, l'orge et le blé (voir tableau 4) (**Vega-Gálvez et al., 2010**).

Tableau 2 : La composition chimique de quinoa et d'autres céréales (blé et l'avoine), et des graines oléagineuses (soja et lin), g pour 100g des poids sec (ps). n.r = not signalé

Composant	Quinoa	Avoine	ble	Soja	Graine de lin
Glucides	72.6	69.8	78.6	n.r	6.2
Protéine	14.4	11.6	10.5	42.3	26.4
Graisse	6.0	5.2	2.6	19.8	24.6
Fibre	4.0	10.4	2.5	11.5	33.0
Cendre	2.9	2.9	1.8	5.2	3.2

11.1 Protéines

Le quinoa se distingue des autres céréales par sa richesse en protéines 14 à 21 %, contre 7 à 12 % en (blé, riz, maïs, orge, etc.). Cependant, son point saillant réside dans sa composition équilibrée et complète en acides aminés, il contient les 10 acides aminés strictement essentiels: lysine, isoleucine, leucine, phénylalanine, tyrosine, thréonine, tryptophane, valine, histidine et méthionine, ce qui signifie qu'il offre une valeur similaire à celle de la caséine (protéine du lait).

Le tableau ci-dessous met en évidence la composition en acides aminés essentiels des protéines de lait, de quinoa et de blé et les compare respectivement aux besoins en acides aminés des adultes et des enfants, il nous permet de qualifier la protéine de quinoa de haute qualité (Antonio Vega-Gàlvez *et al.*, 2010).

Tableau 3 : Comparaison des besoins humains en acides aminés et des teneurs en acides aminés essentiels des protéines de lait du quinoa, du blé et du soja ‘mg d’acides aminés/g de protéine (FOA, 1985, Ayala 2001)

Acides aminés essentiels (mg/g de protéine)	Besoins d’un adulte	Besoins d’un enfant	Lait entière de vache	Quinoa	Blé	Soja
Histidine	16	19	27	31	25	28
Isoleucine	13	28	47	53	35	50
Leucine	19	66	95	63	71	86
Lysine	16	58	78	64	31	70
Méthionine+Cystine	17	25	33	28	43	28
Phénylalanine +	19	63	102	72	80	88

11.2 Lipides

La teneur totale en matières grasses rapportée dans le quinoa est de 14,5% avec un niveau insaturé d'environ 70%, ayant des acides linoléique et oléique en pourcentages de 38,9% et 27,7% respectivement. Ces deux acides gras polyinsaturés sont respectivement des familles connues d'acides gras essentiels oméga-3 (ω -3) et oméga-6 (ω -6). Ils ont plusieurs effets positifs sur le développement du cerveau, les maladies cardiovasculaires et l'amélioration de la sensibilité à l'insuline, ces acides gras sont protégés par la présence de vitamine E, qui agit comme un antioxydant naturel (Antonio *et al.*, 2017).

11.3 Glucides

Dans le quinoa, l'amidon représente le glucide le plus significatif parmi toutes les céréales, constituant environ 58,1 % à 64,2 % de la matière sèche, selon les études de Repo-Carrasco *et al.* Les granules d'amidon de quinoa, d'un diamètre de 2 μ m, sont plus compacts que ceux des grains ordinaires. La petite taille de ces granules d'amidon peut être avantageusement exploitée en les utilisant comme charge biodégradable dans les emballages en polymère. Grâce à son excellente stabilité au gel et au dégel, le quinoa se révèle être un épaississant idéal pour les aliments surgelés et d'autres applications où la résistance à la rétrogradation est souhaitée. De plus, la farine de quinoa affiche des pourcentages élevés de D-

xylose et de maltose, avec des teneurs faibles en glucose et fructose, ce qui la rend appropriée pour les formulations de boissons maltées. De plus, la présence de D-ribose, D-galactose et maltose suggère un faible indice glycémique en fructose (**Antonio Vega-Gálvez et al., 2010**).

La teneur en fibres solubles du quinoa est estimée entre 1,3 % et 6,1 % (base sèche). Ces fibres alimentaires, en raison de leur in-digestibilité dans l'intestin grêle, offrent divers bienfaits. Ainsi, la concentration élevée en fibres de quinoa signalée pourrait améliorer la digestibilité en facilitant l'absorption d'autres nutriments présents dans le quinoa dans le gros intestin. Le quinoa maintient également une proportion d'environ 3 % de sucres simples, principalement du maltose, suivi du D-galactose et du D-ribose, ainsi que des niveaux modérés de fructose et de glucose (**Abugoch James, 2009**).

11.4 Vitamines et minéraux

Bien qu'il existe peu d'études sur la teneur en vitamines du grain de quinoa, plusieurs auteurs ont fait état de concentrations importantes de pyridoxine (B6) et d'acide folique, dont les valeurs dans 100 g peuvent répondre aux besoins des enfants et des adultes. Le contenu de 100g de riboflavine contribue à 80% des besoins quotidiens des enfants et 40% des adultes, comme cité par **Abugoch James (2009)**. La teneur en niacine ne répond pas aux besoins quotidiens, mais c'est une source importante pour l'alimentation. Les valeurs de thiamine (B1) sont inférieures à celles de l'avoine ou de l'orge, mais la riboflavine (B2), la pyridoxine (B6) et l'acide folique sont plus élevées que la plupart des céréales comme le blé, l'avoine, l'orge, le seigle, le riz et le maïs. De plus, le quinoa est une excellente source de vitamine E, plus élevée que le blé, comme décrit précédemment (**Alvarez-Jubete et al., 2010**).

11.5 Activité anti-oxydante

Récemment, beaucoup d'attention a été portée sur les antioxydants naturels, et c'est probablement parce que les graines et germes de pseudo-céréales montrent une activité antioxydant relativement élevée qui peut jouer un rôle important dans l'inhibition des radicaux libres et des réactions en chaîne d'oxydation dans les tissus, réduisant ainsi le risque de plusieurs maladies dégénératives associées à l'oxydation. Stress comme le cancer, les maladies cardiovasculaires et l'ostéoporose. Lorsqu'ils sont ajoutés aux aliments, les antioxydants minimisent le rancissement, retardent la formation de produits d'oxydation toxiques, maintiennent la qualité nutritionnelle et augmentent la durée de conservation. Les méthodes utilisées dans les études antérieures pour la détermination de la capacité antioxydant ont montré

que le sarrasin et le quinoa présentaient l'activité antioxydant la plus élevée parmi les céréales et pseudo céréales étudiées (**Antonio Manolet *et al.*, 2015**).

12 Les facteurs antinutritionnels du quinoa

L'un des principaux problèmes posés par l'utilisation des plantes comme source de nutriments dans l'alimentation est la présence de certains composés dérivés du métabolisme secondaire des plantes appelés facteurs antinutritionnels, car une fois consommées, ils réduisent l'absorption ou l'utilisation des nutriments entraînant des effets nocifs pour la santé en cas d'ingestion à fortes concentrations (**Borges *et al.*, 2010**).

Dans la graine de quinoa, les facteurs antinutritionnels identifiés sont les saponines, l'acide pythique, les tanins, les nitrates, les oxalates et les inhibiteurs de la trypsine. Ces substances sont présentes à des concentrations plus élevées dans les couches externes du grain mais ils peuvent être inactivés ou réduits à des niveaux sans danger pour la santé lorsque des techniques appropriées de transformation industrielle ou de préparation domestique de cet aliment sont utilisées (**Borges *et al.*, 2010**).

Les saponines, par exemple, sont responsables du goût amer du quinoa, elles se trouvent dans les graines, les feuilles et d'autres parties de la plante, et forment des complexes avec le fer et le zinc réduisant leur absorption, donc la quantité de cette substance est généralement réduite ou supprimée de l'extérieur du grain afin d'améliorer la qualité sensorielle et l'acceptation par le consommateur (**Borges *et al.*, 2010**).

Leur élimination s'effectue par un processus de sélection de variétés sucrées ou par des méthodes humides (fort lavage à l'eau alcaline froide), des méthodes sèches (traitement thermique, extrusion, torréfaction ou abrasion mécanique). Cette dernière, présente l'inconvénient de perdre des éléments nutritifs tels que protéines, vitamines et minéraux avec le son. Pour cette raison, l'utilisation de la méthode humide combinée au polissage est suggérée, ce qui garantit l'obtention de dérivés de quinoa avec une teneur en saponine efficacement réduite, minimisant la perte de nutriments (**Borges *et al.*, 2010**).

Chapitre II : Matériel et Méthodes

L'objectif d'étude

L'objectif principal de cette étude est de procéder à la préparation d'un lait végétal à base de grains de quinoa en suivant des étapes bien définies adaptées d'une étude similaire développée précédemment et ceci dans le but de pouvoir par la suite analyser sa composition physicochimique et son activité biologique.

1. Matériel

1.1. Matériel végétal

Dans cette étude, nous avons utilisé la graine de *Chenopodium quinoa* variété Q102



Figure 2: graine du quinoa de l'espèce *Chenopodium quinoa* variété Q102

Tableau 4 : classification botanique de la plante de quinoa (catalogueoflife.org)

Règne	Plantae
Embranchement	Tracheophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Caryophyllalesjuss
Famille	Amaranthaceaejuss
Genre	<i>Chenopodium</i>
Espèce	<i>Chenopodium quinoa willd</i>

2. La procédure suivie pour la préparation de lait de quinoa

La procédure adaptée pour obtenir le lait de quinoa est celle de Mitchell et Mitchell (1998) par substitution des graines de riz par celles de quinoa avec quelques modifications (Livia de L *et al.*, 2015)

Un poids de 25 g des graines de quinoa variété Q102, préalablement nettoyé et bien rincé pour éliminer les matières étrangères et surtout les saponines, est mélangé avec une solution acidifiée (pH=6) et saline

(NaCl de 0.06 M) avec un rapport de 1 :7 (p :v). Le mélange est autoclavé à 112°C pendant 30min pour la cuisson et la gélatinisation de l'amidon. Les graines cuites avec l'eau ont été broyées dans un Blender à vitesse moyenne. L'alpha amylase a été ajouté pour la liquéfaction de l'amidon dans le mélange avec proportion de 3ml/kg d'amidon pendant 120 min. Ensuite, le mélange est chauffé pour l'inactivation de l'enzyme. Le liquide obtenu est ensuite filtré et conservé dans des flacons stériles à +4°C jusqu'à son utilisation. La procédure de la préparation du lait de quinoa est résumée dans le schéma suivant :

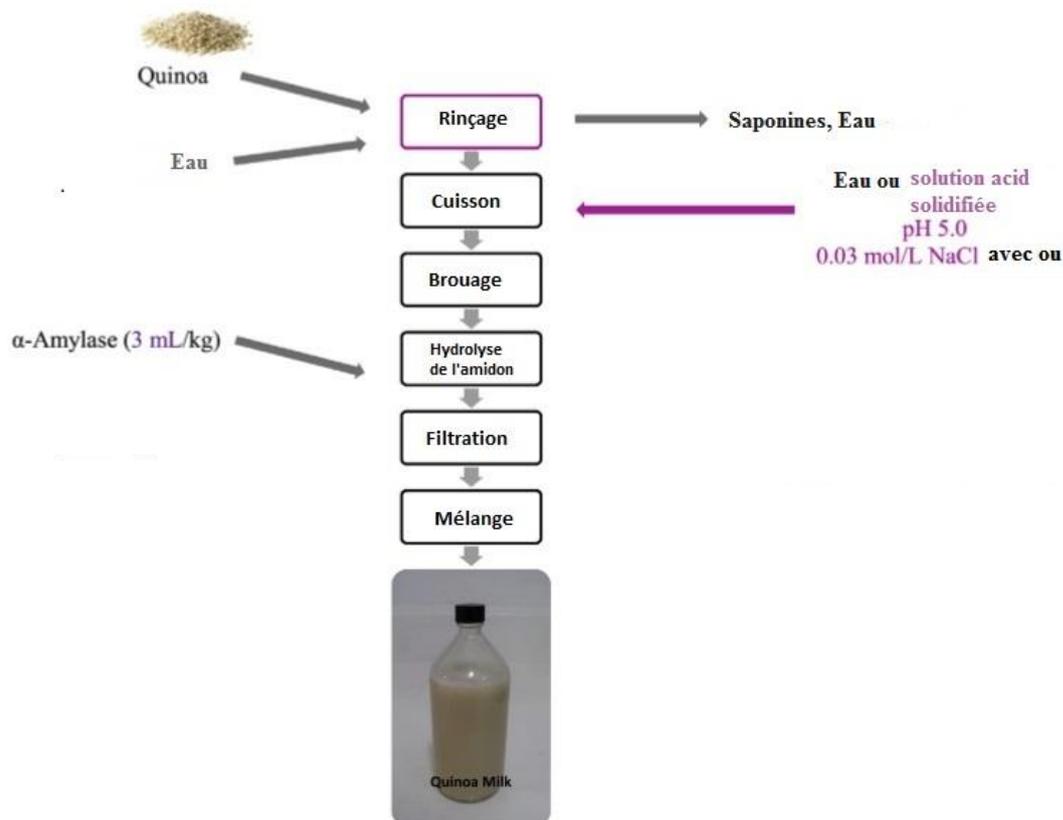


Figure 3 : Protocole de préparation de lait de quinoa (Livia de L *et al.*, 2015)

3. Analyses physico-chimiques

Des analyses approximatives ont été effectuées afin de déterminer les teneurs en matière sèche, en sucres, en amidon, en protéines, en cendre, en éléments minéraux, en composés phénoliques et en saponines dans le lait de quinoa obtenu

3.1 Teneur en matière sèche

La teneur en matière sèche est déterminée par méthode gravimétrique par chauffage à l'étuve à 105°C. La teneur en matière séché est calculée par la formule suivante

$$MS\% = \frac{P2 - P0}{(P1 - P0)} \times 100$$

Où :

P0 : poids de verre de montre vide

P1 : poids de verre de montre rempli avec 1ml du lait avant séchage

P2 : poids de verre de montre rempli après 1ml du lait avant séchage

Rendement d'extraction

Le rendement d'extraction est le rapport entre la teneur en matière sèche du lait obtenu sur la teneur en matière sèche des graines de quinoa utilisées pour l'extraction du lait. Le rendement est calculé selon la formule suivante :

$$R\% = \frac{PSL}{PSG} * 100 \text{Où : } R\% : \text{rendement en \%}$$

PSL : poids sec du lait

PSG : poids sec des graines

3.1.1 Détermination de la teneur en cendre

Des quantités connues (10ml) de lait de Quinoa dans des creusets en porcelaine sont préalablement desséchées à l'étuve et mises à minéraliser dans un four à moufle pendant 4 heures à 500 °C. Jusqu'à l'obtention de cendres blanches ou grises. , les creusets seront refroidis dans un dessiccateur pour être enfin pesés avec précision avec leurs résidus.

Les cendres sont dissoutes dans 25 ml d'acide chlorhydrique (0.5N) et complétées à 50 ml avec l'eau bidistillée. Les différents dosages se font sur le filtrat de l'extraction acide à froid (Bangood, 1984).

$$\text{teneur en cendre} = \left(\frac{p2 - p0}{p1} \right) \times 100$$

P0 : creuset vide

P1 : poids de creuset avec le lait

P2 : poids de creuset avec cendre

3.2 Quantification des métabolites primaires :

3.2.1 Dosage des sucres totaux

Le dosage est effectué selon la méthode de Dubois (1959), Dans cette expérience, nous prélevons 0,1 ml de lait de quinoa auquel nous ajoutons 0,9 ml d'eau distillée. Ensuite, nous répartissons la solution obtenue dans 4 tubes à essai pour assurer la reproductibilité des mesures. Par la suite, nous ajoutons les réactifs nécessaires à chaque tube à essai.

La détermination du taux des sucres totaux est réalisée par la méthode de Dubois et al. (1956). Cette méthode se base sur la réaction des échantillons avec le phénol et l'acide sulfurique (H₂SO₄) ce qui conduit à la formation d'un complexe de couleur jaune. La lecture des absorbances est effectuée à 485 nm par un spectrophotomètre UV-Visible. Les teneurs en sucres totaux (en mg/g du poids sec de matériel végétal) sont déterminées en référence à une gamme étalon du glucose allant de 0 à 80 µg/ml.

3.2.2 Dosage de l'amidon

Cette note d'application fournit une expérience pour quantifier l'amidon soluble dans lait de quinoa frais à l'aide du spectrophotomètre UV-Visible à une longueur d'onde de 600 nm suivant le protocole de P.Y.Yap, A.

1-préparation de solution d'amidon (S1) :

Pour préparer la solution d'amidon, on dilue 0.05g d'amidon dans 10ml de l'eau bi distillée puis on leur rajoute 40ml de l'eau bidistillé chauffé jusqu'à 90 c.

2-preparation de la solution 2(I₂ + KI)

On pèse 2.54g de I₂ et 3g de KI et on les dilue dans 100ml d'eau.

L'extrait d'amidon

- On ramène 1ml de lait de quinoa et on lui rajoute 9 ml de l'eau bi distillé (Solution A)
- Dans un tube on dépose 9 ml de l'eau bi distillé a quel on rajoute 1 ml de SA... (Solution B)
- Dans un autre tube on dépose 9 ml de l'eau bi distillé a quel on rajoute 1 ml de SB ce qui nous forme une nouvelle solution qu'on dénomme (Solution C)

3.2.3 Dosage des protéines

Le dosage des protéines est effectué selon la méthode de Bradford (1976), Le dosage des protéines est effectué par la méthode de Bradford (1976) en utilisant le bleu de Coomassie (G-250) comme réactif. Ce dernier réagit avec les acides aminés basiques (notamment l'arginine) et aromatiques (phénylalanine, tyrosine et tryptophane) des protéines pour former un complexe de couleur bleue. L'absorbance de cette couleur est mesurée à 595 nm par un spectrophotomètre UV-Visible. Un étalonnage est préparé en utilisant l'albumine de sérum de bœuf (BSA, bovine serum albumine) (50-250 µg/ml). Les résultats sont exprimés en mg de protéines/g de poids sec de matériel végétal.

3.3 Quantification des métabolites secondaires

3.3.1 Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux a été fait par la méthode de Folin-Ciocalteu décrite par **Singleton et Rossi (1999)**. Qui est basé sur la réduction en milieu basique de la mixture d'acide phosphotungestique $H_3P(W_3O_{10})_4$ et d'acide phosphomolybdique $H_3PMO_{12}O_4$ par les groupements oxydables des composés phénoliques présents dans l'échantillon. Les produits de réduction oxydes métalliques de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_3) de couleur bleue. Un volume de de 0.2 du lait ou de standard (acide gallique) est mélangé avec 1.3ml de réactif Folin-Ciocalteu (dilué 1/10 fois avec de l'eau distillée). Après un repos de 5 min, 1 ml de la solution de Na_2CO_3 (7,5 %) est ajouté. Après une homogénéisation vigoureuse puis un repos de 60 min à l'obscurité, à température ambiante, l'absorbance est mesuré à 765 nm par un spectrophotomètre UV-Visible, et les résultats obtenus sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique/g de poids sec du lait de quinoa.

3.3.2 Dosage des flavonoïdes

Le dosage des flavonoïdes a été réalisé selon la méthode colorimétrique de **Kim et al. (2003)**. Un volume de 0.5 ml de lait de quinoa a été dilué avec 0.5 ml de l'eau distillée. Ensuite, 0,3 ml de solution de nitrite de sodium NaNO_2 (5%) a été ajouté. Après 5 min, 0,3 ml de solution de chlorure d'aluminium AlCl_3 (10%) est ajouté. Le mélange est laissé au repos pendant 5 min, puis 2 ml de solution d'hydroxyde de sodium NaOH (1 M) sont additionnés. Après agitation, l'absorbance est mesurée immédiatement à 510 nm un spectrophotomètre UV-Visible. La rutine a été utilisée comme standard avec des concentrations allant de 0 à 500 $\mu\text{g/ml}$, et les résultats sont exprimés en mg équivalent de rutine/g du poids sec du lait de quinoa.

3.3.3 Dosage des acides-phénols

L'estimation des acides-phénols est effectuée selon la méthode d'Arnov (**Szauffer-Hadjrych, 2004**). Un volume de 0.1 ml d'échantillon est mélangé à 0.9 ml de l'eau distillée, puis 1 ml d' HCl (0,5 M), 1 ml de réactif d'Arnov (solution aqueuse de molybdate de sodium 10(p/v) et nitrite de sodium 10% (p/v)) et 1 ml d'hydroxyde de sodium (1 M) ont été additionnés.

La lecture de l'absorbance est faite à 490 nm par un spectrophotomètre UV-Visible. L'acide caféique a été utilisé comme référence pour la préparation de la courbe d'étalonnage avec des concentrations allant de 0 à 500 $\mu\text{g/ml}$. Les résultats sont exprimés en μg équivalent d'acide caféique EAC/g de poids sec de matériel végétal.

3.3.4. Dosage de saponine

La détermination de la teneur totale en saponines a été réalisée par la méthode de vanilline-acide sulfurique comme décrit par **Hiai et al. (1976)** et modifié par **Le et al. (2018)**. Dans cette méthode modifiée, 25 μL du lait de quinoa, d'aescine ou de blanc ont été mélangés avec 0,5 ml de vanilline à 4 % (p/v) dans de l'éthanol et 2,5 ml d'acide sulfurique à 72 % (v/v) dans de l'eau. Le mélange obtenu est incubé pendant 15 min à 60°C dans un bain-marie avec agitation. Après refroidissement dans l'eau à température ambiante pendant 5 min, l'absorbance des standards et des extraits a été mesurée à 560 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis. La teneur en saponines a été exprimée en mg équivalent d'aescine/g de poids sec de lait de quinoa.

3.3.5 Activité antioxydante :

L'activité antioxydante a été évaluée par la mesure du pouvoir du lait de quinoa à inhiber le radical cation ABTS^{•+}. La mesure de l'activité anti-oxydante est effectuée en utilisant la méthode dite à l'ABTS (acide 2,2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique)) décrite par **Re et al. (1999)**. Cette méthode mesure la capacité d'un antioxydant à réagir avec des radicaux cations ABTS^{•+} + produits par voie chimique. Le radical cation ABTS^{•+} a une couleur vert-bleu caractéristique. Il devient incolore quand il est réduit par des substances donneuses des protons. Cette méthode quantifie la capacité d'une molécule ou d'un extrait à piéger les radicaux en mesurant l'absorbance du mélange réactionnel antioxydant/radical au spectrophotomètre à 734 nm. Les résultats sont exprimés par référence à un standard, qui est communément le Trolox (**Moore et Yu, 2008**). La valeur d'IC50 (concentration inhibitrice à 50 %) : permet de calculer la concentration de l'échantillon testé nécessaire pour réduire 50 % de la forme radicalaire de l'ABTS. Elle est déterminée graphiquement par la régression linéaire des graphes tracés (**Bentrar, 2018**).

3.10 Dosage des éléments minéraux :

Des quantités connues (10ml) de lait de Quinoa dans des creusets en porcelaine sont préalablement desséchées à l'étuve et mises à minéraliser dans un four à moufle pendant 4 heures à 500 °C jusqu'à l'obtention de cendres blanches ou grises. Les creusets seront refroidis dans un dessiccateur pour être enfin pesés avec précision avec leurs résidus.

Les cendres sont dissoutes dans 25 ml d'acide chlorhydrique (0.5N) et complétées à 50 ml avec l'eau bidistillée. Les différents dosages se font sur le filtrat de l'extraction acide à froid (**Bangood, 1984**).

Les teneurs en sodium (Na⁺), potassium (K⁺) sont déterminées par spectrophotométrie à flamme en émission (Photomètre Jenway), reposant sur le fait que certains composés chimiques peuvent être dissociés thermiquement dans une flamme et que les atomes produits sont excités à des niveaux d'énergie élevés. L'émission énergétique correspond à la transition inverse. Le retour à l'état fondamental se fait avec émission de radiations électromagnétiques. Ils restituent l'énergie acquise en émettant une radiation caractéristique de l'élément que l'on recherche, il y a alors émission d'une série de raies que l'on peut sélectionner au moyen de filtres interférentiels (**Pere, 1999**).

Le chlorure (Cl⁻) est dosé par la Méthode potentiométrique utilisé par l'appareil Titrino plus 848 de marque Metrohm, avec une électrode combinée de type argent massif, et un réactif (AgNO₃) de concentration 0,1 mol L⁻¹ selon la teneur en ions Cl⁻.

On met dans un bécher 25 ml de la solution des cendres dissoutes dans HCl et l'eau bidistillée (diluée 1 /25 de l'eau bidistillée) avec un barreau magnétique et ajouter 1 ml d'acide nitrique 2M. Le potentiomètre s'arrête au point d'équivalence qui correspond au taux des ag nécessaire à neutraliser les Cl. Et la lecture se fait directement sur le potentiomètre.

Le Titrage par complexométrie des ions calcium(Ca), et magnésium(Mg) se fait par une solution aqueuse de sel disodi que d'acide éthylène-diamine tétraacétique (EDTA) à un pH de 10. L'indicateur utilisé est le noir ériochrome T, qui donne une couleur rose en présence des ions calcium et magnésium.

Pour le dosage de calcium : Prendre 25ml de solution des cendres dissoutes dans HCl et l'eau bidistillée (diluée 1 /25 de l'eau bidistillée), Ajouter 1 ml de solution tampon 10 (NH₄Cl) et avec une pointe de spatule ajouter du Murexide. Titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage du rose au violet et Noter le volume de l'EDTA au virage.

Enfin pour le dosage de magnésium : Prendre 25ml de solution des cendres dissoutes dans HCl et l'eau bidistillée (diluée 1 /25 de l'eau bidistillée), ajouter 1 ml de solution tampon 10 (NH₄Cl) et avec une pointe de spatule ajouter le noir d'erochrome, et chauffer la solution à 60°C pendant quelques minutes. Titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage du rose au bleu et Noter le volume de l'EDTA rester de titrage de Ca au virage.

4. Evaluation sensorielle du lait de quinoa

Le test d'acceptance du lait de quinoa est conduit avec 30 Person Évaluateurs non formés, entre 18 et 50 ans, avec 73.33% de femelles et 26.66% de malle. Le test est réalisé dans la région d'Ouargla, où on a utilisé trois types du lait de quinoa (sans arôme ajouté, avec dattes, avec banane). Une échelle de 1 à 5 a été utilisée pour évaluer l'acceptance d'ensemble apparence, couleur, ordeur...

Chapitre III :

Résultat et discussion

III.1 Teneur en matière sèche du lait de quinoa

Les résultats obtenus ont montré que la teneur matière sèche du lait de quinoa est égale à $8.92 \pm 0.22\%$

Paid initial (P0) – Poid final (P1)

Le rendement d'extraction du lait végétal à partir des graines de quinoa est égal à $50.75 \pm 1.44\%$

III.2 Teneurs en métabolites primaires du lait de quinoa

Après les calculs on a trouvé les résultats suivant sous la forme de tableau ci-dessus

Tableau 5 : Teneurs en métabolites primaires (sucres totaux, amidon et protéines) du lait de quinoa.

	Différents métabolites primaires		
	Sucres totaux	amidon	Protéines
Teneurs en métabolites primaires (mg/g PS du lait de quinoa)	2.93	0.80	10.63

Selon la tableau 5, il apparaît que la teneur la plus élevée est celle des protéines avec un taux de 10.63 mg/g PS du lait de quinoa, suivie par celle des sucres totaux avec une concentration de 2.93 mg/g PS du lait de quinoa, alors que l'amidon ne représente que un taux de 0.80 mg/g PS du lait de quinoa.

Une étude de **Karovičová et al.**, (2020) mentionne que la fermentation des boissons à base de quinoa augmente significativement la teneur en protéines des produits finaux. Une autre recherche a également été menée sur l'application des graines de quinoa dans le secteur laitier par Pineli et al (2015) qui ont mis au point un "lait" végétal à base de quinoa, aux caractéristiques hypoallergéniques et avec une concentration en protéines 5,66 fois plus élevée que le lait de riz, moitié moins de protéines que le lait de vache, et 36% plus de protéines que dans le quinoa du marché.

Le lait de quinoa a une teneur en protéines plus élevée que le lait de soja et le lait d'amande. Selon l'étude de Repo-Carrasco-Valencia et al. (2022), la boisson maltée préparée à base de quinoa et de kiwicha avait une teneur en protéines de 7,7 %, ce qui représente une valeur de 1,5 à 2 fois plus élevée que celle du lait de vache. Drewnowski et al. (2021) mentionnent également que seuls les laits de pois et de soja ont une teneur en protéines qui se rapproche de celle du lait de vache.

III.3 Teneur en métabolites secondaires

Tableau 6: Teneurs en différents métabolites secondaires du lait de quinoa

	Métabolites secondaires			
	PPT	FLV	Ac Ph	Sap
Teneurs en quelques métabolites secondaires ($\mu\text{g/g}$ PS du lait de quinoa)	9.07	4.11	1.93	0.15

Selon La tableau 6, la teneur la plus importante des métabolite secondaire dosées est celle des polyphénols avec un taux de 9.07 ug/g de poids sec, suivie par celles des flavonoïdes avec un taux de 4.11 ug/g de poids sec, et des acides phénols est de 1.93 ug/g de poids sec, alors que les saponines ne représente qu'un taux 0.15 ug/g de poids sec.

Le lait de quinoa n'est généralement pas considéré comme ayant la teneur la plus élevée en polyphénols parmi les laits végétaux. D'autres laits végétaux tels que le lait d'amande, le lait d'avoine, le lait de noix de coco et le lait de noisette peuvent avoir une teneur en polyphénols plus élevée que le lait de quinoa. Les polyphénols sont des composés antioxydants présents dans de nombreux aliments végétaux, et leur teneur varie en fonction des ingrédients utilisés et des méthodes de transformation.

Le lait d'amande est souvent mentionné pour sa teneur en flavonoïdes, notamment les flavanols tels que l'épicatéchine. Le lait de soja peut être une autre source de flavonoïdes, notamment les isoflavones.

III.3.1 Teneurs en cendre et éléments minéraux

Tableau 7 : les valeurs des éléments minéraux

	éléments minéraux				
	Ca	Na	K	Mg	Cl
Moyane mg / l	331.7	5457.5	801.6	303.75	199.22

Selon la tableau 7, Les valeurs des minéraux dans le lait de quinoa sont les suivantes : la teneur en calcium est de 331,6954023 mg/l, la teneur en sodium est de 5457,5 mg/l, la teneur en potassium est de 801,6 mg/l, la teneur en magnésium est de 303,75 mg/l, et la teneur en chlore est de 199,2168491 mg/l.

Lait de Quinoa : Le lait de quinoa est dérivé des graines de quinoa, qui contiennent divers minéraux. Bien que les données spécifiques sur la teneur en minéraux du lait de quinoa soient limitées, on sait que les graines de quinoa sont une bonne source de minéraux tels que le magnésium, le phosphore, le fer et le zinc (**Vega-Gálvez et al., 2010**).

Les laits végétaux, comme le lait d'amande ou le lait de soja, peuvent naturellement ne pas contenir autant de minéraux, cependant, certaines marques enrichissent leurs produits laitiers végétaux avec du calcium, de la vitamine D et d'autres minéraux pour les rendre nutritionnellement comparables au lait de vache. **Mohamed et al., 2022** par exemple le lait d'amande est souvent enrichi en calcium, fournissant environ 120 mg pour 100 ml **Bobbe et al., 2007**.

Le quinoa contient des quantités plus élevées de minéraux tels que le calcium, le fer et le cuivre par rapport à d'autres céréales comme le blé, le riz et le maïs. Le quinoa est également riche en potassium, magnésium et zinc, comme mentionné dans la référence (**Tan, 2020**). Ces minéraux sont essentiels au maintien de la santé et du bien-être en général

En ce qui concerne le calcium, le lait de soja est souvent fortifié et peut fournir une teneur en calcium similaire voire supérieure à celle du lait de vache. Il contient généralement entre 80 et 300 mg de calcium pour 100 ml, selon la marque et la fortification.

Le lait de soja est également une bonne source de potassium, avec des valeurs variant de 80 à 180 mg pour 100 ml. Le potassium est un minéral essentiel qui joue un rôle dans le maintien d'une pression artérielle saine et du bon fonctionnement du cœur (**Kundu et al., 2018**).

En ce qui concerne le magnésium, le lait de soja contient généralement entre 10 et 20 mg pour 100 ml. Le magnésium est important pour diverses fonctions corporelles, notamment la fonction nerveuse et musculaire, ainsi que pour le maintien d'os en bonne santé..(Kundu *et al.*, 2018)

La teneur en minéraux du lait végétal peut varier en fonction du type de plante utilisé. Par exemple, le lait d'amande est connu pour être une bonne source de calcium, tandis que le lait de soja est souvent enrichi en minéraux tels que le calcium et la vitamine D (Dreher & Davenport, 2013).

III.3.2 Activité anti-oxydante

L'évaluation de pourcentage d'inhibition de radical cation ABTS + par le lait du quinoa et l'acide gallique a été déterminée et les résultats sont présentés dans la figure 10.

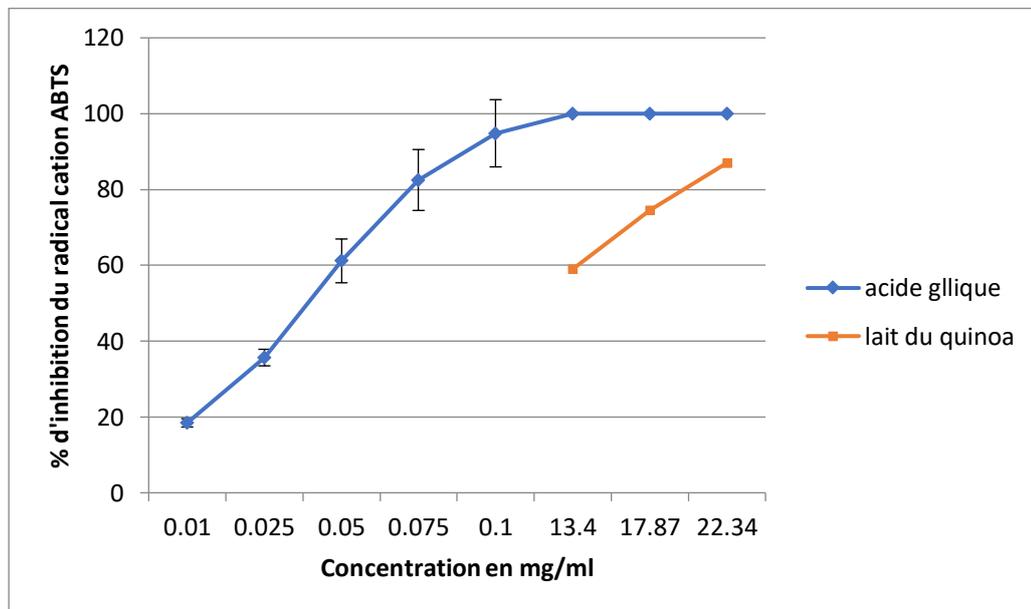


Figure 4 : Activité d'inhibition du radical cation par l'acide gallique et le lait du quinoa.

Il ressort des résultats de la figure 10 que le pourcentage d'inhibition du radical cation ABTS est proportionnel à la concentration d'acide gallique et de la concentration du lait de quinoa.

Selon **Pandey *et al*** , Le lait quinoa est généralement considéré comme une source de composés antioxydants en raison de sa teneur en polyphénols. Les polyphénols sont des composés végétaux qui ont été largement étudiés pour leurs propriétés antioxydantes et leurs effets bénéfiques sur la santé. Les polyphénols peuvent aider à neutraliser les radicaux libres dans le corps, réduisant ainsi le stress oxydatif et les dommages cellulaires associés. Des études ont montré que les polyphénols présents dans les aliments d'origine végétale, tels que les céréales, les légumes et les fruits, peuvent contribuer à l'activité antioxydante globale de l'alimentation.

Il est à noter aussi que l'acide gallique est plus efficace, les valeurs d'IC₅₀ ont été calculées et les résultats sont présentés dans le tableau 6

Tableau 8 : IC₅₀ d'acide gallique et du lait de quinoa

	Acide gallique	Lait du quinoa
IC ₅₀	42.15±3.99 µg/ml	9.26±0.75 mg/ml

Il apparaît que le pouvoir antioxydant du lait de quinoa est nettement inférieur à celui de l'acide gallique ou l'IC₅₀ de lait de quinoa est égale à 9.26±0.75 mg/ml, alors que celle d'acide gallique est de l'ordre de 42.15±3.99 µg/ml.

La figure 10 et le tableau 7 Représenté une courbe et les valeurs de teneur en cendre d'acide gallique un taux de 42.15 mg/ml et de teneur de lait de quinoa un taux 9.26 mg/ml

Test de dégustation

Lors des tests de dégustation avec du lait de quinoa naturel et du lait de quinoa avec ajout de dattes et de bananes, les personnes n'apprécient pas le goût du lait de quinoa naturel car il a un goût étrange. Cependant, lorsque les dattes sont ajoutées, le goût devient acceptable par rapport au lait naturel.

Tableau 9 : Echelle d'évaluation de l'acceptance du lait de quinoa

Naturelle	N'aime pas de tout	N'aime pas beaucoup	Indiffèrent	Aime un peu	Aime beaucoup
En total	30	6	0	3	0
Colour	7	5	0	12	2
Odour	16	7	0	3	0
Gout	23	2	0	3	0
Texteur	2	3	1	2	19
Quinoa avec dattes	N'aime pas de tout	N'aime pas beaucoup	Indiffèrent	Aime un peu	Aime beaucoup
En total	14	8	0	4	0
Colour	6	9	0	7	7
Odour	22	6	0	2	0
Gout	15	11	0	4	0
Texteur	4	5	0	16	3
Quinoa avec banane	N'aime pas de tout	N'aime pas beaucoup	Indiffèrent	Aime un peu	Aime beaucoup
En total	1	3	0	14	11
Colour	4	9	0	12	4
Odour	6	9	0	10	15
Gout	1	11	0	16	3
Texteur	0	5	0	12	13

Conclusion

Conclusion :

Récemment, une transition majeure vers les régimes à base de plantes s'observe pour diverses raisons, notamment la préférence croissante pour les produits biologiques, l'essor du végétalisme, et la prise de conscience accrue des liens directs entre l'alimentation et la santé. En résultat, la production et la consommation de laits végétaux, qu'il s'agisse de soja, d'amande ou d'avoine, sont devenues incontournables, éclipsant même le lait de vache, et une recherche active explore d'autres sources végétales.

Le quinoa, une plante consommée depuis les époques précolombiennes, est reconnu pour ses bienfaits nutritionnels et se profile comme une source prometteuse de laits végétaux, notamment en Algérie où des expérimentations de culture sont déjà en cours dans le sud du pays. Cette étude vise à sensibiliser à l'importance du lait de quinoa et à démontrer sa richesse nutritionnelle.

La méthode adoptée implique la préparation en laboratoire du lait de quinoa en suivant une procédure similaire à celle de (**Livia de L et al., 2015**), suivi d'une analyse physicochimique pour évaluer la teneur en matière sèche, en cendres, quantifier les métabolites primaires et secondaires, et déterminer le pouvoir antioxydant à l'aide du test ABTS.

Les résultats de l'étude révèlent que le lait de quinoa présente une teneur en protéines remarquablement élevée, comparable voire supérieure à celle du lait de vache, du lait de soja, et du lait d'amande. Une caractéristique notable est sa richesse en polyphénols et flavonoïdes, conférant une activité antioxydante significative. De plus, le lait de quinoa est une source riche en plusieurs minéraux, notamment le sodium, le calcium, le potassium, le magnésium, et le chlore.

Références bibliographique

1. Aydar, E. F., Tutuncu, S., &Ozcelik, B. (2020). Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. *Journal of Functional Foods*, 70, 103975.
2. Chalupa-Krebzdak, S., Long, C. J., &Bohrer, B. M. (2018). Nutrient density and nutritional value of milk and plant-based milk alternatives. *International dairy journal*, 87, 84-92.
3. Filho, A. M. M., Pirozi, M. R., Borges, J. T. D. S., PinheiroSant'Ana, H. M., Chaves, J. B. P., & Coimbra, J. S. D. R. (2017). Quinoa: Nutritional, functional, and antinutritional aspects. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(8), 1618-1630.
4. Sethi, S., Tyagi, S. K., & Anurag, R. K. (2016). Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *Journal of food science and technology*, 53(9), 3408–3423. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3>
5. Sharma, G., &Lakhawat, S. (2017). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa*), an ancient Andean grain: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(4), 1488-1489.
6. Tangyu, M., Muller, J., Bolten, C. J., &Wittmann, C. (2019). Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value. *Applied microbiology and biotechnology*, 103, 9263-9275.
7. Vanga, S. K., &Raghavan, V. (2018). How well do plant based alternatives fare nutritionally compared to cow's milk?..*Journal of food science and technology*, 55(1), 10-20.
8. Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., &Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(15), 2541-2547
9. Madrpm. Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des pêches Maritimes. Transfert de technologie en agriculture. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA. Les cultures alternatives Quinoa, amarante et épeautre. Maroc. **2005** : 133 : 1-2. ISSN: 1114-0852
10. Calla, J. A. E. L. (2012). Manejoagronómicodelcultivo de la quinua. Agrobanco, OficinaAcadémica de Extensión y Proyección Social, UNALAM. Ayacucho, Perú. 98p.

11. Manzoor, M. F., Manzoor, A., Siddique, R., & Ahmad, N. (2017). Nutritional and sensory properties of cashew seed (*Anacardium occidentale*) milk. *Modern Concepts & Developments in Agronomy*, 1(1), 1-4.
12. Kohli, D., Kumar, S., Upadhyay, S., & Mishra, R. (2017). Preservation and processing of soy milk: A review. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 2(6), 66–70.
13. Ahmadian-Kouchaksaraei, Z., Varidi, M., Varidi, M. J., & Pourazarang, H. (2014). Influence of processing conditions on the physicochemical and sensory properties of sesame milk: A novel nutritional beverage. *LWT - Food Science and Technology*, 57(1), 299–305.
14. Makinen, O. E., Wanhalinna, V., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2016). Foods for special dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(3), 339–349.
15. Maghsoudlou, Y., Alami, M., Mashkour, M., & Shahraki, M. H. (2015). Optimization of ultrasound-assisted stabilization and formulation of almond milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 828–839.
16. Padma, M., Jagannadarao, P. V. K., Edukondalu, L., Ravibabu, G., & Aparna, K. (2018). Physico-chemical analysis of milk prepared from broken rice. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(2), 426–428.
17. Kizzie-Hayford, N., Jaros, D., Zahn, S., & Rohm, H. (2016). Effects of protein enrichment on the microbiological, physicochemical and sensory properties of fermented tigernut milk. *LWT*, 74, 319–324.
18. Seow, C. C., & Gwee, C. N. (1997). Coconut milk: Chemistry and technology. *International Journal of Food Science & Technology*, 32(3), 189–201.
19. Quasem, J. M., Mazahreh, A. S., & Abu-Alruz, K. (2009). Development of vegetable based milk from decorticated sesame (*Sesamum Indicum*). *American Journal of Applied Sciences*, 6(5), 888–896. <https://doi.org/10.3844/ajas.2009.888.896>.
20. Bernat, N., Chafer, M., Chiralt, A., & Gonzalez-Martinez, C. (2014). Hazelnut milk fermentation using probiotic *Lactobacillus rhamnosus* GG and inulin. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 2553–2562.

21. Nor, A. B. H. (2012). Almond milk production and study of quality characteristics. *Journal of Academia*, 2, 1–8.
22. Pineli, L. D. L. D. O., Botelho, R. B., Zandonadi, R. P., Solorzano, J. L., de Oliveira, G. T.,
23. Reis, C. E. G., &Teixeira, D. D. S. (2015). Low glyceic index and increased protein content in a novel quinoa milk. *LWT - Food Science and Technology*, 63(2), 1261–1267
24. Jeske, S., Bez, J., Arendt, E. K., &Zannini, E. (2019). Formation, stability, and sensory characteristics of a lentil-based milk substitute as affected by homogenization and pasteurization. *European Food Research and Technology = Zeitschrift Fur Lebensmittel-Untersuchung Und -Forschung. A*, 245(7), 1519–1531.
25. Khuenpet, K., Jittanit, W., Hongha, N., &Pairojkul, S. (2016). UHT skim coconut milk production and its quality. 23, 1–14.
26. Gul, O., Atalar, I., Saricaoglu, F. T., &Yazici, F. (2018). Effect of multi-pass high pressure
27. homogenization on physicochemical properties of hazelnut milk from hazelnut cake:An investigation by response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1–11.
28. Valencia-Flores, D. C., Hernández-Herrero, M., Guamis, B., &Ferragut, V. (2013). Comparing the effects of ultra-high-pressure homogenization and conventional thermal treatments on the microbiological, physical, and chemical quality of almond beverages. *Journal of Food Science*, 78(2), E199-E205.
29. Cruz, N., Capellas, M., Hernández, M., Trujillo, A. J., Guamis, B., &Ferragut, V. (2007). Ultra high pressure homogenization of soymilk: Microbiological, physicochemical and microstructural characteristics. *Food research international*, 40(6), 725-732.
30. Fennema, O. R. (1996). *Food chemistry* (Vol. 76). CRC Press.
31. James, L. E. A. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in food and nutrition research*, 58, 1-31.
32. Pineli, L. D. L. D. O., Botelho, R. B., Zandonadi, R. P., Solorzano, J. L., de Oliveira, G. T., Reis, C. E. G., & Teixeira, D. D. S. (2015). Low glyceic index and increased protein content in a novel quinoa milk. *LWT-Food Science and Technology*, 63(2), 1261-1267.

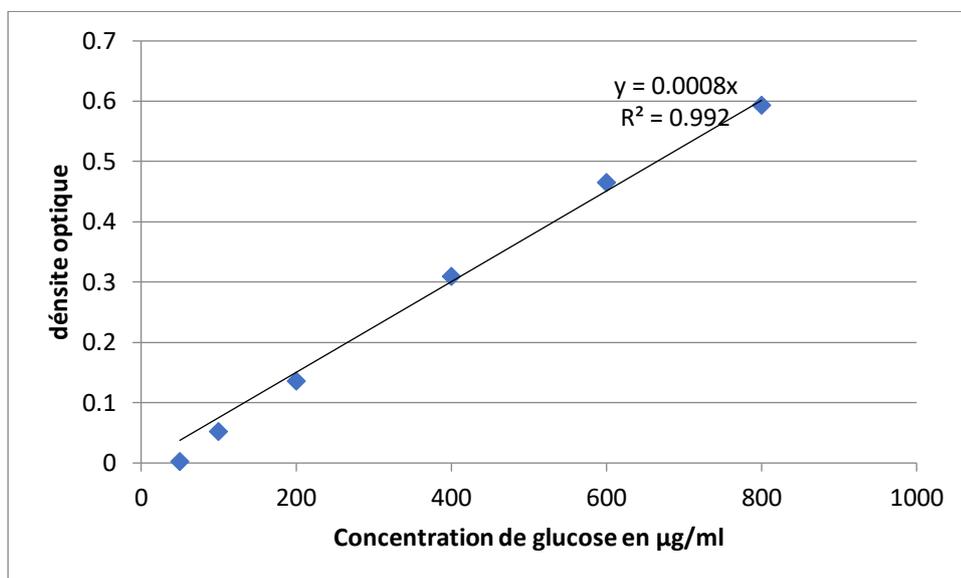
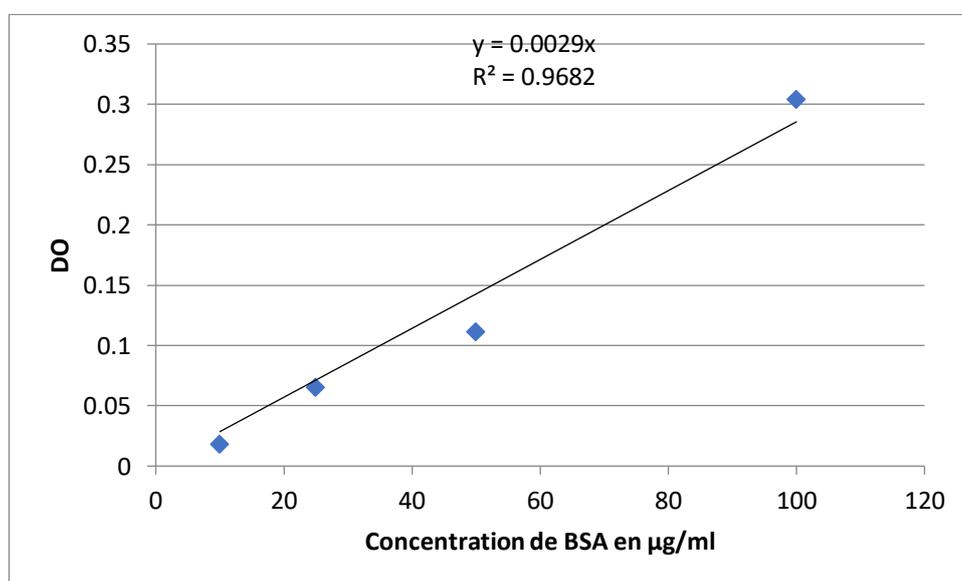
33. Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
34. Lee, H., Kim, Y. O., Kim, H., Kim, S. Y., Noh, H. S., Kang, S. S., ...& Suk, K. (2003). Flavonoid wogonin from medicinal herb is neuroprotective by inhibiting inflammatory activation of microglia. *The FASEB Journal*, 17(13), 1-21.
35. Szauffer-Hajdrych, M. (2004). Phenolic acids in leaves of species of the *Aquilegia L.* genus. *Herba Polonica*, 2(50).
36. Hiai, S., Oura, H., & Nakajima, T. (1976). Color reaction of some sapogenins and saponins with vanillin and sulfuric acid. *Planta Medica*, 29(02), 116-122.
37. Shui, G., & Leong, L. P. (2006). Residue from star fruit as valuable source for functional food ingredients and antioxidant nutraceuticals. *Food chemistry*, 97(2), 277-284.
38. Krehl, W. A. (1983). The role of nutrition in maintaining health and preventing disease. *Health values*, 7(2), 9-13.
39. Raharinaivalona, S. A., Razanamparany, T., Raheison, R. E., & Rakotomalala, A. D. P. (2020). Prévalence du syndrome métabolique et des facteurs de risque cardiovasculaire chez les diabétiques de type 2 vu au service d'endocrinologie, Antananarivo. *Pan African Medical Journal*, 36(1).
40. Fehér, A., Gazdecki, M., Véha, M., Szakály, M., & Szakály, Z. (2020). A Comprehensive Review of the Benefits of and the Barriers to the Switch to a Plant-Based Diet. *Sustainability*, 12(10).
41. Chalupa-Krebzdak, S., Long, C. J., & Bohrer, B. M. (2018). Nutrient density and nutritional value of milk and plant-based milk alternatives. *International dairy journal*, 87, 84-92.
42. Ladokun, O., Oni, S. O. (2014). Fermented Milk Products From Different Milk Types. *FNS*, 13(05), 1228-1233. <https://doi.org/10.4236/fns.2014.513133>.
43. Kapadiya, D. B., Prajapati, D. B., Jain, A., Mehta, B. M., Darji, V., Aparnathi, K. (2016). Comparison Of Surti Goat Milk With Cow and Buffalo Milk For Gross Composition,

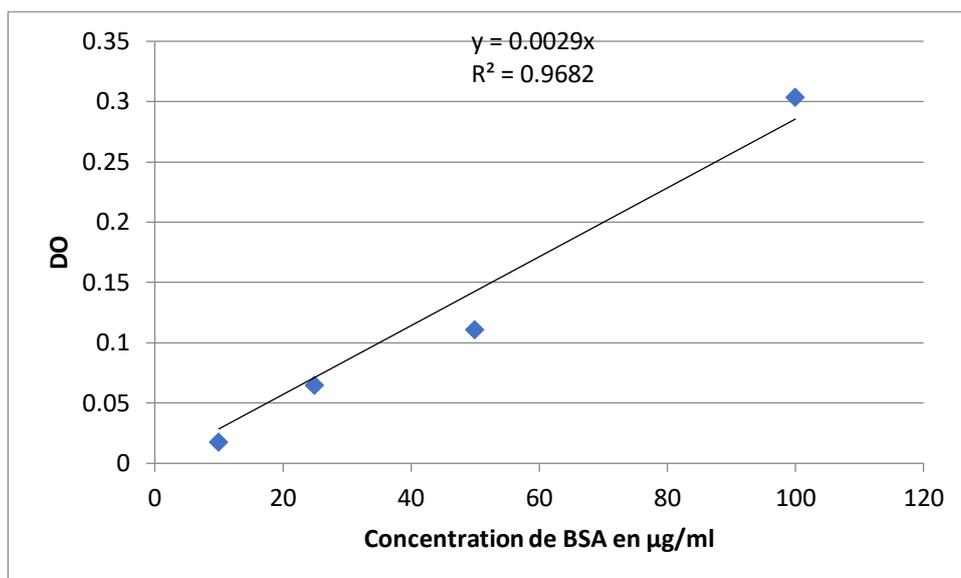
- Nitrogen Distribution, And Selected Minerals Content. *Vet World*, 7(9), 710-716. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.710-716>
44. Broderick, G. A., Radloff, W. (2004). Effect Of Molasses Supplementation On the Production Of Lactating Dairy Cows Fed Diets Based On Alfalfa And Corn Silage. *Journal of Dairy Science*, 9(87), 2997-3009. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(04\)73431-1](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(04)73431-1)
45. <https://doi.org/undefined>
46. PERE J.P., 1999- Techniques spectroscopiques en biochimie analytique. Centre Régionale de Documentation Pédagogique d'Aquitaine, 150p.
47. BANGOOD S., 1984- Chemical composition of major date cultivars grown in the United Arab Emirates. *Date Palm Journal*, 3: 381- 394.
48. Kundu, P., DhANKhAr, J., & ShArMA, A. (2018). Development of non dairy milk alternative using soymilk and almond milk. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 6(1), 203-210.
49. Mohamed, D., Hassan, A., Elmenawy, R., Ismail, M. (2022). Color Parameters and Rheological Properties Of Rayeb milk Made From cow milk And quinoa milk Mixture. 157-178, (5)16, *المجلة العربية للعلوم الزراعية*, <https://doi.org/10.21608/asajs.2022.262827>
50. Passillé, A., Marnet, P., Lapierre, H., Rushen, J. (2008). Effects Of Twice-daily Nursing On milk Ejection and milk Yield During Nursing And milking In Dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 4(91), 1416-1422. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0504>
51. Bobe, G., Lindberg, G., Freeman, A., Beitz, D. (2007). Short Communication: composition Of milk Protein and milk Fatty Acids Is Stable For cows Differing In Genetic Merit For milk Production. *Journal of Dairy Science*, 8(90), 3955-3960. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0099>

(Shui et Leong, 2006).

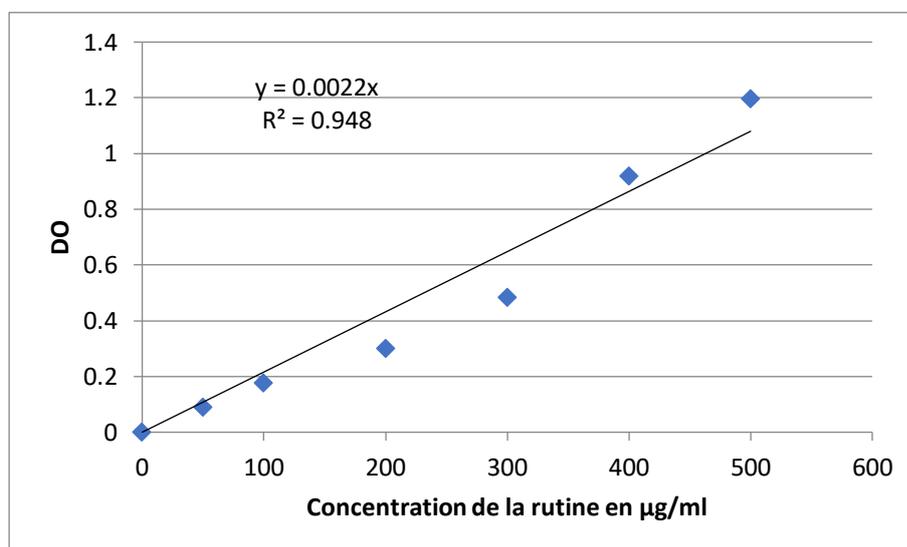
Hiaiet al. (1976) et modifié par Le et al. (2018)

Annexes

Teneur en métabolites primaires du lait de quinoa**Teneur des sucres totaux.****Figure 1: Courbe d'étalonnage du glucose****Teneur en amidon****Figure 2 : Courbe d'étalonnage de l'amidon**

Teneur en amidon**Figure 3 : histogramme d'étalonnage de sérum albumine bovine****Teneur en métabolites secondaires**

La courbe ci-dessous est la courbe d'étalonnage de la rutine elle montre les concentrations croissantes de la rutine en fonction de la densité optique

**Figure 4 : Courbe d'étalonnage de la rutine**

La courbe suivante est une fonction linéaire représentant l'étalonnage d'acide caféique, elle expose les concentrations en acide caféique en fonction de la densité optique

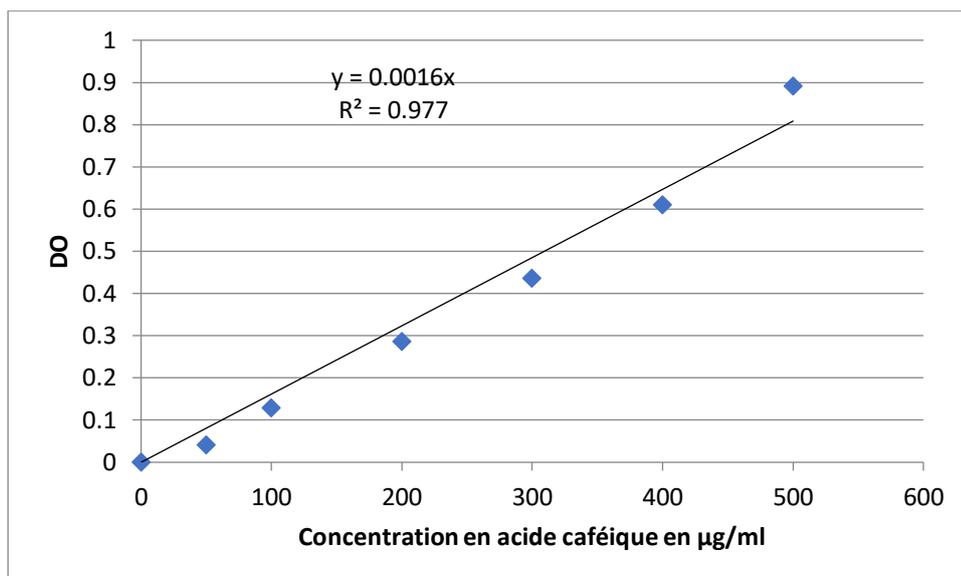


Figure 5 : Courbe d'étalonnage d'acide caféique

La prochaine courbe est une fonction linéaire représentant l'étalonnage d'asceine elle décrit les changements de concentrations d'asceine en fonction de la densité optique

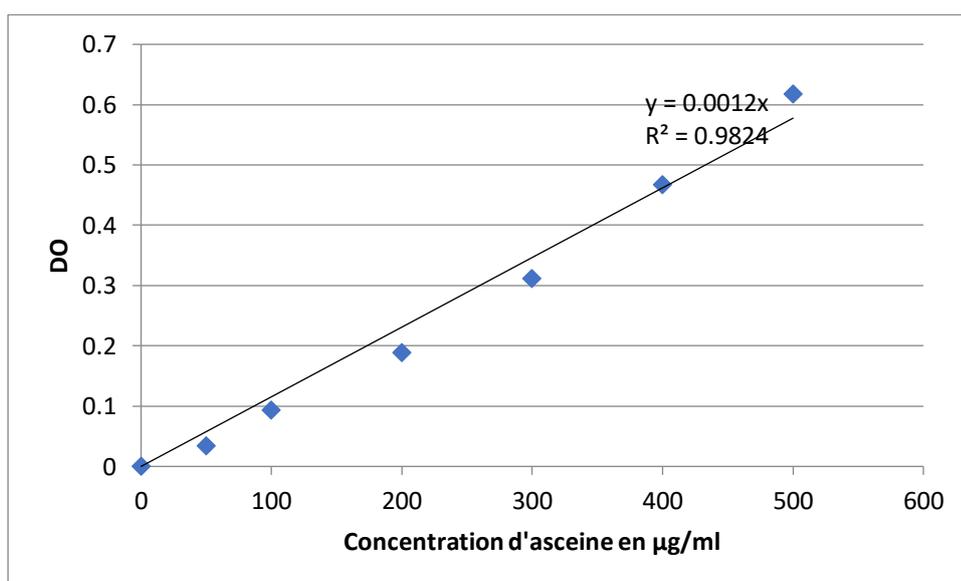


Figure 6 : Courbe d'étalonnage d'asceine

La courbe suivante représente l'étalonnage de l'acide gallique, elle démontre les concentrations de l'acide gallique en fonction de la densité optique.

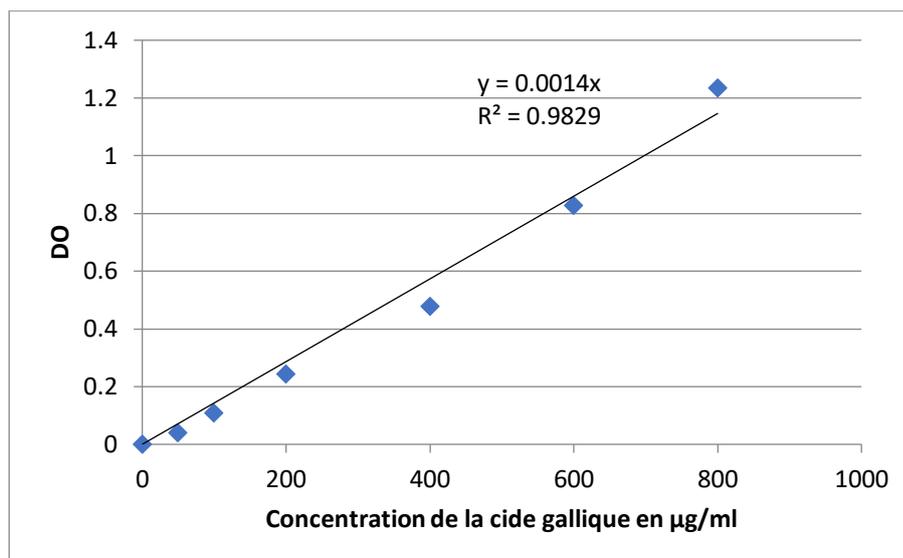


Figure 7 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique

Activité anti-oxydante

La courbe qui se suit est une fonction linéaire obtenue à partir de la mesure des concentrations d'acide gallique en fonction de pourcentage d'inhibition d'ABTS.

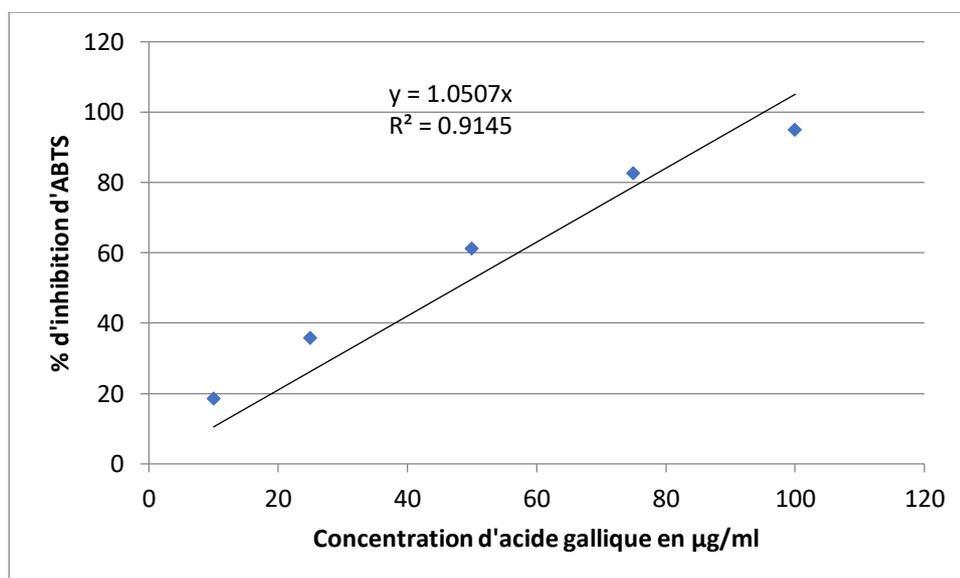
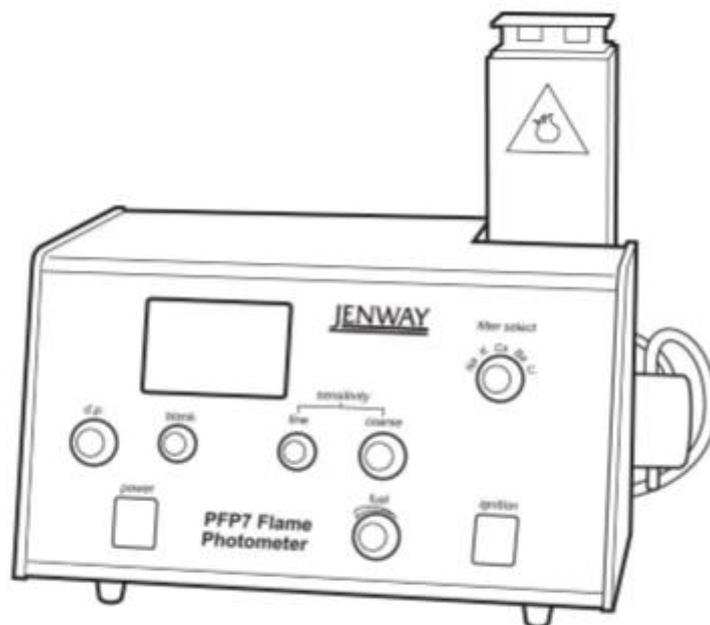


Figure 8 : Courbe d'étalonnage d'inhibition de radical cation ABTS par acide gallique



Flame Photometer
Models PFP7 and PFP7/C
Operating Manual

Résumé :

L'objectif de cette recherche est d'élucider l'importance de la nutrition végétale, en se penchant spécifiquement sur les laits végétaux, avec une attention particulière portée aux laits issus de la plante *Chenopodium quinoa* Willd. Notre étude se concentre sur l'analyse du processus de fabrication de ce lait, ainsi que sur la compréhension de sa composition et de sa valeur nutritionnelle par rapport à d'autres laits végétaux. Les expérimentations ont été menées au laboratoire de biologie de l'université KASDI MERBAH – OUARGLA.

Les résultats démontrent que le lait de quinoa affiche des concentrations particulièrement élevées en protéines, en sodium, en polyphénols et en flavonoïdes. La présence accrue de ces deux derniers confère au lait une activité antioxydante remarquable, en plus de sa composition riche en autres minéraux essentiels tels que le calcium, le potassium, le magnésium, et le chlore.

Mots clés : nutrition végétale -chenopodium quinoa willd -lait de quinoa- valeur nutritionnelle

Abstract

The objective of this research is to elucidate the importance of plant-based nutrition, specifically focusing on plant milks, with particular attention to milks derived from the *Chenopodium quinoa* Willd plant. Our study centers on analyzing the manufacturing process of this milk and understanding its composition and nutritional value compared to other plant milks. The experiments were conducted at the biology laboratory of KASDI MERBAH – OUARGLA University.

The results demonstrate that quinoa milk exhibits particularly high concentrations of proteins, sodium, polyphenols, and flavonoids. The increased presence of the latter two imparts remarkable antioxidant activity to the milk, in addition to its composition rich in other essential minerals such as calcium, potassium, magnesium, and chlorine.

Key words: plant-based nutrition -chenopodium quinoa willd -quinoa milk- nutritional value

ملخص

الهدف من هذا البحث هو توضيح أهمية التغذية النباتية، مركزًا بشكل خاص على حليب النبات، مع اهتمام خاص بأنواع الحليب المستمدة من نبات *Chenopodium quinoa* Willd. تركز دراستنا على تحليل عملية تصنيع هذا الحليب وفهم تركيبه وقيمه الغذائية بالمقارنة مع أنواع أخرى من حليب النبات. تمت التجارب في مختبر علم الأحياء في جامعة كاسدي مرباح - ورقلة.

تظهر النتائج أن حليب الكينوا يظهر تراكيزًا خاصة عالية من البروتينات والصوديوم والبوليفينولات والفلافونويدات. يمنح الوجود المتزايد للأخيرين نشاطًا مضافًا للأكسدة ملحوظًا للحليب، بالإضافة إلى تركيبه الغني بالمعادن الأساسية الأخرى مثل الكالسيوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم والكلور.

الكلمات المفتاحية : التغذية النباتية-الكينوا -حليب الكينوا-القيمة الغذائية