

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

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de
l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité/Option : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Département : Biologie

Thème :

Fabrication des pâtes alimentaires avec du Quinoa : Conception d'un aliment fonctionnel

Présenté par :

- BOUCHOUIT Djihene
- NOUAOURIA Ahlem

Devant le jury composé de :

Président :	BOUDALIA Sofiane	(Pr.)	Université de Guelma
Examineur :	BOUSBIA Aissam	(Pr.)	Université de Guelma
Encadreur :	GUEROUY Yassine	(Pr.)	Université de Guelma

Juin 2025

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons tout d'abord remercier Allah, le Tout-Puissant, pour la chance qu'Il nous a accordée, ainsi que pour toute la volonté, le courage, la force et l'énergie dont Il nous a gratifiés et qu'Il nous a données pour mener à bien ce travail.

Nous adressons nos plus sincères et profondes marques de gratitude et de reconnaissance à notre encadrant, Monsieur le Pr GUEROUI Yassine, pour les efforts continus qu'il a déployés dans le suivi de ce travail, pour ses orientations judicieuses, ses remarques précieuses, sa patience et son souci constant de nous accompagner tout au long de la préparation de ce mémoire. Nous le remercions également pour le temps qu'il nous a consacré afin de nous fournir les outils méthodologiques nécessaires à la réalisation de cette recherche. Nous lui exprimons nos plus vifs remerciements, notre profonde reconnaissance et notre haute considération. C'est un grand honneur pour nous que Dieu nous ait permis de travailler avec lui pour l'achèvement de ce mémoire.

Nous exprimons également notre profonde gratitude et notre sincère reconnaissance aux membres du jury, Monsieur le Pr. BOUSBIA Issam et Monsieur le Pr. BOUDALIA Sofiane, pour avoir aimablement accepté d'examiner ce travail, ainsi que pour leurs remarques scientifiques constructives qui ont contribué à l'amélioration de son

*contenu. Qu'ils trouvent ici l'expression de tout notre respect et de
notre considération.*

*Nous ne saurions oublier d'exprimer notre profonde reconnaissance à
toutes les personnes qui nous ont apporté leur soutien et leur aide, de
près ou de loin, tout au long de notre parcours universitaire.*

Résumé

Ces dernières années, le quinoa a suscité une attention accrue en raison de sa grande adaptabilité aux conditions environnementales difficiles, de ses valeurs nutritionnelles élevées et de sa grande préférence en tant qu'ingrédient des aliments sans gluten et fonctionnels. Cette étude présente une analyse comparative des caractéristiques physico-chimiques de deux types de farines de quinoa (blond et tricolore) ainsi que des pâtes alimentaires traditionnelles Trida qui en sont issues. Les résultats montrent que la farine de quinoa blond possède une granulométrie plus grossière, une clarté supérieure (L^*) et une teinte jaune plus marquée (b^*) par rapport à la farine tricolore. Le taux d'humidité, légèrement plus faible dans la farine blond (10.7 %) que dans la tricolore (11.3 %), reste dans la plage favorable à une bonne conservation. Les deux farines sont exemptes de gluten et présentent des teneurs en cendres proches (2.2 et 2.3%), témoignant d'une richesse minérale significative. Concernant les pâtes Trida, celles à base de quinoa blond se distinguent par une couleur plus claire et plus jaune, un taux d'humidité légèrement plus élevé (13.25 %), et un temps de cuisson optimal plus long (25 minutes contre 20 minutes pour le tricolore). L'absorption d'eau est également variable, avec une moyenne de 90.6 % pour le blond et 97.27 % pour le tricolore. Ces résultats mettent en évidence l'influence du type de quinoa sur les propriétés technologiques des farines et des pâtes, ce qui peut orienter leur utilisation dans des formulations alimentaires spécifiques, notamment sans gluten.

Mots clés : Quinoa, Farine de quinoa blond, Farine de quinoa tricolore, Pâtes Trida, Caractéristiques physico-chimiques, Sans gluten.

Abstract

In recent years, quinoa has attracted increasing attention due to its great adaptability to harsh environmental conditions, its high nutritional values and its great preference as an ingredient in gluten-free and functional foods. This study presents a comparative analysis of the physico-chemical characteristics of two types of quinoa flour (blonde and tricolor) and the traditional Trida pasta made from them. The results show that blonde quinoa flour has a greater particle size, a higher clarity (L^*) and a more marked yellow tint (b^*) compared to tricolor flour. Moisture content, slightly lower in the blonde flour (10.7%) than in the tricolor (11.3%), remains within the range favorable to good preservation. Both flours are gluten-free and have similar ash contents (2.2 and 2.3%), indicating significant mineral richness. In the case of Trida pasta, blonde quinoa has a lighter, more yellow color, a slightly higher moisture content (13.25%), and a longer optimal cooking time (25 minutes vs. 20 minutes for tricolor). Water absorption was also variable, with an average of 90.6 % for the blonde and 97.27 % for the tricolor. These results highlight the influence of quinoa type on the technological properties of flours and pasta, which may guide their use in specific food formulations, notably gluten-free.

Key words: Quinoa, blonde quinoa flour, Tricolor quinoa flour, Trida pasta, Physico-chemical Characteristics, Gluten-free.

ملخص

في السنوات الأخيرة، حظي الكينوا باهتمام متزايد نظرًا لقدرته العالية على التكيف مع الظروف البيئية القاسية، وقيمته الغذائية المرتفعة، وتفضيله الكبير كمكوّن في الأطعمة الوظيفية والخالية من الغلوتين. تقدم هذه الدراسة تحليلًا مقارنًا للخصائص الفيزيائية والكيميائية لنوعين من دقيق الكينوا (الأشقر والمختلط ثلاثي الألوان)، بالإضافة إلى المعكرونة التقليدية "تريدا" المصنوعة منهما. تُظهر النتائج أن دقيق الكينوا الأشقر يتميز بحجم حبيبات أكبر، ودرجة وضوح أعلى (*L)، ودرجة اصفرار أكبر (*b) مقارنة بالدقيق ثلاثي الألوان. ويُسجل محتوى الرطوبة بنسبة أقل قليلًا في الدقيق الأشقر (10.7%) مقارنة بالثلاثي (11.3%)، إلا أنهما يظلان ضمن النطاق المناسب للحفاظ الجيد على المنتج. وكلا النوعين من الدقيق خاليان من الغلوتين ويحتويان على نسب متقاربة من الرماد (2.2% و 2.3%)، مما يدل على غنى معدني ملحوظ. أما بالنسبة لمعكرونة "تريدا"، فتتميز المعكرونة المصنوعة من دقيق الكينوا الأشقر بلون أكثر صفاءً واصفرارًا، وبمحتوى رطوبي أعلى قليلًا (13.25%)، ووقت طهي مثالي أطول (25 دقيقة مقابل 20 دقيقة للكينوا الثلاثي). كما تختلف نسبة امتصاص الماء، حيث تسجل متوسطًا يبلغ 90.6% للأشقر و 97.27% للثلاثي. وتبرز هذه النتائج تأثير نوع الكينوا على الخصائص التكنولوجية لكل من الدقيق والمعكرونة، مما يمكن أن يوجه استخدامها في تركيبات غذائية محددة، خاصة تلك الخالية من الغلوتين.

كلمات مفتاحية: الكينوا، دقيق الكينوا الأشقر، دقيق الكينوا ثلاثي الألوان، معكرونة تريدا، الخصائص الفيزيائية والكيميائية، خالي من الغلوتين.

Liste des abréviations

FAO : Food and Agriculture Organization

ans : années

m : mètre

Cm : centimètre

Q : quinoa

T/ha : Tonnes par heure

KJ : kilojoule

Kcal : kilocalorie

g : gramme

mg : milligramme

% : pourcent

Kg : kilogramme

av. J.-C. : avant Jésus-Christ

C° : degré celsius

µm : micromètre

min : minute

L* : indice de clarté

a* : indice de brun

b* : indice de jaune

CIELAB : Commission Internationale de l'Éclairage - Luminance, axe a (vert-rouge), axe b (bleu-jaune)

AGRODIV : Agro Groupe Raffinage Organisation Développement Industrie Vivrière

TDS : total des solides dissous

l : Litre

PH : potentiel Hydrogène

CIE : Commission Internationale de l'Éclairage

AACC: American Association of Cereal Chemists

ml : millilitre

Tr/min : tours par minute

TC : taux de cendres

MTQ : masse totale de charge (%)

PI : poids initial de la coupelle vide (g)

PF : poids final de la coupelle contenant les résidus après incinération (g)

H : Teneur en eau de l'échantillon (%)

TOC : Temps optimal de cuisson

IG : Indice de gonflement

Mo : Moyenne

SD : standard Deviation (Écart-type)

RT : Résidu au Tamiseur

P : phosphore

K : potassium

Mg : magnésium

Ca : calcium

Fe : Fer

Zn : zinc

Liste des figures

Figure 1. Lac Titicaca, origine de Quinoa.	3
Figure 2. Distribution géographique de la culture traditionnelle de quinoa en Amérique du Sud.	5
Figure 3. Quinoa en champ paysan, province d’Achacachi-Bolivie	6
Figure 4. Système racinaire de Quinoa	7
Figure 5. Feuille du quinoa.	8
Figure 6. Grande fleur hermaphrodite sans sépales, montrant des anthères jaunes. Au centre, une petite fleur femelle aussi sans sépales, est visible.....	9
Figure 7. Structure du grain de Quinoa	10
Figure 8. Superficie récoltée (hectares, ha) et quantité produite (tonnes) de quinoa dans le monde (1961–2019).....	14
Figure 9. Schéma des procédés de production de pâtes traditionnels et modernes.	20
Figure 10. Graines de quinoa blond et tricolore	27
Figure 11. Tri manuel des graines de quinoa.	28
Figure 12. Lavage et humidification du quinoa.	28
Figure 13. Séchage des graines de quinoa.	29
Figure 14. Broyage des graines de quinoa.....	29
Figure 15. Tamisage de la poudre du quinoa.	30
Figure 16. Conservation de la farine de quinoa.	30
Figure 17. Diagramme de fabrication de la pâte traditionnelle Trida à base de farine de quinoa.	33
Figure 18. Mise en forme et séchage de la pâte Trida.	34
Figure 19. Test de cuisson de la pâte Trida à base de quinoa blond.	43
Figure 20. Test de cuisson de la pâte Trida à base de quinoa tricolore.....	44

Liste des tableaux

Tableau 1. Classification scientifique de Quinoa.	6
Tableau 2. Valeur nutritionnelle de quinoa pour 100 g.....	12
Tableau 3. Valeur nutritionnelle du quinoa comparée au blé (g/100g de matière sèche).	13
Tableau 4. Apport énergétique de 100g de pâte sèche a la semoule de blé dur.....	26
Tableau 5. Résultats des analyses de la granulométrie de la farine de quinoa.	37
Tableau 6. Résultats des analyses du taux d'humidité de la farine de quinoa.	38
Tableau 7. Résultats des analyses de la couleur de la farine de quinoa.	38
Tableau 8. Résultats des analyses du taux de cendres de la farine de quinoa.	39
Tableau 9. Résultats des analyses du taux d'humidité de la pâte Trida.....	41
Tableau 10. Résultats des analyses de la couleur de la pâte Trida.	41
Tableau 11. Résultats des analyses du taux de cendres de la pâte Trida.	42
Tableau 12. Résultats des analyses de l'indice d'absorption d'eau de la pâte Trida.	45
Tableau 13. Résultats des analyses de de gonflement de la pâte Trida.	46

Table des Matières

Table des matières

Résumé

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Table des matières

Introduction 1

Partie I : Synthèse Bibliographique

Chapitre 1 : Généralités sur le Quinoa

1. Origine et historique	3
2. Distribution géographique	4
3. Botanique systématique	5
3.1 Classification scientifique	5
3.2 Classification morphologique	5
4. Description botanique	6
4.1. Plante.....	6
4.2. Racines	7
4.3. Tiges	7
4.4. Feuilles	7
4.5. Ramifications.....	8
4.6. Fleurs.....	8
4.7. Fruit.....	9
4.8. Graines	9
5. Différentes variétés de quinoa.....	10
5.1. Au monde	10
5.2. En Algérie.....	11
6. Valeur nutritionnelle du quinoa.....	12
7. Importance économique du quinoa	13
8. Usages du quinoa.....	14

Chapitre 2 : Pâtes alimentaires

1. Origine.....	17
2. Typologie des pâtes alimentaires.....	17
3. Composition des pâtes alimentaires	18

4. Fabrication des pâtes alimentaires	19
4.1. Production industrielle de pâtes	19
4.1.1. Hydratation et pétrissage.....	19
4.1.2. Façonnage ou formation	20
4.1.3. Séchage.....	21
4.1.4. Conditionnement.....	22
4.2. Production artisanale de pâtes (en Algérie)	22
4.3. Pâte de quinoa.....	23
5. Critères de qualité des pâtes alimentaires.....	24
5.1. Qualité organoleptique.....	24
5.2. Qualité culinaire	25
5.3. Qualité nutritionnelle	26

Partie II : Partie Expérimentale

Chapitre 3 : Matériels et Méthode

1. Matières premières	27
1.1. Graines de quinoa	27
1.2. Eau de fabrication	27
2. Préparation de la farine de quinoa.....	28
3. Analyse physicochimique de la farine de quinoa	30
3.1. Mesure de la granulométrie	30
3.2. Détermination de taux d'humidité (la teneur en eau)	31
3.3. Détermination de la couleur.....	31
3.4. Indice de gluten	32
3.5. Détermination du taux de cendres.....	32
4. Fabrication de la pâte alimentaire traditionnelle « Trida »	32
4.1. Hydratation et malaxage	33
4.2. Pétrissage.....	34
4.3. Laminage.....	34
4.4. Séchage.....	34
5. Appréciation de la qualité de la pâte « Trida »	35
5.1. Évaluation de la qualité des pâtes sèches	35
5.1.1. Taux d'humidité.....	35
5.1.2. Couleur.....	35
5.1.3. Taux de cendres	35
5.2. Qualité culinaire des pâtes « Trida »	35

5.2.1. Temps optimal de cuisson (TOC).....	35
5.2.2. Indice d'absorption d'eau	35
5.2.3. Indice de gonflement	35
5.2.4. Consistance de la pâte.....	36

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

1. Caractéristiques physico-chimiques de la farine de quinoa	37
1.1. Granulométrie.....	37
1.2. Taux d'humidité.....	38
1.3. Couleur	38
1.4. Indice de gluten	39
1.5. Taux de cendres	39
2. Caractéristiques physico-chimiques de la pâte alimentaire traditionnelle Trida	40
2.1. Taux d'humidité.....	40
2.2. Couleur	41
2.3. Taux de cendres	42
2.4. Temps optimal de cuisson (TOC).....	43
2.5. Indice d'absorption d'eau	44
2.6. Indice de gonflement	45
2.7. Consistance de la pate.....	46
Conclusion.....	47
Références Bibliographiques.....	48

Introduction

Introduction

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) est une plante comestible, traditionnellement cultivée dans les régions andines d'Amérique du Sud, notamment au Chili, au Pérou, en Équateur et en Bolivie ([Mohamed Ahmed et al., 2021](#)). C'est une pseudo-céréale qui a gagné en popularité ces dernières années dans l'alimentation humaine, en raison de sa richesse nutritionnelle et de ses propriétés bénéfiques remarquables ([Xu et al., 2019](#)). Le quinoa, dont la couleur varie du blanc au rouge, voire du violet au noir, représente un ingrédient de choix dans le développement d'aliments fonctionnels. Cette aptitude est liée à ses propriétés fonctionnelles et rhéologiques, à ses qualités sensorielles, ainsi qu'à son profil nutritionnel exceptionnel. Il a suscité un intérêt croissant en raison de sa richesse en nutriments et de sa remarquable capacité à s'adapter à des conditions de culture difficiles. Il est reconnu comme une source complète de protéines végétales et de glucides complexes, tout en étant riche en huiles et minéraux de haute qualité, en vitamines variées, en acides gras polyinsaturés, en composés bioactifs et en fibres alimentaires ([James, 2009](#); [Jancurová et al., 2009](#)).

Les pâtes, produit traditionnel italien principalement élaboré à partir de blé dur, sont largement reconnues à l'échelle mondiale pour leur polyvalence culinaire, la richesse en glucides complexes, le profil sensoriel agréable, le coût abordable, une longue durée de conservation, ainsi que la facilité de préparation ([Rani et al., 2019](#)). Ces produits sont obtenus par le mélange de farine de blé tendre ou de semoule de blé dur avec de l'eau potable, suivi d'un pétrissage, d'un façonnage selon la forme souhaitée, puis d'un séchage contrôlé ([Diantom et al., 2019](#)). Malgré ses nombreuses propriétés, le blé contient du gluten, une protéine responsable des caractéristiques technologiques de la pâte, influençant directement la texture, la qualité de cuisson et de développement structural lors de la transformation des pâtes ([Demir and Bilgiçli, 2021](#)). Cependant, une augmentation notable de certains troubles digestifs dans la population est observée, notamment l'intolérance au gluten. Cette tendance a conduit à une demande croissante en produits alimentaires différenciés, adaptés aux personnes sensibles au gluten, et a stimulé le développement d'un segment spécifique du marché ([Leonard et al., 2017](#)).

Les pâtes sans gluten suscitent un intérêt croissant, en grande partie en raison de leur potentiel fonctionnel. En effet, les farines conventionnellement utilisées dans ces formulations présentent souvent une faible teneur en protéines et en composés bioactifs. Par conséquent, obtenir des produits nutritifs et optimaux aux yeux du consommateur, avec une qualité boulangère similaire à celle des pâtes traditionnelles, représente un défi majeur ([Itusaca-Maldonado et al., 2024](#)). Plusieurs études ont utilisé des mélanges de farines alternatives pour améliorer la valeur nutritionnelle des pâtes sans gluten, telles que les farines d'amarante et de sarrasin ([Schoenlechner et al., 2010](#)), le marc de millet ([Gull et al., 2018](#)), le soja dégraissé, le

quinoa complet, le seigle complet, l'avoine complète, l'orge et le riz complets ([Kamali Rousta et al., 2021](#)), la farine de quinoa, la zéine ([Lorenzo et al., 2018](#)), le soja, le sorgho, ainsi que la farine multicéréales ([Rani et al., 2019](#)). À cet égard, l'utilisation du quinoa en alimentation humaine a été reconnue par la FAO comme une culture vivrière importante, dont les graines sont une source de protéines hautement nutritive, particulièrement riches en acides aminés essentiels, comme la lysine et la méthionine ([FAO, 2013](#)).

L'objectif de cette étude est donc fabriquer des pâtes traditionnelles type Trida par substitution totale de la farine de blé par de la farine de quinoa afin d'évaluer son effet sur les caractéristiques physico-chimiques. Par ailleurs, notre étude se structure en deux parties principales :

- Une partie bibliographique consacrée à une synthèse bibliographique regroupant un ensemble d'informations générales sur le quinoa et les pâtes alimentaires.
- Une partie expérimentale expose les différentes approches méthodologiques et résultats de la caractérisation physicochimique de la farine de deux types de quinoa à savoir le quinoa blond et le quinoa tricolore utilisés pour la fabrication des pâtes Trida qui seront ensuite analysées.

Partie I : Synthèse Bibliographique

***Chapitre 1 :
Généralités sur
le Quinoa***

Chapitre 1 : Généralités sur le Quinoa

1. Origine et historique

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) a été décrit pour la première fois en 1778 par le botaniste Allemand Willdenow. Issu d'Amérique du Sud, le quinoa est originaire de la région des Andes. Le quinoa cultivé le plus ancien a été découvert sur les rives du lac Titicaca, datant de 5 000 ans. Il constituait une source alimentaire de base pour les peuples précolombiens, auxquels il était parfois appelé la « graine des Incas » (**Fig. 1**) ([Galwey et al., 1989](#); [Singh, 2019](#)).

Le quinoa a été cultivé et consommé pendant des siècles par les populations paysannes indigènes de Colombie, Équateur, Pérou, Bolivie et Chili. Après la conquête de la région par les Espagnols en 1532, des cultures telles que la pomme de terre, les haricots, l'avoine et le quinoa, échangées par l'orge sont reléguées au second plan ([Gandarillas, 1979](#); [Galwey, 1995](#); [Bhargava et al., 2006](#)). Reconnaisant de ses qualités nutritives et agricoles remarquables, les Incas le nommaient « Chisiyamam » en Quechua, ce qui signifie « mère de toutes les graines » ([Risi and Galwey, 1984](#)). Le quinoa est connu sous plusieurs noms courants dans les Andes, qui varient selon la langue ou la région, tels que :

- « Quinoa », « Kiuna », « Parca » en Équateur, Pérou et Bolivie ;
- « Supha », « Jopa », « Jupha », « Jiura », « Aara », « Callapi », « Vocali » en Bolivie ;
- « Quinhua » au Chili ;
- « Suba », « Pasca » en Colombie ([Valencia-Chamorro, 2004](#)).



Figure 1. Lac Titicaca, origine de Quinoa ([Apaza et al., 2015](#)).

2. Distribution géographique

L'expansion spatiale et temporelle du quinoa dans le monde s'est faite en plusieurs étapes ([Maamri et al., 2022](#)). Au cours de la phase 1 (avant les années 1900), le quinoa était limité aux pays andins (Colombie, Équateur, Pérou, Bolivie, Argentine et Chili) (**Fig. 2**). Il était considéré comme une culture vivrière locale et un aliment de base pour les populations andines ([Alandia et al., 2020](#)). Au cours de la phase 2 (entre 1901 et 1969), le quinoa a été importé en Afrique à titre expérimental. Le premier essai connu en dehors des Andes a eu lieu en 1935 au Kenya, et d'autres essais sur la réponse du quinoa aux carences en nutriments et la tolérance aux stress abiotiques (salinité et température) ont été menés entre 1950 et 1968 ([Bazile et al., 2016](#)). Au cours de la phase 3 (entre 1970 et 1989), le quinoa a été introduit sur les continents septentrionaux, en Amérique du Nord (Colorado (États-Unis), en Europe (Angleterre, Danemark et Pays-Bas et en Asie (Inde et Chine) ([Bhargava and Ohri, 2013](#); [Bazile et al., 2016](#)). À la fin des années 1980, le quinoa était présent dans 11 pays en dehors des Andes. Durant la phase 4 (entre 1990 et 2012), le quinoa s'est répandu dans 30 nouveaux pays, propulsé par le projet « American and European Test of Quinoa » entre 1996 et 1998, qui a donné naissance à la première variété (Atlas) et aux premiers cultivars (Carmen) en Europe ([Bazile et al., 2015](#); [Alandia et al., 2020](#)). En 2012, le quinoa est apparu dans quelques pays de la région méditerranéenne. Dans la phase 5 (entre 2013 et 2018), suite à la déclaration de l'Année internationale du quinoa en 2013, il a été testé dans 76 pays : 31 en Afrique, 24 en Asie et 15 en Europe. Un projet régional de la FAO intitulé « Assistance technique pour le renforcement du système alimentaire associé au quinoa » a également été lancé en 2013-2015, mettant en œuvre la distribution d'accessions de quinoa entre les institutions de recherche nationales de huit pays d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient (Algérie, Égypte, Irak, Iran, Liban, Mauritanie, Soudan et Yémen) afin d'évaluer ces géotypes dans des conditions semi-arides et arides ([Bazile et al., 2016](#); [Alandia et al., 2020](#)).

L'Algérie est l'un des pays qui a bénéficié de l'expansion du quinoa grâce à l'expertise scientifique et technique fournie par la FAO pour évaluer le comportement de cette culture lors de sa première introduction dans le pays en 2013-2014. Au cours de cette première expérience, huit sites d'essai ont été choisis pour représenter les différentes régions agro-écologiques du pays. Il s'agit de Baïnem (Alger), Sétif, Tiaret, Relizane, Guelma, Biskra, El Oued et Adrar ([Maamri et al., 2022](#)).



Figure 2. Distribution géographique de la culture traditionnelle de quinoa en Amérique du Sud ([Del Castillo et al., 2008](#)).

3. Botanique systématique

3.1 Classification scientifique

Le quinoa (*Chenopodium quinoa*) est une plante dicotylédone appartenant à la famille des Chénopodiacées, qui inclut également les épinards et la betterave. Il fait partie du genre *Chenopodium*, qui comprend environ 250 espèces. Environ 1800 variétés de quinoa sont connues (**Tab. 1**) ([Foucault et al., 2014](#)).

3.2 Classification morphologique

Selon [Herbillon \(2015\)](#), les premières classifications du quinoa se basaient sur la couleur de la plante et les graines, et parfois même sur la forme du fruit ou le goût des grains. L'une des premières classifications connues remonte à 1917, réalisée à partir d'échantillons prélevés sur l'Altiplano bolivien. À cette époque, quatre espèces de quinoa avaient été identifiées :

- *Chenopodium album*, caractérisé par ses grains au goût sucré ;
- *Chenopodium pallidus*, connu pour ses grains amers ;
- *Chenopodium ruber*, présentant des grains rouges ;
- *Chenopodium niger*, avec des grains noirs ([Tapia, 1979](#)).

Par la suite, les caractéristiques morphologiques ont été privilégiées conformément aux normes taxonomiques. Malgré la grande variation morphologique observée, les botanistes ayant étudié la taxonomie du quinoa ont convenu qu'il pouvait être considéré comme une espèce unique appartenant au genre *Chenopodium* ([Tapia, 1979](#)).

Tableau 1. Classification scientifique de Quinoa ([Herbillon, 2015](#)).

Règne	Plantae
Sous-embranchement	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Groupe	Thalamiflorae
Sous-classe	Caryophyllidae
Ordre	Caryophyllales
Famille	Amaranthaceae (anciennement Chenopodiaceae)
Genre	<i>Chenopodium</i>
Espèce	<i>Chenopodium quinoa</i>
Nom binomial	
<i>Chenopodium quinoa</i> Willd, 1798	

4. Description botanique

4.1. Plante

La plante est érigée et atteint des hauteurs variant de 0.6 m à 3 m, en fonction du type de quinoa, des génotypes, de la fertilité du sol et des conditions environnementales dans lesquelles elle pousse (**Fig. 3**) ([Apaza et al., 2015](#)).



Figure 3. Quinoa en champ paysan, province d'Achacachi-Bolivie ([Del Castillo et al., 2008](#)).

4.2. Racines

Le quinoa développe un système racinaire robuste et bien structuré, caractérisé par une racine pivotante profonde et largement ramifiée, lui assurant une grande résistance à la sécheresse et une bonne stabilité. La croissance des racines est étroitement corrélée à celle de la partie aérienne. Ainsi, une plante de 1.70 m de hauteur possède des racines de 1.5 m de long, tandis qu'une plante de 90 cm développe des racines atteignant 80 cm. Dès la germination, la radicule est la première à se développer, formant la racine principale, qui peut plonger jusqu'à 1.80 m de profondeur en conditions de sécheresse, renforçant la capacité du quinoa à survivre en milieux difficiles. La profondeur du système racinaire reflète donc l'adaptation de la plante à son environnement ([Del Castillo et al., 2008](#); [Herbillon, 2015](#)).



Figure 4. Système racinaire de Quinoa ([Gandarillas, 1979](#); [Herbillon, 2015](#)).

4.3. Tiges

La tige est de forme cylindrique, avec un diamètre variant entre 3 et 5 cm, et une hauteur allant de 50 cm à 2 mètres en fonction des variétés et des conditions de culture. Elle peut être simple ou ramifiée. Chez les jeunes plantes, la tige est tendre, mais elle devient spongieuse et creuse à maturité, entourée d'une écorce dure et compacte. Sa couleur est également variable, allant du blanc au jaune, en passant par le brun clair et le rouge ([Bastidas et al., 2016](#)).

4.4. Feuilles

Les feuilles d'une même plante de quinoa présentent une grande polymorphie. Les feuilles basales, généralement de grande taille, adoptent des formes rhomboïdales ou triangulaires. Les

feuilles alternes, quant à elles, possèdent un limbe en losange, en triangle ou lancéolé, pouvant être plat ou ondulé, charnu et tendre. Leurs bords sont dentelés, pouvant comporter jusqu'à 43 dents (**Fig. 5**). La couleur des feuilles varie du vert au rouge, avec des nuances de jaune et de violet, en fonction de la nature et de la concentration des pigments présents ([Del Castillo et al., 2008](#)).

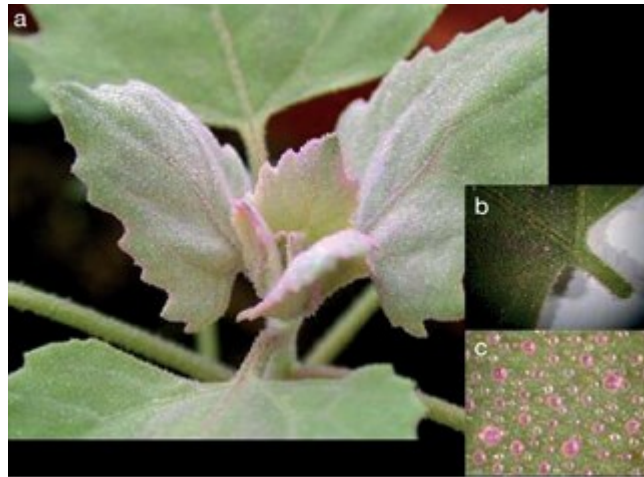


Figure 5. Feuille du quinoa ([Del Castillo et al., 2008](#)).

4.5. Ramifications

Les branches du quinoa se développent à l'aisselle de chaque feuille le long de la tige, avec une longueur qui varie selon la variété et les conditions environnementales, allant de quelques centimètres jusqu'à atteindre celle de la tige principale. Certains génotypes, comme le quinoa des vallées, présentent une forte ramification, tandis que d'autres, tels que le quinoa des hautes plaines, possèdent une tige unique. Il existe également des formes intermédiaires. Sur le plan commercial, une forte ramification est considérée comme défavorable pour la production de graines. Ainsi, dans les cultures intensives, une densité de semis élevée est privilégiée pour limiter le développement des branches et maximiser le rendement ([Mujica et al., 2001](#); [Del Castillo et al., 2008](#)).

4.6. Fleurs

Tous les membres de la famille des Chénopodiacées, y compris le genre *Chenopodium*, présentent des fleurs incomplètes, sessiles et dépourvues de pétales ([Jacobsen and Stølen, 1993](#)).

Une caractéristique importante du quinoa est la présence de fleurs femelles unisexuées situées à l'extrémité distale d'un groupe, tandis que les fleurs hermaphrodites sont localisées à l'extrémité proximale (**Fig. 6**) ([Valencia-Chamorro, 2003](#)).



Figure 6. Grande fleur hermaphrodite sans sépales, montrant des anthères jaunes. Au centre, une petite fleur femelle aussi sans sépales, est visible ([Peterson et al., 2015](#)).

4.7. Fruit

C'est un akène de forme cylindrique-lenticulaire, avec un léger élargissement au centre. Il est constitué du péricarpe qui enveloppe complètement la graine et en contient une seule. Sa couleur est variable et il se détache facilement à maturité ([Apaza et al., 2013](#)).

4.8. Graines

Ce sont les parties comestibles de la plante, de forme conique, cylindrique ou ellipsoïde, recouvertes de saponine amère éliminée par lavage. Les graines comprennent trois parties bien définies : l'épisperme, l'embryon et le périsperme. L'embryon périphérique entoure le périsperme central (tissu de réserve) et est recouvert par le péricarpe ainsi que deux couches tégumentaires ([Prego et al., 1998](#); [Del Castillo et al., 2008](#)).

Les graines, lisses ou finement velues, varient du blanc au noir selon la variété. Le péricarpe du quinoa contient des saponines à goût amer, et le périsperme constitue le principal tissu de stockage (**Fig. 7**) ([Valcárcel-Yamani and Lannes, 2012](#); [Lim, 2013](#)).

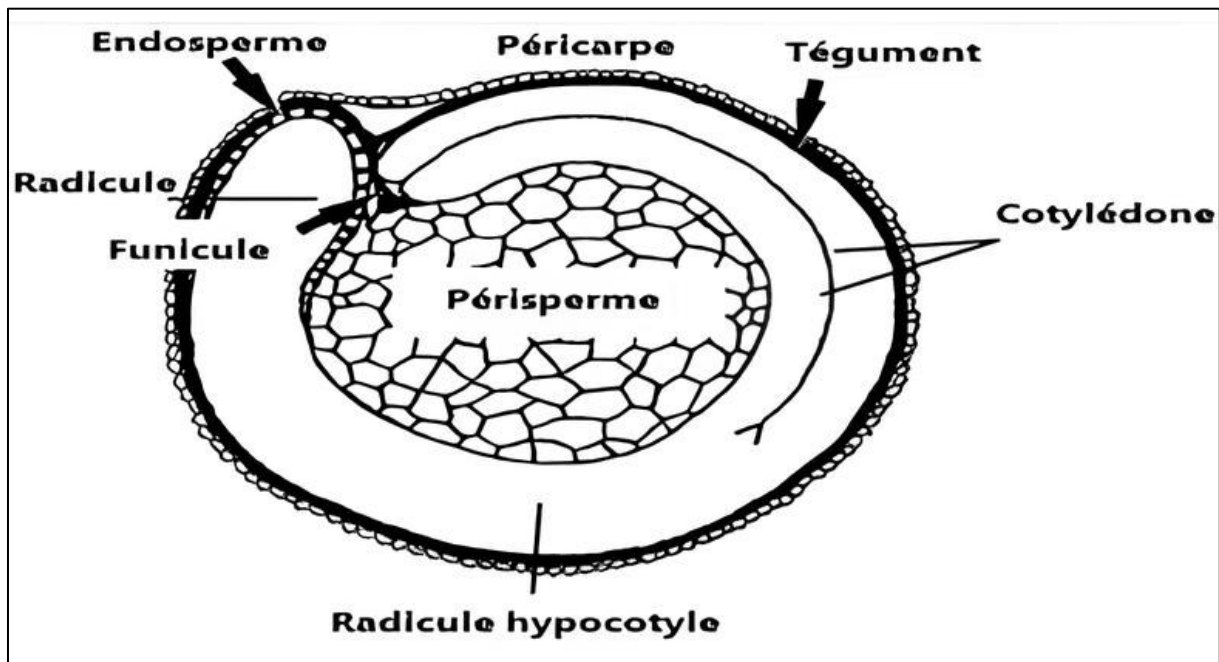


Figure 7. Structure du grain de Quinoa ([Valcárcel-Yamani and Lannes, 2012](#)).

5. Différentes variétés de quinoa

5.1. Au monde

Le quinoa a été domestiqué dans les Andes il y a environ 6 400 à 7 800 ans. Aujourd'hui, il est cultivé dans plus de 50 pays à travers le monde. Les variétés de quinoa existantes dans le monde varient et diffèrent selon les régions géographiques et les différences génétiques entre les variétés de quinoa ([Gandarillas, 1979](#); [Brack Egg, 2003](#)). La classification du quinoa a d'abord été établie à partir de la couleur de la plante et des fruits. Par la suite, elle s'est basée sur les types morphologiques de la plante. Malgré la grande variation observée, le quinoa est considéré comme une seule espèce. Pour des raisons pratiques, le quinoa, comme le maïs, a été classé comme une race. Le quinoa récolté en Équateur, au Pérou et en Bolivie a été classé en 17 races, mais il pourrait en exister d'autres. Selon les régions géographiques, ils existent :

5.1.1. Quinoa des hautes terres (Altiplano Quinoa)

Cultivé dans les hautes montagnes entre 3 000 et 4 000 mètres autour du lac Titicaca à la frontière de Bolivie, au Pérou et en Équateur. Ce type de Quinoa résiste au froid intense, au gel et à la sécheresse. Il présente une variété de couleurs telles que le blanc, le rouge, le noir et le violet ([Gandarillas, 1979](#); [Tapia, 1979](#); [Jacobsen and Stølen, 1993](#)).

5.1.2. Quinoa des vallées (Inter-Andean Valley Quinoa)

Cultivé dans les vallées andines à des altitudes comprises entre 2 000 et 3 000 mètres en Colombie, Équateur, Pérou et en Bolivie. Il est moins résistant au gel, mais bien adapté à la sécheresse ([Mujica et al., 2001](#)).

5.1.3. Quinoa des plaines côtières (Coastal Quinoa)

Cultivé dans les régions côtières du Chili et dans certaines parties de l'Amérique du Sud. Cette variété est adaptée aux climats chauds et humides ([Jacobsen and Stølen, 1993](#); [Jacobsen, 1997](#)).

5.1.4. Quinoa des Salares

Cultivé dans les salines de Bolivie (près du Salar d'Uyuni), du Chili et du nord-est de l'Argentine, situés à près de 3 000 mètres d'altitude. Ce type de quinoa possède une grande tolérance à la salinité ([Hinojosa et al., 2018](#)).

5.1.5. Quinoa tropical (Tropical Quinoa ou Yungas)

Ce type est cultivé dans les vallées humides de basse altitude de Bolivie dans la région des Yungas ([Mujica et al., 2001](#)). Il résiste à des températures élevées et à une forte humidité ([Bertero et al., 1999](#)).

Selon les différences génétiques entre les variétés de quinoa :

5.1.5. Couleurs et caractéristiques externes

Le quinoa présente une grande variété de couleurs, y compris le blanc, le rouge, le rose, le violet, le jaune, le brun et le noir ([Wilson, 1988](#)).

5.1.6 Taille des graines

Les tailles des graines varient selon les variétés, certaines ayant des graines très petites, tandis que les variétés commercialement améliorées ont des graines plus grandes ([Tapia, 1979](#); [Izquierdo Fernández, 2001](#)).

5.1.7. Taux de saponines dans la coque :

Certaines variétés de quinoa contiennent des niveaux élevés de saponine, un composé qui donne au quinoa son goût amer ([Chauhan et al., 1992](#)).

5.2. En Algérie

La culture du quinoa en Algérie a débuté en 2014 grâce à un projet avec la FAO, qui a mené des essais sur huit sites représentant diverses zones agro-écologiques : Baïnem, Sétif, Tiaret, Relizane, Guelma, Biskra, El Oued et Adrar. Seize variétés de quinoa (Q21, Q12, Q29, Q18, Q26, Q22, Q27, Giza1, Giza2, *Sajama*, *Santamaria*, *Amarilla Marangani*, *Amarilla Sacaca*, *Blanca de Junin*, *Kancolla* et *Salcedo Inea*) ont été évaluées en conditions arides et semi-arides afin d'analyser leur croissance et identifier les plus adaptées au climat local. Les essais ont débuté à l'automne 2014 sur sept sites (Baïnem, Sétif, Tiaret, Biskra, El Oued, Adrar et Relizane), puis se sont poursuivis au printemps 2015 à Guelma et Relizane. Les rendements

obtenus ont oscillé environ 2,62 t/ha. Malgré des résultats prometteurs sur certains sites, la culture du quinoa en Algérie en est encore à ses débuts et doit surmonter plusieurs défis avant une adoption à grande échelle. Des recherches sont en cours pour sélectionner les variétés les mieux adaptées et évaluer les effets du stress salin sur leur croissance ([Maamri et al., 2022](#)).

6. Valeur nutritionnelle du quinoa

Les graines de quinoa sont compactes, faciles à digérer et riches en protéines, fibres, minéraux tels que : (le fer et le magnésium...), ainsi qu'en vitamines (**Tab. 2**). Par rapport aux céréales traditionnelles, le quinoa contient un pourcentage plus élevé de protéines et présente un meilleur équilibre en acides aminés (**Tab. 3**) ([Zurita-Silva et al., 2014](#)).

Tableau 2. Valeur nutritionnelle de quinoa pour 100 g ([Bazile et al., 2015](#)).

Apport énergétique	
Joules	1544 KJ
Calories	368 <i>kcal</i> s
Principaux composants	
Eau	13.28 g
Fibres alimentaires	7.0 g
Glucides	64.16 g
Lipides	6.07 g
Oméga-3	200 mg
Oméga-6	2430 mg
Oméga-9	1300 mg
Protéines	14.12 g
Tryptophan	0.167 g
Threonine	0.421 g
Isoleucine	0.504 g
Leucine	0.840 g
Lysine	0.766 g
Cendres	2.7 g
Fer	8.0 mg
Magnésium	275 mg
Manganèse	2.8 mg
Phosphore	328 mg
Potassium	804 mg
Sodium	9.6 mg
Zinc	5.5 mg
Bore	0.8 mg
Calcium	80 mg
Chlore	105 mg
Cobalt	0.0031 mg
Cuivre	0.787 mg
Vitamine B1 (Thiamine)	0.170 mg
Vitamine B3 (Niacin)	0.45 mg
Vitamine B6 (pyridoxine)	0.487 mg
Vitamine E	4 mg

Le quinoa présente un équilibre parfait entre les graisses (variant de 4 à 9 %), les protéines (environ 16 % en moyenne, avec des niveaux élevés d'acides aminés essentiels), et les glucides (64%). Le quinoa est une source riche en antioxydants naturels. Les graines de quinoa sont entièrement exemptes de gluten, ce qui en fait une option idéale et privilégiée, en particulier pour les personnes souffrant d'une sensibilité au gluten ([Izquierdo Fernández, 2001](#); [Bhargava et al., 2006](#); [Vega-Gálvez et al., 2010](#); [Stikic et al., 2012](#)).

Tableau 3. Valeur nutritionnelle du quinoa comparée au blé (g/100g de matière sèche) ([Tapia, 1997](#)).

Composant	Blé	Quinoa
Protéines	12.5	11.0 – 21.3
Lipides	2 - 3	5.3 – 8.4
Glucides	67 – 71	53.5 - 74.3
Fibres	2 - 4	2.1 – 4.9
Cendres	1.5 – 2.5	3.0 – 3.6
Humidité	14.5	9.4 – 13.4

7. Importance économique du quinoa

Outre son potentiel nutritionnel et sanitaire élevé, le quinoa présente une grande tolérance aux conditions environnementales difficiles, ce qui en fait une culture vivrière adaptée aux sols agricoles arides, salins, infertiles et de haute altitude ([Ahmadzai, 2020](#)).

Ces dernières décennies, la forte demande d'aliments nutritifs, sains et sans gluten, ainsi que la capacité d'adaptation unique du quinoa aux conditions environnementales difficiles, ont entraîné une forte expansion de la production, du commerce et de la consommation de quinoa dans le monde entier ([Choukr-Allah et al., 2016](#); [Jacobsen, 2017](#)).

En conséquence, la production mondiale de quinoa est passée de 32 435 tonnes en 1961 à 161 415 tonnes en 2019, et la superficie cultivée est également passée de 52 555 hectares en 1961 à 184 585 hectares en 2019 (**Fig. 8**) ([FAO, 2021](#)). La production de quinoa a connu une hausse significative, atteignant son maximum en 2015, grâce à l'augmentation substantielle du nombre de pays producteurs, qui est passé de 8 en 1980 à 95 en 2015. Ainsi, La Bolivie et le Pérou sont les plus grands exportateurs avec 88 % de la production mondiale. La production et le nombre de producteurs de quinoa continueront d'augmenter dans un avenir proche, en raison de la croissance démographique et de la demande croissante d'aliments nutritifs, sains et sans gluten ([Jancurová et al., 2009](#); [Mohamed Ahmed et al., 2021](#)).

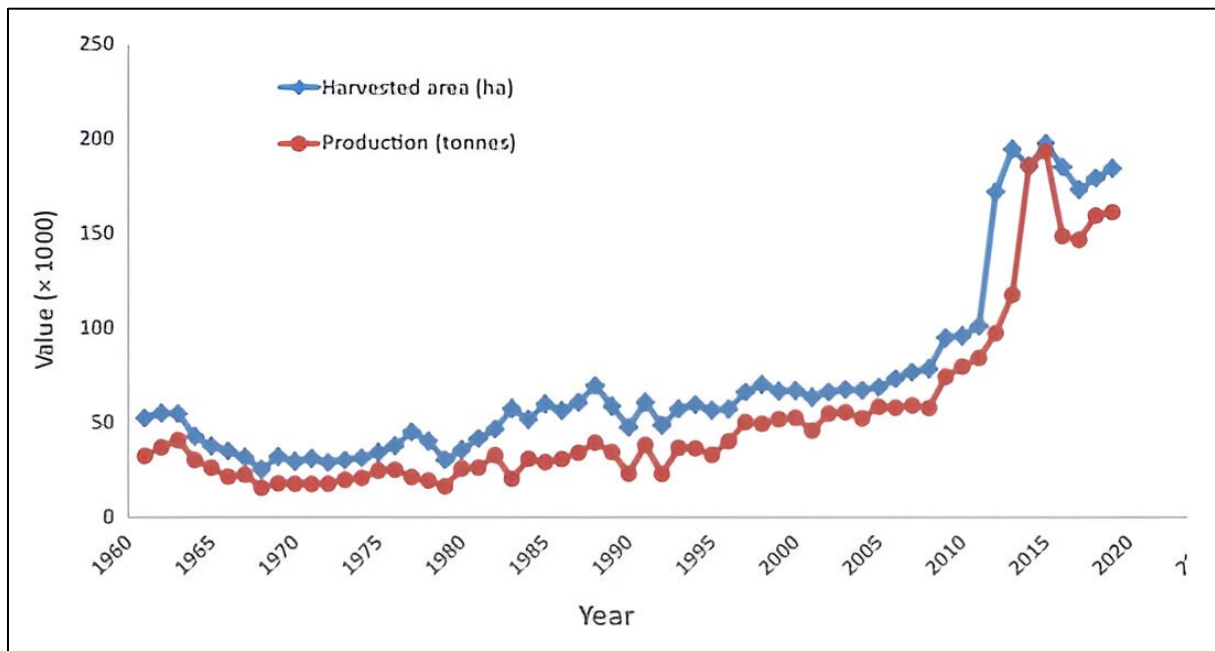


Figure 8. Superficie récoltée (hectares, ha) et quantité produite (tonnes) de quinoa dans le monde (1961–2019) ([FAO, 2021](#)).

8. Usages du quinoa

Avant d'utiliser le quinoa dans l'alimentation humaine ou animale, les graines sont soit lavées, soit traitées pour éliminer la saponine présente dans le péricarpe ([Benlhabib, 2005](#)). Les principales utilisations du quinoa sont :

Le quinoa est considéré par certains experts comme l'une des plantes ayant le potentiel de résoudre le problème de la faim dans le monde. Il se distingue par sa haute valeur nutritionnelle et sa capacité d'adaptation à des conditions environnementales difficiles. L'utilisation et le commerce de ses graines, semblables aux céréales et aux légumineuses, dans l'alimentation humaine sont de plus en plus répandus. Des facteurs tels que le changement climatique mondial et la sécheresse, qui ont entraîné une diminution de la production de riz et une augmentation des coûts, ont renforcé l'intérêt pour des produits alternatifs tels que le quinoa. Cette plante, utilisée dans l'alimentation humaine depuis des siècles en Amérique, attire l'attention en Europe en tant que future culture destinée à l'alimentation humaine et animale ([Jacobsen and Stølen, 1993](#); [Bertero and Ruiz, 2008](#)).

Le quinoa, utilisé comme aliment de base ou substitut aux céréales, est une source énergétique sans gluten, riche en protéines, acides aminés essentiels, vitamines, minéraux et antioxydants. Ses graines et jeunes feuilles sont consommables jusqu'à la formation des inflorescences, avec une teneur en protéines pouvant atteindre 33 % de la matière sèche ([Bazile et al., 2015](#)).

Le quinoa est une source de protéines complète, contenant les neuf acides aminés essentiels. En outre, il est riche en fibres, en fer, en magnésium, en phosphore, en potassium, en calcium, en vitamine E et en divers antioxydants. L'absence de gluten en fait une source importante de nutrition pour les personnes souffrant de maladies cœliaques ou d'intolérance au gluten. Il constitue également une excellente source de protéines d'origine végétale pour les personnes suivant un régime végétarien. Les graines de quinoa sont considérées comme un aliment polyvalent qui peut être transformé et utilisé de différentes manières. Elles peuvent être cuites comme le riz pour la préparation de soupes et utilisées pour donner du volume aux céréales du petit-déjeuner. Moulues en farine, elles sont utilisées dans la production de pain, de pâtes, de nouilles, de tortillas, de biscuits et de crêpes. La fermentation des graines permet de produire une boisson traditionnelle sud-américaine appelée « chicha » ou bière, préférée lors des cérémonies. Les graines de quinoa peuvent être éclatées comme du pop-corn et consommées ou ajoutées à divers aliments sous cette forme. En outre, les feuilles de quinoa peuvent être cuites comme des épinards et les germes de quinoa peuvent être ajoutés aux salades ([Graf et al., 2015](#); [Sharma et al., 2015](#); [Vilcacundo and Hernández-Ledesma, 2017](#); [Ozdemir and Cacan, 2024](#)).

Le quinoa est principalement cultivé pour la consommation humaine, mais dans certains cas, il peut également être utilisé comme aliment pour animaux. Le quinoa est connu pour sa teneur élevée en protéines, ce qui en fait un ingrédient précieux pour l'alimentation des animaux. Dans l'alimentation animale, le quinoa peut être utilisé comme fourrage sec, fourrage vert et ensilage ([Kakabouki et al., 2014](#); [Çağlayan and Kökten, 2021](#)). Les graines de quinoa sont considérées comme un ingrédient alimentaire de grande valeur en tant qu'alternative aux céréales en raison de leur teneur en acides aminés essentiels, de leur profil lipidique et de leur composition en vitamines et en minéraux ([Gül and Tekce, 2016](#)).

Les graines de quinoa constituent un excellent aliment pour les oiseaux, la volaille, les poissons et les lapins. En outre, une certaine quantité de graines de quinoa peut être ajoutée à l'alimentation des moutons et des bovins pour augmenter la teneur en protéines. En outre, certaines variétés de quinoa sont riches en saponines dans l'enveloppe de leurs graines. La substance saponine présente dans la plante et dans les enveloppes des graines est utilisée dans la production de savon, de détergent, de shampoing, d'extincteurs, de médicaments et de produits cosmétiques. Les communautés indigènes d'Amérique du Sud l'utilisent comme détergent pour le linge et comme antiseptique pour aider à la cicatrisation des blessures cutanées. En outre, en raison de sa richesse en cellulose, il peut être utilisé dans la production de papier et de carton. La substance colorante contenue dans les enveloppes des graines, qui va

du blanc au noir, est utilisée dans la production de teintures biologiques pour la coloration des tissus ([Ozdemir and Cacan, 2024](#)).

Chapitre 2 : Pâtes

Alimentaires

Chapitre 2 : Pâtes Alimentaires

Les pâtes sont l'un des aliments de base les plus courants et les plus appréciés grâce à leur valeur nutritive et sensorielle, leur praticité et leur polyvalence. Il est estimé qu'environ 14,3 millions de tonnes de pâtes sont produites chaque année dans le monde. Le principal producteur est l'Italie, suivie des États-Unis, du Brésil, de la Turquie et de la Russie. Les Italiens sont les principaux consommateurs de pâtes, avec 23,1 kg par habitant et par an, suivis des Tunisiens (17 kg), des Vénézuéliens (12 kg) et des Grecs (11,4 kg) ([Bresciani et al., 2022](#)).

1. Origine

Bien que les pâtes soient considérées comme un plat italien, des sources historiques révèlent que les premières techniques de fabrication des pâtes sont apparues en Mésopotamie (actuel Irak). Certaines preuves attestent que les Chinois en consommaient déjà 5000 av. J.-C., bien que certains pensent que leur origine remonte encore plus loin, aux civilisations étrusques ([Boudreau and Ménard, 1992](#); [Webb, 2019](#)).

La plus ancienne trace écrite de pâtes remonte à 1279, où elles figuraient parmi les articles d'un testament, appelé « bariscella plena da macaroni » (panier rempli de macaronis).³ Les macaronis étaient considérés comme un aliment à la mode à Paris à la fin du 18^e siècle ([Webb, 2019](#)).

À ses débuts, la production de pâtes était entièrement manuelle : pétrissage, découpe, extrusion à la presse manuelle, puis séchage au soleil. En 1800, l'Italie a introduit la première machine mécanique, marquant le début de la mécanisation. À la fin des années 1890, des équipements tels que mélangeurs, pétrins, presses hydrauliques et armoires de séchage sont apparus. Le premier système de presse continue, automatisant la transformation de la semoule et de l'eau en pâtes, a été mis au point en 1934, remplaçant la production par lots. Aujourd'hui, toutes les presses industrielles fonctionnent selon ce procédé en continu ([Walsh and Gilles, 1977](#); [Wrigley et al., 2004](#)).

2. Typologie des pâtes alimentaires

Les pâtes alimentaires sont classées en deux catégories principales selon les machines utilisées dans le processus de fabrication :

2.1. Pâtes pressées (extrudées)

Ces pâtes sont obtenues en extrudant la pâte à travers des moules spécifiques, ce qui leur confère des formes variées comme les spaghettis, macaronis ou coquilles. La longueur peut être ajustée selon les besoins, permettant la production de pâtes longues ou courtes ([Dib and Zidoune, 2003](#)).

2.2. Pâtes laminées

La technologie de laminage, après l'extrusion, est l'une des méthodes les plus répandues de fabrication des pâtes. On l'appelle aussi « laminage de feuilles » ou « étirage sous pression » ([Hou, 2010](#)).

La technologie de laminage consiste à préparer une pâte avec une teneur en humidité de 30 à 40 % dans un pré-mélangeur, puis à l'étaler entre des rouleaux d'acier pour obtenir une feuille. Le diamètre entre les paires de rouleaux diminue, ce qui permet d'obtenir des feuilles de pâte plus fines jusqu'à l'épaisseur souhaitée. Les feuilles de pâte sont ensuite découpées aux formes appropriées et séchées de la même manière que les pâtes pressées ([Tetrycz et al., 2020](#)).

3. Composition des pâtes alimentaires

À l'origine, les pâtes étaient fabriquées en broyant plusieurs céréales et grains, puis en les mélangeant à de l'eau avant cuisson.

3.1. Semoule

Aujourd'hui, le blé dur (*Triticum turgidum* L.) est la matière première privilégiée dans le monde entier et est cultivé spécifiquement pour la fabrication des pâtes. Comparé au blé tendre (*Triticum aestivum* L.), utilisé pour la fabrication du pain et des nouilles orientales, le blé dur est plus dur et la mouture produit une semoule grossière, une farine jaune dorée, utilisée pour la fabrication des pâtes. La structure compacte de la semoule permet aux pâtes de conserver leur consistance, leur saveur et leur texture à la cuisson. Les pâtes fabriquées à partir de blé dur sont considérablement plus riches en amidon (72-77 %) modérément en protéines (12-13 %) et plus faibles en fibres alimentaires (2-4 %) et en graisses (2-3 %) ([Kaya et al., 2018](#); [Webb, 2019](#)). Les pâtes de semoule de blé dur contiennent 10,9 à 13,5 % de protéines et plus de minéraux et de matières grasses que les pâtes à base de farine de blé tendre ([Sobota et al., 2015](#)).

Les protéines du blé dur sont constituées à 80 % de protéines de gluten, réparties en gliadines et en gluténines. Les 20 % restants sont des protéines non-gluten, telles que les albumines et les globulines. La richesse en gluten des pâtes de blé dur détermine leur excellente qualité culinaire, notamment leurs faibles pertes à la cuisson, leur résistance à la surcuisson et leur bonne fermeté et élasticité après cuisson. Cependant, les protéines de blé ne constituent pas une source précieuse d'acides aminés indispensables. La lysine est l'acide aminé limitant leur valeur biologique ([Mogra and Midha, 2013](#); [Tetrycz et al., 2020](#)).

3.2. L'eau

La semoule est mélangée à de l'eau pour former une pâte, qui est ensuite pétrie pour obtenir la consistance souhaitée. La qualité de l'eau utilisée lors du malaxage influence fortement

l'aspect et le comportement des pâtes à la cuisson. Elle peut être froide, tiède ou chaude, mais l'eau tiède est préférée, car elle favorise un séchage optimal et une coloration jaune uniforme. Il est également recommandé d'utiliser une eau à faible dureté hydrotimétrique ([Feillet et al., 2000](#); [Webb, 2019](#)).

L'eau permet au grain d'amidon de gonfler et favorise l'assouplissement ainsi que l'élasticité du gluten, conférant à la pâte sa plasticité. Elle assure également la mobilité des protéines et des enzymes, facilitant leurs interactions, et joue un rôle actif dans diverses réactions chimiques ([Guinet and Godon, 1994](#)).

3.3. Autres

Pour les pâtes spéciales, comme les lasagnes, les nouilles aux œufs ou les pâtes aux légumes, des ingrédients supplémentaires sont ajoutés, tels que des œufs, des tomates ou des épinards. D'autres types de pâtes sont fabriqués à partir d'ingrédients tels que le riz, l'orge, le maïs, les légumineuses et les haricots. Plusieurs pays, dont l'Italie, la France et la Grèce, ont décrété que les pâtes sèches doivent être produites exclusivement à partir de blé dur, et l'utilisation d'autres céréales non spécifiquement mentionnées est considérée comme une allégation frauduleuse. D'autres pays, dont les États-Unis, le Canada, l'Australie et l'Espagne, consomment traditionnellement des pâtes fabriquées uniquement à partir de semoule de blé dur, mais aucune réglementation n'impose son utilisation dans les pâtes, et plusieurs autres types de pâtes sont disponibles ([Wrigley et al., 2015](#)).

4. Fabrication des pâtes alimentaires

4.1. Production industrielle de pâtes

Aujourd'hui, la fabrication des pâtes repose sur un processus continu automatisé, permettant une productivité élevée de 2 à 5 tonnes par heure ([Petitot et al., 2010](#)). Ce procédé comprend trois étapes clés :

- Hydratation ou pétrissage de la semoule ;
- Façonnage par extrusion ou laminage ;
- Séchage du produit formé (**Fig. 9**).

4.1.1. Hydratation et pétrissage

La production de pâtes de qualité commence par la mouture d'un blé dur de haute qualité. Avant la mouture, les grains de blé dur sont débarrassés de toute substance étrangère provenant du champ, puis brossés pour nettoyer la couche externe du son. Lors de l'introduction du blé dans le moulin, des rouleaux en retirent le son et le germe, tandis que l'endosperme est concassé en gros morceaux. Le tamisage sépare les particules d'endosperme du son et les broie, ce qui

permet d'obtenir une semoule de granulométrie et de qualité optimales ([National Pasta Association, 2017](#)).

Lors de l'hydratation, on ajoute généralement entre 25 et 34 kg d'eau pour 100 kg de semoule, ce qui permet d'atteindre une teneur en eau finale d'environ 44 à 49 % du poids sec. La quantité d'eau est déterminée en prenant en compte l'humidité initiale de la semoule, ainsi que la forme finale de la pâte. Le malaxage des éléments de la pâte se réalise dans un mélangeur tournant à 120 tours par minute pendant une vingtaine de minutes ([Petitot et al., 2010](#)).

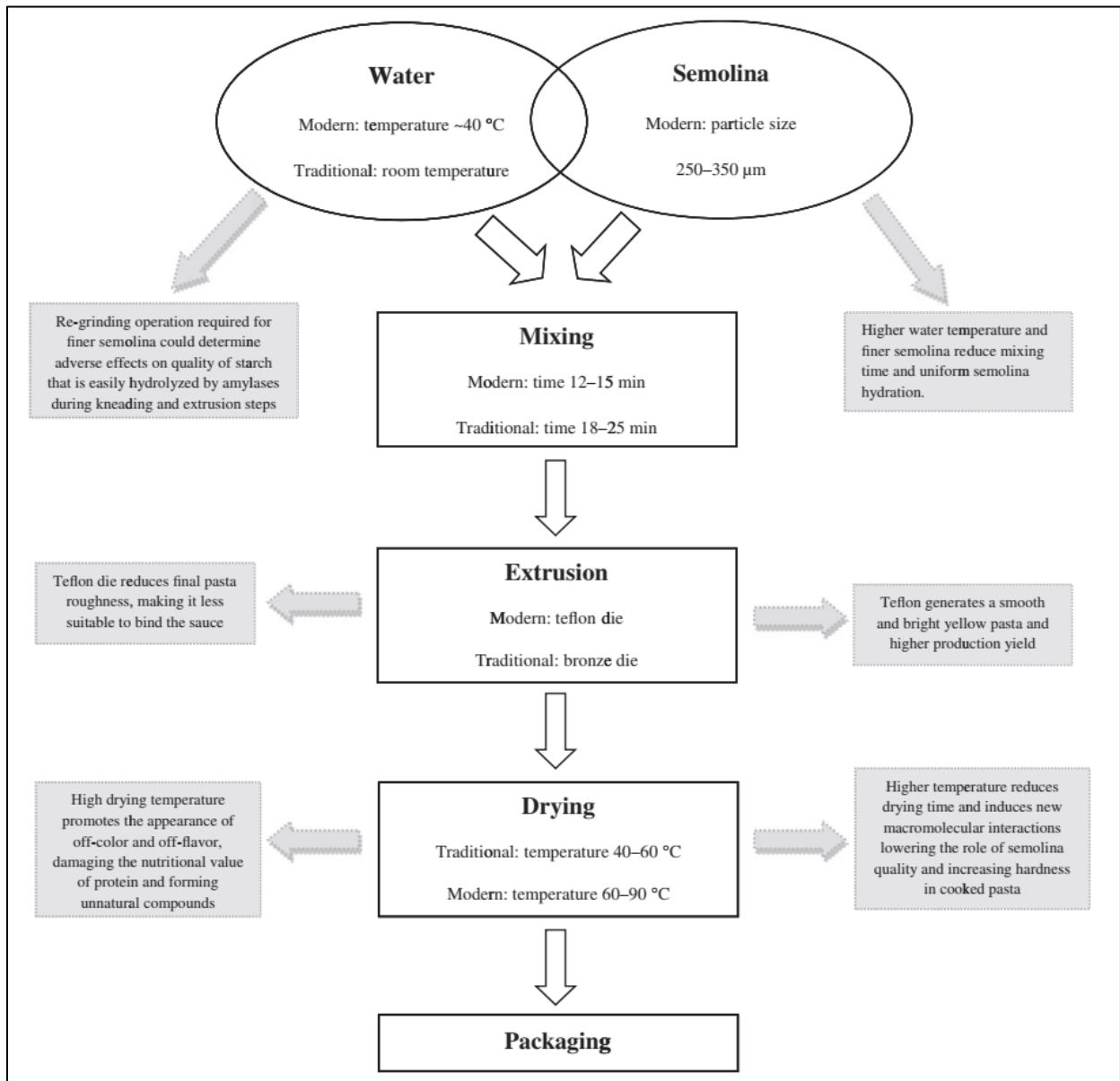


Figure 9. Schéma des procédés de production de pâtes traditionnels et modernes (Sicignano et al., 2015).

4.1.2. Façonnage ou formation

Le modelage de la pâte s'effectue soit par laminage, soit par extrusion, cette dernière étant la méthode la plus couramment utilisée.

a. Extrusion

La pâte est extrudée dans divers moules ou filières pour donner la forme souhaitée aux autres variétés de pâtes (filières rondes pour les pâtes courtes, rectangulaires pour les pâtes longues). Le processus d'extrusion crée une barrière protéique étanche autour des molécules d'amidon, conférant aux pâtes leur structure solide et élastique ([Webb, 2019](#)).

Lors de l'extrusion, la pâte est soumise à une pression élevée, essentielle pour assurer la densité requise du produit final et renforcer sa tenue à la cuisson. Un système de refroidissement par circulation d'eau entoure le cylindre d'extrusion et la tête de presse afin de maintenir la température en dessous de 45–50 °C, évitant ainsi toute dégradation des composants de la semoule. La forme des pâtes obtenues (spaghetti, macaroni, pâtes courtes, papillons) dépend du format des filières, de la vitesse d'extrusion et des conditions de coupe ([Petitot, 2009](#)).

b. Laminage

Lors du laminage, la pâte est d'abord pétrie, puis étalée en une feuille fine entre plusieurs paires de rouleaux (généralement trois à cinq), en réduisant progressivement l'espace entre les cylindres jusqu'à obtenir l'épaisseur souhaitée. La feuille est ensuite découpée en brins selon la largeur et la longueur désirées. Les procédés de laminage et d'extrusion se distinguent par la quantité d'énergie mécanique utilisée : l'extrusion implique davantage d'énergie, dont une partie se dissipe sous forme de chaleur. Par ailleurs, l'extrusion soumet la pâte à un cisaillement, tandis que le laminage lui impose une contrainte d'étirement. Ces différences de stress, de chaleur et de pression influencent la structure finale des pâtes ([Petitot et al., 2010](#)).

4.1.3. Séchage

Après l'extrusion et la découpe des pâtes, la pâte passe dans des séchoirs qui font circuler de l'air chaud pendant plusieurs heures afin d'éviter qu'elle ne colle et ne forme des grumeaux, et de renforcer la barrière protéique. Le séchage des pâtes, qui assure leur solidité et leur longue conservation, est l'étape la plus délicate du processus de production. Le séchage des pâtes courtes se fait par étapes, le long des tapis de séchage. Les pâtes longues nécessitent un temps de séchage plus long en raison de leur épaisseur. Elles sont suspendues à des bâtons, puis coupées à longueur à la fin du séchage. Un séchage inadéquat peut entraîner des fissures ([National Pasta Association, 2017](#)). Les pâtes passent par plusieurs zones de séchage maintenues à une température et une humidité relative précises afin de réduire le taux d'humidité à environ 12 %. Le temps de séchage peut varier considérablement (4 à 48 heures) selon la forme et la longueur des pâtes. Ensuite, les pâtes sont envoyées vers des conditionneuses automatiques pour être pesées et conditionnées en boîtes ou en sacs. Il existe plus de 600 formes de pâtes produites dans le monde, mais les plus populaires sont les spaghettis, les spaghettis

fins, les coudes, les rotelles, les pennes et les lasagnes. Les pâtes sèches se conservent généralement de 1 à 3 ans si elles sont conservées dans un récipient hermétique ([Webb, 2019](#)).

4.1.4. Conditionnement

Le produit final est ensuite conditionné dans des sachets en cellophane ou en polyéthylène. Cet emballage vise à protéger le produit contre les contaminations, à prévenir les dommages durant la manutention et le stockage, et à valoriser sa présentation face aux produits concurrents ([Wrigley et al., 2004](#)).

4.2. Production artisanale de pâtes (en Algérie)

Les pâtes traditionnelles algériennes, issues du patrimoine culinaire local, présentent une grande diversité. Elles sont principalement préparées à base de semoule de blé dur et d'eau. Ces pâtes peuvent être classées en deux catégories selon leur mode de fabrication ([Abbaz and Abdelazziz, 1998](#)):

- Pâtes laminées ;
- Pâtes roulées.

4.2.1. Pâtes laminées

La fabrication de ces pâtes repose sur un mélange de semoule, de sel et d'eau, formant une pâte grossière qui est ensuite pétrie jusqu'à obtenir une texture douce, lisse et non collante. Dans certains cas, du jaune d'œuf est ajouté pour intensifier la couleur et améliorer la valeur nutritive. Une fois prête, la pâte est laminée ([Abbaz and Abdelazziz, 1998](#)). Il existe une grande variété de pâtes laminées, parmi lesquelles :

- ❖ *Chekhchoukha* : est un plat traditionnel de la région de Chaoui, en Algérie. Son nom vient de l'arabe qui signifie « émietter ». Ce plat est préparé en faisant cuire de la pâte de semoule dans de l'eau salée jusqu'à ce qu'elle soit tendre, puis en la déchirant en petits morceaux et en la mélangeant à une sauce tomate. Souvent servi avec de la viande, des pois chiches et parfois des légumes, la Chakhchoukha revêt une importance culturelle particulière et est souvent préparé lors d'événements tels que le Mouloud, l'Achoura et le Nouvel An amazigh ([Gagaoua and Boudechicha, 2018](#); [Mmereki et al., 2024](#)).
- ❖ *Trida* : c'est un plat traditionnel composé de petits morceaux de pâtes carrées. La pâte, préparée à partir de semoule fine, de farine, d'eau, d'huile et de sel, est étalée finement, coupée en carrés et séchée au soleil. La trida est populaire et généralement servi avec un ragoût de viande ou de poulet aux légumes ([Boukid, 2025](#)).

❖ *Rechta* : la rechta est un plat algérien traditionnel composé de fines nouilles en rubans, préparées à partir de farine de blé et dont les racines sont issues de la cuisine berbère. La pâte est mélangée à du sel et de l'eau, étalée finement et coupée en rubans. Après avoir été saupoudrées de farine de maïs, les nouilles sont légèrement séchées et généralement cuites à la vapeur. La rechta est traditionnellement servie avec un ragoût épicé de poulet et de pois chiches, souvent préparé pour les grandes occasions. Elle peut également être cuite dans un bouillon riche et servie en soupe ([Boukid, 2025](#)).

4.2.2. Pâtes roulées

La fabrication de ces pâtes consiste à mélanger de la semoule (grosse, moyenne ou fine) avec de l'eau salée pour former des agglomérats. Ces derniers subissent ensuite une étape clé de roulage, sont façonnés à l'aide de tamis, cuits à la vapeur, puis séchés à température ambiante. Ce groupe inclut :

- ❖ *Couscous* : c'est un plat céréalier incontournable d'Afrique du Nord, originaire des communautés berbères et préparé à partir de semoule de blé dur. Sa préparation traditionnelle consiste à mélanger de la semoule avec de l'eau salée pour obtenir des granulés, qui sont ensuite tamisés en grains fins, moyens ou grossiers. Le couscous peut être séché au soleil (couscous chamsi) ou cuit à la vapeur dans un couscoussier, ce qui lui confère une texture légère et moelleuse. Le couscous est généralement servi avec des ragoûts d'agneau, de poulet ou de légumes, mais il peut également être préparé en plat sucré. Par exemple, le masfouf est une version sucrée mélangée à du beurre, du sucre, des dattes et du lait fermenté, généralement servie pendant le mois du Ramadan, une pratique religieuse pour la communauté musulmane ([Moumni Abdou et al., 2019](#)).
- ❖ *Aish ou M'hamsa* : c'est un plat traditionnel à base de petites pâtes rondes de blé dur. Sa préparation consiste à mélanger de la semoule avec de l'eau pour obtenir des granulés, qui sont tamisés et séchés au soleil. Les granulés sont ensuite réhydratés, remodelés à la main et conservés. La m'hamsa est très polyvalente et souvent cuisinée avec des ragoûts de légumes, de viandes et d'épices ([Oubahli, 2008](#)).

Les produits présentés ne sont pas les seuls produits ; il en existe de nombreux autres non cités dans ce mémoire.

4.3. Pâte de quinoa

Les maladies cœliaques est une entéropathie auto-immune chronique déclenchée chez les personnes sensibles par le gluten présent dans le blé, l'orge et le seigle. Les produits sans gluten sont principalement élaborés à base de farine de maïs, de riz et/ou de manioc, ce qui affecte leur

appétence et leur valeur nutritionnelle. Ces céréales sans gluten ne contiennent généralement pas tous les nutriments présents dans les céréales courantes telles que le seigle, l'avoine ou le blé ; leur consommation peut donc entraîner des carences en vitamines et minéraux. La demande croissante de produits alimentaires et d'ingrédients alternatifs pour augmenter la valeur nutritionnelle des régimes sans gluten a incité l'industrie et les patients à s'intéresser aux céréales andines telles que le quinoa. Le quinoa est sans gluten et a suscité beaucoup d'intérêt ces dernières années en raison de sa valeur nutritionnelle exceptionnelle et de ses bienfaits potentiels pour la santé, ce qui en fait un candidat idéal pour compléter ou remplacer les céréales courantes ([Carrizo et al., 2020](#)).

Grâce à ses qualités nutritionnelles, le quinoa peut jouer un rôle dans les applications d'aliments fonctionnels, une tendance croissante dans les pays développés. Certaines études ont mis en évidence le potentiel du quinoa dans les aliments extrudés sans gluten tels que les pâtes ([Schoenlechner et al., 2010](#); [Giménez et al., 2016](#); [Lorusso et al., 2017](#); [Linares-García et al., 2019](#); [Khatri et al., 2023](#)) et les snacks à base de maïs ([Diaz et al., 2013](#)). L'extrusion est une technologie alternative adaptée à la fabrication de pâtes sans gluten y compris le quinoa, car elle permet la complémentarité de différentes farines ou matières premières ([Giménez et al., 2016](#)).

5. Critères de qualité des pâtes alimentaires

5.1. Qualité organoleptique

L'aspect, la couleur et la saveur représentent certains des attributs sensoriels les plus importants des pâtes, ainsi que l'élasticité, la fermeté et l'adhérence ([Bianchi et al., 2021](#)).

5.1.1. L'Aspect

Les éléments qui influencent l'apparence des pâtes alimentaires sont :

- **Les gerçures** : ce sont des fissures apparaissant sur la pâte sèche, généralement causées par un mauvais réglage du séchoir.
- **Les piquûres** : elles se manifestent sous forme de taches blanches, brunes ou noires :
 - **Les piquures blanches** : elles résultent d'un malaxage insuffisant des semoules, d'un défaut du système d'aération ou de l'ajout de blés mitadinés dans le mélange.
 - **Les piquures brunes** : elles sont causées par un conditionnement inadapté du blé ou par un mauvais réglage des sasseurs, permettant le passage de particules de son.
 - **Les piquûres noires** : elles proviennent de la présence de grains tachetés ou de graines étrangères fortement pigmentées ([Feillet et al., 2000](#)).

5.1.2. Texture

Elle est déterminée par le type de moules employés. Les principaux paramètres utilisés pour évaluer les propriétés texturales des pâtes sont la fermeté et l'adhérence. La méthode la plus utilisée pour évaluer le profil de texture des pâtes cuites est l'analyse du profil de texture, qui utilise un analyseur de texture ([Bustos et al., 2015](#)). La fermeté, ou dureté, est définie comme la force nécessaire pour pénétrer les échantillons de pâtes avec les dents et représente le degré de résistance à la première bouchée ([Marti et al., 2014](#)). L'adhérence, définie comme la force de pointe négative requise pour séparer la sonde de l'analyseur de texture de la surface de l'échantillon de pâtes ([Sykut-Domańska et al., 2020](#)).

5.1.3. Couleur des pâtes

La couleur des pâtes doit être homogène. L'un des paramètres les plus importants pour la qualité des pâtes est la couleur jaune caractéristique, conférée par la forte teneur en caroténoïdes de la semoule (pour le blé dur). La couleur joue un rôle crucial et influence fortement le choix final des consommateurs. L'ajout d'autres ingrédients pourrait fortement modifier la couleur des nouvelles formules de pâtes ([Bustos et al., 2015](#)).

La couleur est exprimée par les valeurs L^* a^* b^* de l'espace colorimétrique CIELAB. L^* traduit la luminosité perceptuelle, a^* la valeur rouge/vert et b^* la valeur bleu/jaune. Dans la plupart des cas, la valeur L^* diminue après l'enrichissement des pâtes ([Bianchi et al., 2021](#)).

5.2. Qualité culinaire

L'objectif de la cuisson des pâtes est d'atteindre la température optimale des composants clés, notamment l'amidon et le gluten. Cette montée en température permet la gélatinisation de l'amidon, le rendant digestible, tout en modifiant la texture des pâtes afin de leur conférer les caractéristiques attendues par le consommateur ([Boudreau and Ménard, 1992](#)).

Les propriétés de cuisson utilisées pour évaluer la qualité des pâtes sont le temps de cuisson optimal, la perte à la cuisson, l'indice d'absorption d'eau et l'indice de gonflement. L'un des premiers paramètres technologiques évalués après la production des pâtes est généralement le temps de cuisson optimal, défini comme le temps nécessaire pour observer la disparition du noyau central lorsque les pâtes sont légèrement pressées entre deux lames de verre ([Nilusha et al., 2019](#)).

Un autre paramètre essentiel pour évaluer la qualité des pâtes est la perte à la cuisson. Elle est évaluée par la libération de solides des pâtes dans l'eau de cuisson, et une faible perte à la cuisson identifie la haute qualité des pâtes en fonction de la capacité du réseau de gluten à retenir les granules d'amidon et les composés bioactifs pendant les processus de cuisson ([Nilusha et al., 2019](#)).

5.3. Qualité nutritionnelle

La qualité des pâtes dépend en grande partie du choix du blé utilisé. Le blé dur en particulier, par exemple, est privilégié pour la fabrication de pâtes en raison de sa teinte naturellement jaune et de sa texture granuleuse, qui persiste même après la mouture. En plus de ses qualités technologiques, le blé dur est une excellente source de minéraux tels que le magnésium, le phosphore, le zinc et le potassium. Il apporte également du cuivre ainsi que des vitamines du groupe B, contribuant à la valeur nutritionnelle du produit final (**Tab. 4**) ([Laty and Mallet, 2002](#)).

Les pâtes alimentaires sont souvent perçues comme un aliment nutritif, notamment en raison de leur teneur en protéines, qui bien que modérée, reste significative. En effet, elles contiennent entre 10 et 12 g de protéines pour 100 g de produit. Toutefois, ces protéines sont principalement constituées de gluten, une substance difficilement digestible, et sont carencées en certains acides aminés essentiels, notamment la lysine et le tryptophane. Sur le plan glucidique, les pâtes sont riches en glucides complexes, facilement assimilables, dont l'effet énergétique s'étend sur une période prolongée. Ces glucides contribuent également à un effet de satiété durable, ce qui rend les pâtes particulièrement adaptées aux personnes ayant besoin d'un apport énergétique soutenu ([Feillet et al., 2000](#)).

Tableau 4. Apport énergétique de 100g de pâte sèche à la semoule de blé dur (Laty and Mallet, 2002).

Nutriments	100 g de pâte sèche à la semoule de blé dur
Protéines	11.5 à 13 g
Glucides	71 à 77 g
Lipides	1.5 à 2 g
Fibres	5 g
Fer	2 mg
Magnésium	50 mg
Phosphore	73 mg
Vitamine B1	0.10 mg
Vitamine B9	0.02 mg
Valeur calorique	350 à 370

***Partie II : Partie
Expérimentale***

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

L'expérimentation a été réalisée au sein des laboratoires pédagogiques de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université 8 Mai 1945 de Guelma pour la préparation de la farine de quinoa et la préparation de la pâte traditionnelle Trida. Les analyses physicochimiques de la farine de quinoa et de la pâte Tride, ont été réalisées au laboratoire de contrôle de qualité du Groupe agro-industries AGRODIV Spa Moulins de l'Est situé à El Fedjoudj (Guelma au Nord-Est Algérien).

1. Matières premières

1.1. Graines de quinoa

Le matériel végétal utilisé dans cette étude correspond à deux variétés du génotype de quinoa *Chenopodium quinoa* Willd., à savoir le quinoa blond et le quinoa tricolore : blanc, rouge et noir. Les graines de cette Pseudo-céréale ont été achetées chez la société Naturalim et sont originaires de l'Amérique de Sud et plus précisément du Pérou (Fig. 10).



Figure 10. Graines de quinoa blond et tricolore

1.2. Eau de fabrication

L'eau utilisée pour la préparation des pâtes alimentaires Trida est de l'eau de source de la marque Ouwis qui présente un taux des sels dissous (TDS) de 697.9 mg/l et un pH compris de 7.42 (Hadbi et al., 2022).

2. Préparation de la farine de quinoa

2.1. Tri Manuel

Les graines de quinoa sont soigneusement triées à la main, un processus qui permet d'éliminer non seulement les impuretés visibles, mais également toutes les parties indésirables telles que les débris végétaux, les graines étrangères, ainsi que les résidus divers qui peuvent s'être mélangés aux grains lors des différentes étapes du processus de récolte (**Fig. 11**).



Figure 11. Tri manuel des graines de quinoa.

2.2. Lavage

En raison de sa petite taille, le quinoa est généralement moulu en farine complète, après élimination des saponines, soit par lavage, soit par broyage abrasif ([Arendt and Dal Bello, 2011](#)). Le temps d'humidification des graines de quinoa a été de 24 heures (**Fig. 12**). Les graines de quinoa subissent ensuite un lavage rigoureux et répété à l'eau du robinet, afin d'éliminer efficacement les saponines responsables de l'amertume naturelle du grain, ce qui permet d'améliorer leur goût tout en garantissant une meilleure qualité organoleptique du produit final ([Wang et al., 2020](#)).

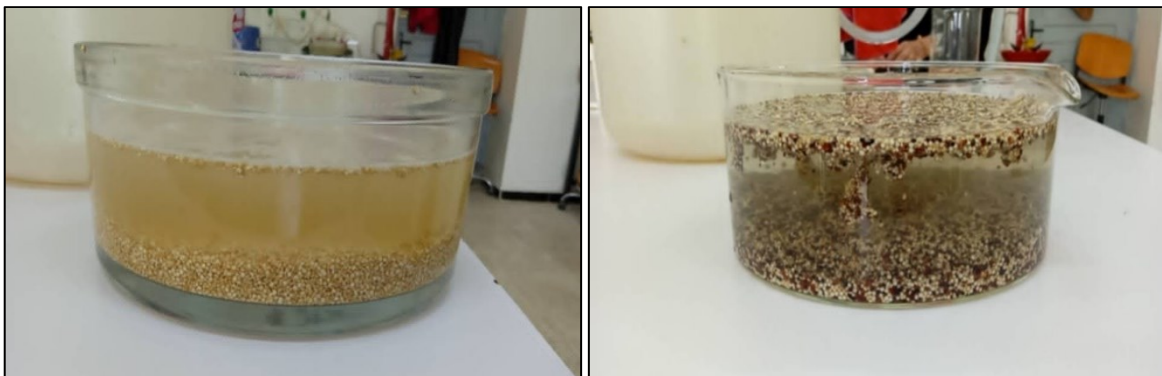


Figure 12. Lavage et humidification du quinoa.

2.3. Séchage

Les graines de quinoa sont séchées dans un four Pasteur à 55 °C pendant $\pm$ 3 heures (**Fig. 13**) ([Wang et al., 2020](#)).



Figure 13. Séchage des graines de quinoa.

2.4. Broyage

Les graines de quinoa seront soumises à un broyage minutieux à l'aide d'un broyeur à billes de type Kinematica Mélangeur de laboratoire Microtron MB 550, procédé qui sera répété deux fois pendant une durée de 15 minutes à chaque session, afin d'obtenir une poudre extrêmement fine et homogène, adaptée aux besoins spécifiques de la transformation (**Fig. 14**).



Figure 14. Broyage des graines de quinoa.

2.5. Criblage

La poudre obtenue à l'issue du broyage est ensuite soumise à un tamisage à l'aide d'un tamis mécanique dont le diamètre des mailles est de 400 μ m, et ce, pendant une durée de 5 minutes,

afin de séparer les particules trop grossières et d'assurer une granulométrie fine, homogène et conforme aux exigences de la suite du procédé de transformation (**Fig. 15**).



Figure 15. Tamisage de la poudre du quinoa.

2.6. Conservation

La farine de quinoa obtenue est soigneusement conservée à une température de 4 °C ([Wang et al., 2020](#)), dans un récipient hermétiquement fermé, à l'abri de la lumière et de l'air, afin de préserver ses propriétés physico-chimiques, d'éviter toute contamination ou altération, et de maintenir sa qualité optimale jusqu'au moment de son utilisation.

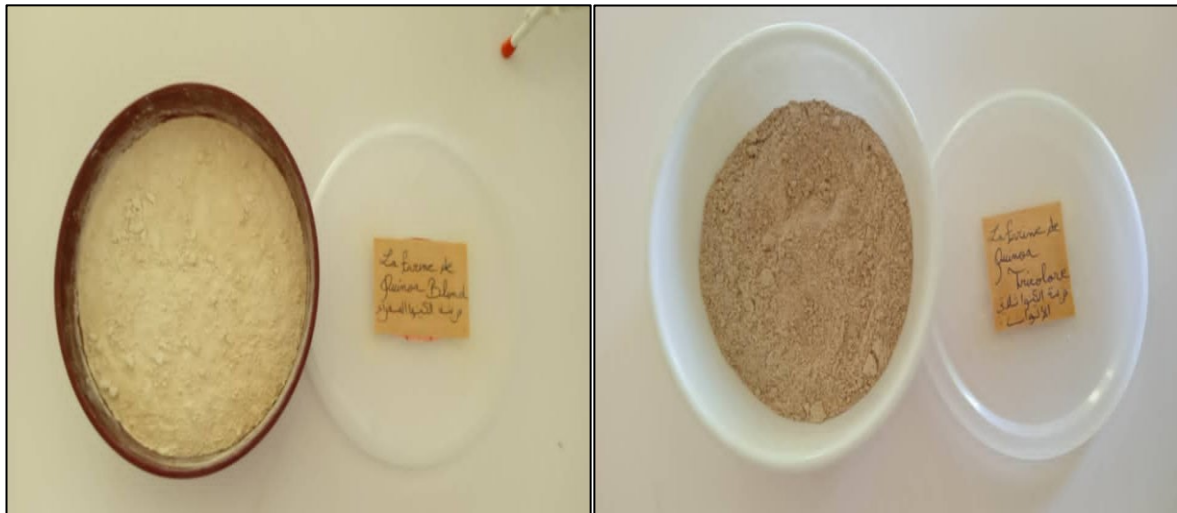


Figure 16. Conservation de la farine de quinoa.

3. Analyse physicochimique de la farine de quinoa

3.1. Mesure de la granulométrie

La granularité ou granulométrie d'un matériau broyé, tel que la semoule ou la farine, correspond à la répartition de ses particules selon leur taille à l'aide d'un système de tamisage ([Boudalia et al., 2020](#)).

La première étape de l'analyse a consisté à homogénéiser les échantillons de farine de quinoa à l'aide d'un mélangeur rotatif, dans le but d'obtenir un échantillon représentatif. Par la suite, un échantillon de 100 g de farine a été soumis à un tamisage à l'aide du dispositif Rotachoc (CHOPIN Technologies, Villeneuve-la-Garenne, France) pendant une durée de 7 minutes. Trois tamis de diamètres différents (250 μ m, 150 μ m et passant) sont utilisés.

À l'issue du tamisage, les fractions recueillies sur chaque tamis ont été collectées puis pesées dans le but d'établir la courbe de granulation de l'échantillon. Les résultats ont ensuite été exprimés en pourcentage du poids initial de l'échantillon, conformément à la méthode 66-20 validée par l'American Association of Cereal Chemists ([AACC, 2000](#); [Contini et al., 2022](#)).

3.2. Détermination de taux d'humidité (la teneur en eau)

Une quantité de 3 g de farine de quinoa est prélevée pour chacun des deux types, à savoir le quinoa Blond et le quinoa Tricolore, puis introduite dans un dessiccateur halogène HG63 (Mettler Toledo, Greifensee, Suisse) à 130 °C pendant 25 minutes afin de permettre l'évaporation de l'humidité résiduelle et de déterminer leur teneur en eau de manière précise. Les résultats ont été exprimés en pourcentage (%) de la masse du produit ([Boudalia et al., 2020](#)).

3.3. Détermination de la couleur

La couleur est une perception sensorielle complexe qui peut être décomposée, afin d'être quantifiée, en trois composantes fondamentales : la luminance (ou clarté), la chrominance (ou teinte), et la saturation. La teinte est directement liée à la longueur d'onde dans le spectre visible et permet de classer les couleurs au sein de la roue chromatique. La luminance, quant à elle, correspond au pourcentage de lumière réfléchi par un objet coloré ; elle détermine le degré de clarté ou d'obscurité d'une couleur et peut être évaluée indépendamment de la teinte. Enfin, la saturation exprime le niveau de pureté d'une couleur, c'est-à-dire l'intensité de sa teinte, indépendamment de sa luminance et de sa position sur le spectre. ([Barthelemy and Clement, 1998](#)).

Pour mesurer la couleur de manière objective, on utilise la colorimétrie, et plus précisément l'espace colorimétrique $L^*a^*b^*$ (également appelé CIELAB), défini par la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) en 1976. Cet espace tridimensionnel est largement utilisé dans de nombreux domaines pour l'analyse des couleurs. Il se compose de trois axes :

- L^* , qui indique la luminance, variant de 0 (noir) à 100 (blanc) ;
- a^* , qui représente l'axe rouge-vert (valeurs positives indiquant du rouge, négatives du vert) ;
- b^* , qui décrit l'axe jaune-bleu (positif pour le jaune, négatif pour le bleu).

La couleur de la farine de quinoa a été déterminée instrumentalement, à l'aide d'un colorimètre Konica Minolta modèle CR-410 avec un illuminant D65 (Konica Minolta, Tokyo, Japon) selon la méthode 14-22.01 ([AACC, 2010](#)). Des échantillons de farine de deux variétés ont été placés dans le dispositif de mesure des matériaux granulaires et leur couleur a ensuite été mesurée. Avant la mesure, le colorimètre a été étalonné à l'aide d'une tuile d'étalonnage blanche comme référence ($L^* = 98,45$, $a^* = -0,10$, $b^* = -0,13$) ([Boudalia et al., 2020](#)).

3.4. Indice de gluten

L'indice de gluten de la farine de quinoa a été déterminé selon la méthode AACC 38-12.02 ([AACC, 2010](#)). Une quantité de 10 g de farine de quinoa est placée dans deux cylindres du Glutomatic 2200 (Perten Instruments, Hagersten, Suède), puis 4,8 ml d'eau saline y sont ajoutés goutte à goutte. L'ensemble est ensuite centrifugé afin de forcer le gluten humide à travers un tamis spécialement conçu, selon des conditions standardisées ($6\,000 \pm 5$ tr/min pendant 30 secondes) ([Boudalia et al., 2020](#)). Le pourcentage de gluten humide restant sur le tamis après centrifugation a été défini comme l'indice de gluten calculé selon l'équation suivante :

$$\text{Indice de gluten (\%)} = [(\text{Poids total du gluten humide} - \text{Gluten restant sur le tamis de la centrifugeuse}) / \text{Poids total du gluten humide}] \times 100$$

3.5. Détermination du taux de cendres

La méthode AACC 08-01.01 a été utilisée pour déterminer le taux de cendres de la farine de quinoa ([AACC, 2010](#)). Les cendres correspondent aux résidus obtenus après incinération de 5 g de l'échantillon dans un four à moufle à 900 °C pendant 2 heures, jusqu'à l'obtention d'un résidu incombustible de couleur blanche. La teneur en cendre est exprimée en % :

$$TC = MTQ \times 100 / 100 - H$$

$$MTQ = [(PF - PI) \times 5] / 100$$

Où :

- **MTQ** : masse totale de charge (%) ;
- **PI** : poids initial de la coupelle vide (g) ;
- **PF** : poids final de la coupelle contenant les résidus après incinération (g) ;
- **H** : Teneur en eau de l'échantillon (%).

4. Fabrication de la pâte alimentaire traditionnelle « Trida »

Le procédé artisanal de fabrication de la pâte se divise en quatre étapes principales : hydratation et malaxage de la farine, pétrissage, la mise en forme par laminage et le séchage

(Fig. 17). Toutes ces étapes sont effectuées de la même façon pour les deux types de farine de quinoa : blond et tricolore.

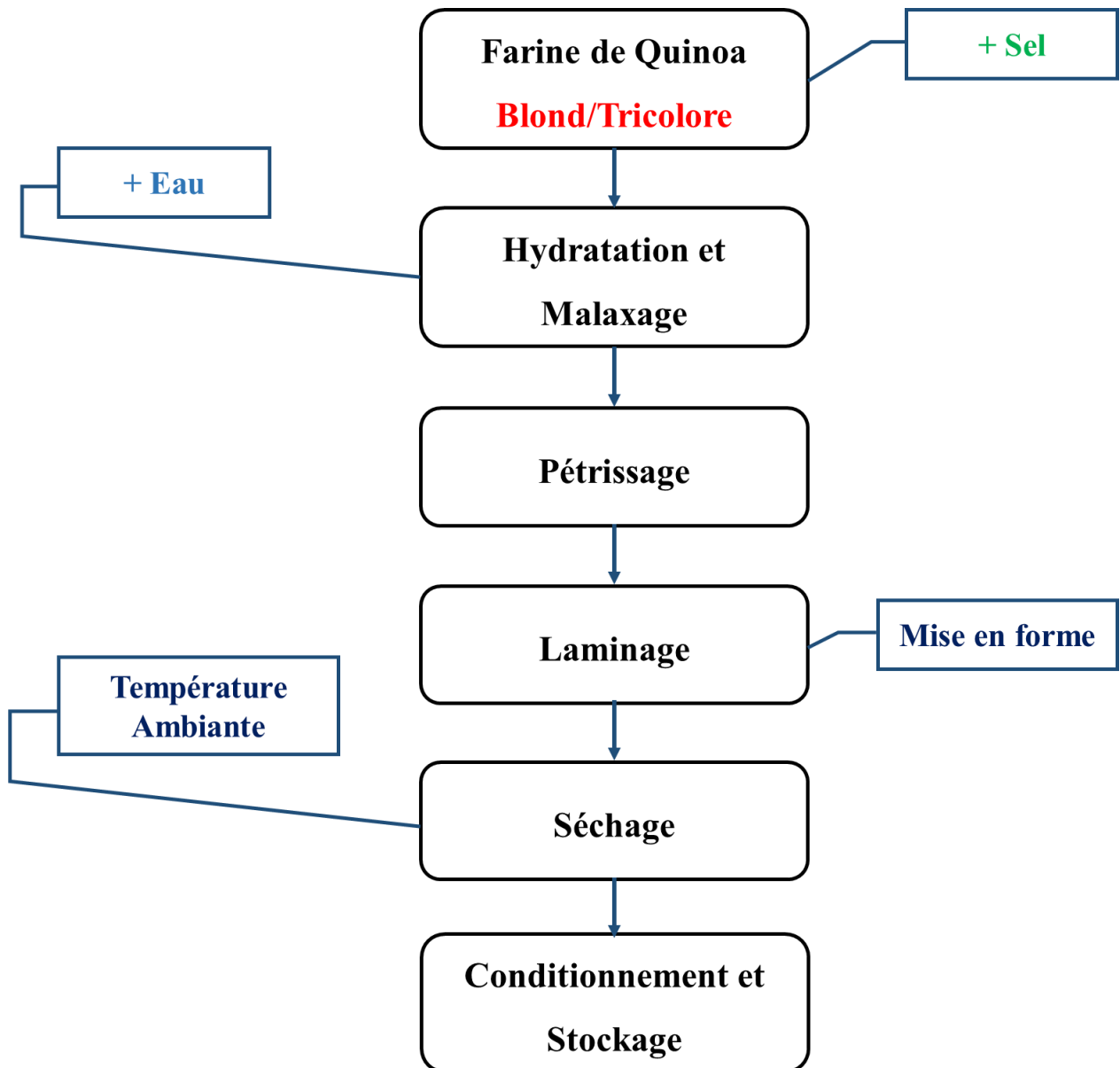


Figure 17. Diagramme de fabrication de la pâte traditionnelle Trida à base de farine de quinoa.

4.1. Hydratation et malaxage

Dans un récipient (Guesaa), 250 g de farine de quinoa blond et tricolore est mélangée à 150 ml d'eau de source (Ouwis) légèrement froide, afin d'éviter l'agglomération de la farine tout en ajoutant une pincée du sel. Le mélange est ensuite laissé au repos, recouvert de plastique pour prévenir le dessèchement et pour assurer une hydratation optimale de la farine.

4.2. Pétrissage

Après la phase de repos, un pétrissage manuel d'environ 5 minutes permet d'obtenir une pâte homogène, lisse et souple. Celle-ci est ensuite transférée dans un pétrin SANTOS pour un second pétrissage d'une durée de 8 minutes. Après un nouveau repos, la pâte est découpée en petites boulettes, puis étalée à l'aide d'un rouleau à pâtisserie.

4.3. Laminage

Le laminage des boulettes de pâte en fines feuilles est réalisé à l'aide d'une machine à pâte. Deux passages successifs sont effectués à travers deux laminoirs différents, avec un écartement progressif réglé sur 7 puis sur 5. Les feuilles obtenues sont ensuite disposées sur un plan de travail pour un pré-séchage à l'air ambiant. Enfin, les feuilles laminées sont découpées à l'aide du laminoir (Fig. 18).

4.4. Séchage

Les pâtes obtenues sont ensuite séchées à température ambiante (25 ± 2 °C) jusqu'à l'obtention d'un produit cassant entre les doigts. Les pâtes (enrichies ou non) ont été conditionnées dans des emballages en polypropylène, puis conservées à température ambiante jusqu'à leur utilisation (Fig. 18).



Figure 18. Mise en forme et séchage de la pâte Trida.

5. Appréciation de la qualité de la pâte « Trida »

5.1. Évaluation de la qualité des pâtes sèches

5.1.1. Taux d'humidité

Des tranches de trida séchées (100 g) ont été broyées et la teneur en humidité a été mesurée de la même manière que pour la farine de quinoa, à l'aide d'un dessiccateur halogène HG63 (Mettler Toledo, Greifensee, Suisse) à 130 °C pendant 25 minutes ([Boudalia et al., 2020](#)).

5.1.2. Couleur

Des tranches de pâtes sèches trida (100 g) ont été broyées et la couleur de surface des pâtes crues a été mesurée de la même manière que pour la farine, à l'aide d'un colorimètre Konica Minolta modèle CR-410 avec un illuminant D65 (Konica Minolta, Tokyo, Japon) selon la méthode 14-22.01 ([AACC, 2010](#)).

5.1.3. Taux de cendres

Des tranches de pâtes sèches trida (100 g) ont été broyées et la teneur en cendres a été mesurée de la même manière que celle de la farine, selon la méthode AACC 08-01.01 ([AACC, 2010](#)).

5.2. Qualité culinaire des pâtes « Trida »

5.2.1. Temps optimal de cuisson (TOC)

Le Temps optimal de cuisson (TOC) a été déterminé selon la méthode 66-50.01 ([AACC, 2010](#)). 100 g de pâtes ont été placés dans un bécher contenant 1000 ml d'eau bouillante (sans sel ajouté). Chaque minute (pendant les cinq premières minutes), puis toutes les 10 secondes (à partir de la cinquième minute), des morceaux ont été retirés et pressés entre deux plaques de verre (2,5 × 2,5 cm), où le temps de cuisson optimal correspond au temps nécessaire pour la disparition de la partie blanche centrale (cœur des pâtes disparaît) ([Boudalia et al., 2020](#)).

5.2.2. Indice d'absorption d'eau

Selon la méthode décrite par [Petitot et al. \(2010\)](#), des échantillons secs ont été pesés avant et après cuisson, à un temps de cuisson optimal. L'indice d'absorption d'eau a été calculée selon l'équation suivante :

$$\text{Indice d'absorption d'eau} = [(\text{Poids des pâtes cuites} / \text{Poids des pâtes sèches}) - 1] \times 100$$

5.2.3. Indice de gonflement

L'indice de gonflement (IG) est défini comme le gain de poids des pâtes au cours de la cuisson, reflétant la quantité d'eau absorbée. Il constitue ainsi un indicateur de la capacité d'absorption d'eau de la pâte alimentaire ([Marti et al., 2013](#)). L'indice de gonflement a été

déterminé selon la méthode de ([Cleary and Brennan, 2006](#)). 10 g de pâtes ont été cuits dans 100 ml d'eau distillé préalablement chauffée jusqu'à ébullition au temps de cuisson optimal et séchés à 105 °C jusqu'à obtention d'un poids constant ([Boudalia et al., 2020](#)). L'indice de gonflement est calculé comme suit :

$$\text{IG} = (\text{Poids des pâtes cuites} - \text{Poids des pâtes après séchage}) / \text{Poids des pâtes après séchage}$$

5.2.4. Consistance de la pâte

La qualité culinaire de la pâte a été appréciée en exerçant une pression modérée sur une petite quantité de pâte cuite entre les doigts, afin d'évaluer son niveau d'adhérence. Une faible adhérence est considérée comme un indicateur de bonne qualité.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

1. Caractéristiques physico-chimiques de la farine de quinoa

Trois prélèvements ont été réalisés au cours de la période d'expérimentation, et cinq paramètres ont été analysés.

1.1. Granulométrie

Le tableau 5 représente les résultats des analyses de la granulométrie des deux types de la farine de quinoa.

Tableau 5. Résultats des analyses de la granulométrie de la farine de quinoa.

Type de quinoa	Granulométrie (100 g)			
	Répétition	RT 250 μm	RT 150 μm	Passant 150 μm
Blond	1	96.7	2.8	0.5
	2	96.5	2.5	0.4
	3	96.9	3.1	0.6
	Mo	96.7	2.8	0.5
	SD	0.2	0.3	0.1
Tricolore	1	94.9	4.8	0.3
	2	95.1	5.1	0.4
	3	94.7	4.5	0.2
	Mo	94.9	4.8	0.3
	SD	0.2	0.3	0.1

Plus de 96 % en masse de la farine de quinoa blond présente une taille de particules supérieure à 250 μm , tandis que la taille de la farine de quinoa tricolore est supérieure à 94 % de l'échantillon analysé. Par ailleurs, la majorité des particules des échantillons analysés est retenue par le tamis de 250 μm , avec une proportion moyenne de 96.7 % et 94.9 % pour le quinoa blond et tricolore respectivement. Le reste de la farine, pour les deux types de quinoa, est réparti entre les fractions retenues sur le tamis de 150 μm et celles passant à travers ce tamis. Les taux moyens observés sont de 2.8 % et 0.5 % pour la farine de quinoa blond contre 4.8 % et 0.3 % pour la farine de quinoa tricolore.

Selon [Ahmed et al. \(2019\)](#), les particules les plus fines de quinoa cultivées au Canada (Norquin, SK, Canada) sont riches en protéines, en matières grasses brutes et en fibres, tandis que les fractions plus grossières sont enrichies en amidon. La rhéologie de farine de quinoa est fortement influencée par la granulométrie des fractions et la viscosité présente une relation inverse avec la fraction volumique des particules. Il a été observé que les fractions de particules comprises entre 74 et 149 μm présentaient des profils de composition, des fonctionnalités, une rhéologie et une consistance quasiment similaires.

1.2. Taux d'humidité

Les résultats des analyses du taux d'humidité des deux types de la farine de quinoa sont illustrés dans le tableau 6.

Tableau 6. Résultats des analyses du taux d'humidité de la farine de quinoa.

Type de quinoa	Répétition	Taux d'humidité (%)
Blond	1	10.63
	2	10.75
	3	10.72
	Mo	10.7
	SD	0.062
Tricolore	1	11.29
	2	11.35
	3	11.27
	Mo	11.3
	SD	0.041

La farine de quinoa utilisée pour la fabrication des pâtes Trida présente une teneur moyenne en humidité de 10.7 % pour le quinoa blond et de 11.3 pour le quinoa tricolore. Ces valeurs sont proches et se situent dans l'intervalle rapporté par plusieurs auteurs, qui mentionnent une humidité comprise entre 11 % et 14.1 % ([Contreras-Jiménez et al., 2019](#); [Mu et al., 2023](#)). La faible teneur en humidité observée dans nos échantillons constitue un bon indicateur de leur potentiel de longue conservation ([Gautam et al., 2021](#)).

1.3. Couleur

Le tableau 7 représente les résultats des analyses de la couleur des deux types de la farine de quinoa.

Tableau 7. Résultats des analyses de la couleur de la farine de quinoa.

Type de quinoa	Répétition	Couleur		
		L*	a*	b*
		Clarté	Composante rouge/vert	Composante jaune/bleu
Blond	1	78.29	3.28	13.16
	2	63.96	3.19	10.83
	3	64.52	3.13	10.63
	Mo	68.92	3.2	11.54
	SD	8.11	0.075	1.4
Tricolore	1	56.55	4.15	7.73
	2	60.18	4.11	7.97
	3	61.97	3.75	6.96
	Mo	59.56	4	7.55
	SD	2.76	0.22	0.52

La mesure de la couleur de surface des farines de quinoa permet d'éliminer les biais liés aux variations individuelles de perception et d'interprétation visuelle.

Les résultats révèlent que l'indice de clarté L^* est d'une moyenne de 68.92 et 59.56 pour les farines de quinoa blond et tricolore respectivement. La farine de quinoa blond présente un indice de clarté dont la valeur se rapproche davantage du blanc parfait (100), traduisant une couleur plus claire, tandis que celle du quinoa tricolore affiche un indice inférieur, indiquant une farine modérément claire.

L'indice de jaune b^* est d'une moyenne de 7.55 pour le quinoa tricolore et s'élève à 11.54 pour le quinoa blond nettement supérieur à la valeur neutre (0), ce qui traduit une teinte jaune marquée contribuant à une coloration intense des farines et répondant ainsi aux attentes des consommateurs.

Concernant l'indice de rouge a^* , il est de 3.2 et 4 pour le quinoa blond et tricolore respectivement, une valeur supérieure à celle de la neutralité (0), suggérant que la farine présentent une faible teinte sombre. Cela indique que ces deux types de farine de quinoa a généralement viré au jaune et au blanchâtre, et moins au rouge.

Il est important de noter que la valeur de l'indice de jaune est liée à celles des indices de rouge et de clarté : une augmentation de l'indice de jaune s'accompagne généralement d'une élévation de l'indice de clarté et d'une diminution de l'indice de rouge. L'augmentation de la surface spécifique pourrait expliquer l'augmentation de la blancheur et du jaunissement. Ce jaunissement pourrait être attribué à la présence de pigments caroténoïdes ([Ahmed et al., 2019](#)).

1.4. Indice de gluten

Les résultats obtenus révèlent une absence de teneur en gluten dans les échantillons analysés de quinoa blond et tricolore. Cette caractéristique est particulièrement importante à prendre en compte dans le cadre de la fabrication de pâtes alimentaires spécifiques. Ces résultats contrastent avec ceux rapportés par ([Mu et al., 2023](#)), qui ont observé une teneur en gluten humide de 1.2 %. Le gluten est responsable de l'élasticité et de la résistance de la pâte en formant ses structures linéaires grâce à des liaisons disulfures intermoléculaires ([Guardianelli et al., 2021](#)).

1.5. Taux de cendres

Les résultats des analyses du taux d'humidité des deux types de la farine de quinoa sont illustrés dans le tableau 8.

Tableau 8. Résultats des analyses du taux de cendres de la farine de quinoa.

Type de quinoa	Répétition	Taux de cendres (%)
Blond	1	2.2
	2	2.3
	3	2.1
	Mo	2.2
	SD	0.1
Tricolore	1	2.3
	2	2.2
	3	2.4
	Mo	2.3
	SD	0.1

La teneur en cendres de la farine utilisée dans le cadre de cette étude est en moyenne de 2.2 et 2.3 % pour les farines de quinoa blond et tricolore respectivement. Les valeurs obtenues sont comparables à celles rapportées dans la littérature, où un taux de cendres comprise entre 2 % et 3 % est mentionnée par plusieurs auteurs ([Ahmed et al., 2019](#); [Mu et al., 2023](#)). La teneur en cendres est étroitement liée à la composition chimique de la graine de quinoa ainsi qu'à sa structure morphologique. Les concentrations de minéraux présentes dans le quinoa sont supérieures à celles rapportées pour la majorité des céréales ([Wieme et al., 2020](#)). Certaines études ont montré que la teneur en minéraux du quinoa semble varier considérablement en fonction du type de sol, de la composition minérale et de l'application d'engrais. Les minéraux tels que P, K et Mg sont présents dans l'embryon, tandis que Ca et P se trouvent dans le péricarpe, associés aux composés pectiques de la paroi cellulaire ([Vega-Gálvez et al., 2010](#); [Coțovanu et al., 2020](#)).

2. Caractéristiques physico-chimiques de la pâte alimentaire traditionnelle Trida

2.1. Taux d'humidité

Les résultats des analyses du taux d'humidité des deux types de la pâte Trida sont illustrés dans le tableau 9.

Les résultats présentés dans le tableau 9 montrent que le taux d'humidité de la pâte Trida à base de quinoa blond est de 13.25 %, contre 12.35 % pour la pâte à base de quinoa tricolore. Cette légère différence entre l'humidité des farines et des pâtes préparées s'explique par la capacité à absorber l'eau. Ces valeurs restent proches et s'inscrivent dans l'intervalle d'humidité compris entre 12 % et 13 %, tel que rapporté par ([Torres et al., 2021](#)). Ces valeurs se situent dans la plage autorisée où la limite maximale étant de 14 % selon la norme Codex Stan 249 ce qui assure une durée limite de conservation de 2 ans ([Alimentarius, 2006](#)). Cependant, une teneur en humidité plus élevés indique une valeur de fermeté plus faible des produits de type pâtes ([Foschia et al., 2015](#)).

Tableau 9. Résultats des analyses du taux d’humidité de la pâte Trida.

Type de pâte Trida	Répétition	Taux d’humidité (%)
Blond	1	13.43
	2	13.01
	3	13.33
	Mo	13.25
	SD	0.21
Tricolore	1	12.36
	2	12.48
	3	12.22
	Mo	12.35
	SD	0.13

2.2. Couleur

Le tableau 10 représente les résultats des analyses de la couleur des deux types de la pâte Trida.

Tableau 10. Résultats des analyses de la couleur de la pâte Trida.

Type de pâte Trida	Couleur			
	Répétition	L*	a*	b*
Blond	1	55.77	5.99	18.96
	2	56.52	6.18	19.12
	3	54.38	6.06	18.23
	Mo	55.55	6.07	18.77
	SD	1.08	0.09	0.47
Tricolore	1	40.63	5.04	7.81
	2	41.21	5.18	8.18
	3	42.56	5.28	8.25
	Mo	41.46	5.16	8.08
	SD	0.99	0.12	0.23

La couleur des pâtes cuites est l’un des principaux paramètres de qualité que les consommateurs prennent en compte dans un produit ; cette propriété est à son tour étroitement liée aux matières premières utilisées dans sa formulation ([Torres et al., 2021](#)).

Les résultats du test de couleur des deux pâtes, exprimés par les indices (L*, a*, b*), montrent en moyenne des valeurs de (55.55 ; 6.07 ; 18.77) pour la pâte à base de quinoa blond, contre (41.46 ; 5.16 ; 8.08) pour la pâte de quinoa tricolore. Ces valeurs sont proches de celles trouvées par ([Mora Guzmán, 2012](#); [Torres et al., 2021](#)). Une différence des indices de couleur (L*, a*, b*) a été observée, conférant à la pâte de quinoa blond une teinte jaune plus claire. Ces indices sont nettement plus élevés dans la pâte de quinoa blond que dans la pâte tricolore.

Dans le cas des pâtes, leur couleur dépend de nombreux facteurs, notamment la teneur en caroténoïdes des matières premières et leur teneur en protéines. Le facteur le plus important affectant la couleur des pâtes est l’utilisation d’additifs végétaux, l’effet du temps de séchage

et la teneur en humidité ([Ohm et al., 2008](#); [Bustos et al., 2015](#)). De même, le processus d'extrusion a contribué à la couleur des pâtes. Dans les produits extrudés, la couleur est influencée par plusieurs facteurs tels que la température, la composition de la matière première, le temps de séjour, la pression, la force de cisaillement et la température à laquelle le séchage ultérieur est effectué ([Torres et al., 2021](#)).

2.3. Taux de cendres

Le tableau 11 présente les résultats de l'analyse du taux de cendres des deux types de pâte Trida.

Tableau 11. Résultats des analyses du taux de cendres de la pâte Trida.

Type de pâte Trida	Répétition	Taux de cendres (%)
Blond	1	6.2
	2	5.8
	3	6.6
	Mo	6.2
	SD	0.4
Tricolore	1	7.3
	2	7.8
	3	6.8
	Mo	7.3
	SD	0.5

Dans cette étude, la teneur en cendres de la pâte Trida a été évaluée afin d'estimer leur richesse minérale. Les résultats obtenus indiquent une teneur moyenne de 6.2 % pour la pâte de quinoa blond et de 7.3 % pour la pâte de quinoa tricolore. Une augmentation notable de la teneur en cendres a été constatée dans les pâtes Trida que celle de la farine de quinoa initialement utilisée dans leur formulation. Cette différence pourrait être expliquée par la composition minérale de l'eau utilisée lors de la préparation des pâtes. En effet, une eau de pétrissage naturellement riche en minéraux peut enrichir la pâte en éléments inorganiques, ce qui se traduit par une élévation du taux de cendres.

Cependant, la graine de quinoa présente une teneur en cendres qui reflète une richesse minérale nettement supérieure à celle observée dans d'autres céréales couramment consommées, telles que le riz, le blé ou la majorité des autres espèces céréalières ([Vega-Gálvez et al., 2010](#)). Selon [Ogungbenle \(2003\)](#), la graine de quinoa se distingue par sa richesse en minéraux, en particulier par des teneurs élevées en potassium, magnésium et phosphore. Aussi, [Konishi et al. \(2004\)](#) ont également mis en évidence des concentrations importantes de calcium (Ca), phosphore (P), fer (Fe), potassium (K), magnésium (Mg) et zinc (Zn) dans les graines de quinoa.

2.4. Temps optimal de cuisson (TOC)

La qualité de cuisson des pâtes est un facteur important et est évaluée par la quantité de solides dissous pendant la cuisson, l'absorption d'eau et l'humidité des pâtes avant la cuisson ([Torres et al., 2021](#)). Lors de l'écrasement des pâtes cuites entre deux plaques de verre, une ligne blanche épaisse apparaît au cours des deux à trois premières minutes suivant la cuisson. Cette ligne s'atténue progressivement avec le temps, diminuant minute après minute, jusqu'à disparaître complètement. La disparition totale de cette ligne marque le temps de cuisson optimal, qui correspond à la gélatinisation complète de l'amidon contenu dans les pâtes ([Boudalia et al., 2020](#)).

Pour la pâte Trida à base de la farine de quinoa blond, le temps de cuisson optimal est en moyenne de 25 minutes (**Fig. 19**), ce qui est significativement plus élevé que celui observé pour la pâte à base de quinoa tricolore, dont la moyenne est de 20 minutes (**Fig. 20**). Ces valeurs sont supérieures à celle trouvées par ([Itusaca-Maldonado et al., 2024](#)) avec un temps de cuisson de 14.7 minutes pour les pâtes de type quinoa Pipe Rigate.



Figure 19. Test de cuisson de la pâte Trida à base de quinoa blond.



Figure 20. Test de cuisson de la pâte Trida à base de quinoa tricolore.

La qualité de cuisson et la structure finale des pâtes dépendront des caractéristiques de la matière première et des conditions de production ([Brandolini et al., 2018](#)). La variation du temps de cuisson résulte de paramètres tels que la quantité de protéines, la qualité du gluten, la concentration de la matière première et la teneur en amylose-lipides, qui inhibe la lixiviation des granules d'amidon et empêche l'eau de pénétrer dans les granules. La gélatinisation, grâce à une plus grande disponibilité en eau, réduit également ce temps ([Rani et al., 2019](#); [Kamali Roustae et al., 2021](#)).

Par ailleurs, les caractéristiques structurelles des pâtes, en particulier leur forme, peuvent influencer leur qualité de cuisson ainsi que leurs propriétés physico-chimiques et nutritionnelles. Une étude a notamment montré que les pâtes de forme Rigatoni présentaient des temps de cuisson plus longs. Elle a également démontré que l'incorporation de différentes farines de pois chiche, à hauteur de 50 %, dans des formulations sans gluten était efficace ([Suo et al., 2024](#)).

2.5. Indice d'absorption d'eau

Le tableau 12 présente les résultats de l'analyse de l'indice d'absorption d'eau des deux types de pâte Trida.

Tableau 12. Résultats des analyses de l'indice d'absorption d'eau de la pâte Trida.

Type de pâte Trida	Répétition	Rétention d'eau (%)
Blond	1	90
	2	100
	3	81.81
	Mo	90.6
	SD	9.1
Tricolore	1	100
	2	81.81
	3	110
	Mo	97.27
	SD	14.29

L'indice d'absorption d'eau et l'indice de gonflement sont des paramètres clés permettant d'évaluer les caractéristiques fonctionnelles des pâtes. Ils reflètent notamment la capacité du produit à retenir l'eau, un facteur limitant important dans de nombreuses applications. Cette capacité est étroitement liée au processus de gélatinisation de l'amidon, un phénomène qui se produit notamment lors du traitement par extrusion et qui modifie la structure des composants amylacés des aliments ([Lorusso et al., 2017](#)).

Les résultats obtenus indiquent des valeurs moyennes de 90.6 % pour la pâte de quinoa blond et s'élèvent à 97.27 % pour la pâte de quinoa tricolore. Une augmentation notable de la capacité de rétention d'eau constatée dans les pâtes Trida de la farine de quinoa tricolore contre les pâtes Trida de la farine de quinoa blond. La capacité d'absorption d'eau est également influencée par plusieurs facteurs, notamment la teneur en fibres, la concentration en protéines (en particulier les acides aminés polaires) et la qualité du gluten. Ces éléments contribuent à expliquer les valeurs élevées observées ([Sobota and Zarzycki, 2013](#); [Torres et al., 2021](#)). L'augmentation de cette absorption favorise l'hydratation des composants et la formation de gels protéiques. Dans ce contexte, les liaisons hydrogène de l'amidon deviennent plus difficiles à rompre à des températures de gélatinisation relativement basses, ce qui peut limiter l'absorption d'eau et ralentir ce processus ([Suo et al., 2024](#)).

2.6. Indice de gonflement

Le tableau 13 présente les résultats de l'analyse de l'indice de gonflement des deux types de pâte Trida.

Tableau 13. Résultats des analyses de de gonflement de la pâte Trida.

Type de pâte Trida	Répétition	Indice de gonflement (g/g)
Blond	1	0.9
	2	1
	3	0.81
	Mo	0.9
	SD	0.09
Tricolore	1	1
	2	0.81
	3	1.1
	Mo	0.97
	SD	0.14

Les résultats obtenus révèlent des valeurs de l'indice de gonflement moyennes de 0.9 g/g pour les pâtes à base de quinoa blond, tandis qu'elle atteint 0.97 g/g pour celles élaborées à partir de quinoa tricolore. Cette différence traduit une augmentation notable de l'indice de gonflement dans les pâtes Trida formulées avec de la farine de quinoa tricolore, par rapport à celles préparées avec de la farine de quinoa blond. Ces résultats sont similaires à ceux de ([Torres et al., 2021](#); [Suo et al., 2024](#)). Selon [Repo-Carrasco et al. \(2003\)](#), l'indice de gonflement est lié à la capacité des protéines à se lier à l'eau et à former des gels. Il a été démontré que les protéines de quinoa présentent de bonnes propriétés de gélification. Ce processus implique l'agrégation de molécules protéiques dépliées, la formation de chaînes d'agrégats, puis leur interconnexion en un réseau tridimensionnel, ce qui pourrait expliquer les résultats observés.

2.7. Consistance de la pate

Une différence notable dans l'aspect visuel et textural a été observée entre les deux types de pâtes Trida. L'aspect des deux pâtes diffère nettement : la pâte Trida à base de quinoa blond présente une surface lisse et une texture rigide, contrairement à celle élaborée avec du quinoa tricolore, dont l'aspect est moins homogène. La pâte formulée à base de farine de quinoa blond présente une surface uniforme, lisse et une texture rigide, traduisant une structure plus cohésive et non collante. En revanche, la pâte à base de quinoa tricolore montre un aspect moins homogène, avec une texture visiblement moins lisse, une rigidité réduite et une structure collante. Ces différences pourraient être attribuées à la variation de composition entre les deux types de quinoa, notamment en termes de teneur en pigments, en fibres, ou encore en propriétés fonctionnelles des protéines, qui influencent directement la formation du réseau structurant de la pâte ([Suo et al., 2024](#)).

Conclusion

Conclusion

Le but de cette étude est de formuler des pâtes traditionnelles de type Trida en substituant entièrement la farine de blé par de la farine de quinoa, dans le but d'évaluer les caractéristiques physico-chimiques du produit final.

L'étude des caractéristiques physico-chimiques de la farine de quinoa et de la pâte traditionnelle Trida a permis de mettre en évidence des différences notables entre les deux types de quinoa étudiés : blond et tricolore. D'un point de vue granulométrique, la farine de quinoa blond présente des particules légèrement plus grossières, ce qui pourrait influencer la texture des produits finis. Les taux d'humidité relativement faibles observés dans les deux types de farine sont favorables à une bonne conservation, tandis que les valeurs de couleur indiquent une teinte plus claire et plus jaune pour la farine de quinoa blond, des caractéristiques visuellement appréciées.

L'absence de gluten dans les deux farines confirme leur intérêt pour les régimes sans gluten. Par ailleurs, la teneur en cendres, reflet de la richesse minérale, est globalement plus élevée dans les pâtes que dans les farines initiales, probablement en raison de la composition minérale de l'eau utilisée lors de la préparation.

Concernant les pâtes Trida, les résultats montrent que la pâte à base de quinoa blond est plus claire et plus jaune, avec un temps de cuisson plus long et un taux d'absorption d'eau légèrement inférieur à celle du quinoa tricolore. Ces résultats traduisent une influence directe des caractéristiques initiales des farines sur les propriétés finales des pâtes.

Ainsi, cette analyse met en évidence l'intérêt du quinoa, particulièrement dans ses deux formes étudiées, comme matière première alternative dans la fabrication de produits alimentaires traditionnels, tout en soulignant l'impact de ses propriétés physico-chimiques sur la qualité technologique et nutritionnelle des produits finis.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

- AACC, 2010. 11th Ed. American Association of Cereal Chemists International, St. Paul.
- AACC, A.A.o.C.C., 2000. Approved methods of the American association of cereal chemists, American Association of Cereal Chemists.
- Abbaz, C., Abdelazziz, N., 1998. Identification des produits à base de semoule et étude d'un type de pâte alimentaire: CHEKHCHOUKHA. Mémoire d'ingénieur I.N.A.T.A.A. Université de Constantine. Algérie. 91p. Mémoire d'ingénieur I.N.A.T.A.A. Université de Constantine. Algérie. 91p.
- Ahmadzai, H., 2020. Trends in quinoa adoption in marginal areas: an assessment of economic viability and policy outlook. *Journal of Agribusiness and Rural Development* 57, 235–247-235–247.
- Ahmed, J., Thomas, L., Arfat, Y.A., 2019. Functional, rheological, microstructural and antioxidant properties of quinoa flour in dispersions as influenced by particle size. *Food Research International* 116, 302-311.
- Alandia, G., Rodriguez, J., Jacobsen, S.-E., Bazile, D., Condori, B., 2020. Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security* 26, 100429.
- Alimentarius, C., 2006. Norma general del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos. *Codex Stan*, 193-1995.
- Apaza, V., Caceres, G., Estrada, R., Pinedo, R., 2013. Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Lima, Perú.
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., Pinedo, R., 2015. Catalogue of commercial varieties of quinoa in Perú.
- Arendt, E., Dal Bello, F., 2011. *Gluten-free cereal products and beverages*, Elsevier.
- Barthelemy, J., Clement, J., 1998. Evaluation sensorielle: Manuel méthodologique, TEC-DOC Lavoisier.
- Bastidas, E., Roura, R., Rizzolo, D., Massanés, T., Gomis, R., 2016. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), from nutritional value to potential health benefits: an integrative review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 2016, vol. 6, num. 3.
- Bazile, D., Bertero, H.D., Nieto, C., 2015. State of the Art Report on Quinoa around the World in 2013. FAO.
- Bazile, D., Jacobsen, S.-E., Verniau, A., 2016. The global expansion of quinoa: trends and limits. *Frontiers in plant science* 7, 622.
- Benlhabib, O., 2005. Les cultures alternatives: quinoa, amarante et épeautre. *Transfert de technologie en agriculture* 133.
- Bertero, H., King, R., Hall, A., 1999. Photoperiod-sensitive development phases in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research* 60, 231-243.
- Bertero, H.D., Ruiz, R.A., 2008. Determination of seed number in sea level quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *European Journal of Agronomy* 28, 186-194.
- Bhargava, A., Ohri, D., 2013. Quinoa in the Indian subcontinent. FAO and CIRAD: State of the Art Report of Quinoa in the World in, 511-523.
- Bhargava, A., Shukla, S., Ohri, D., 2006. *Chenopodium quinoa*—an Indian perspective. *Industrial crops and products* 23, 73-87.
- Bianchi, F., Tolve, R., Rainero, G., Bordiga, M., Brennan, C.S., Simonato, B., 2021. Technological, nutritional and sensory properties of pasta fortified with agro-industrial by-products: A review. *International Journal of Food Science and Technology* 56, 4356-4366.
- Boudalia, S., Gueroui, Y., Boumaza, B., Bousbia, A., Benada, B., Leksir, C., Mezroua, E.Y., Zemmouchi, K.R., Saoud, A., Chemmam, M., 2020. Evaluation of physicochemical

- properties and sensory qualities of pasta enriched with freeze-dried sweet whey. *Scientia agriculturae bohemia* 51, 75-85.
- Boudreau, A., Ménard, G., 1992. *Le blé: éléments fondamentaux et transformation*, Presses Université Laval.
- Boukid, F., 2025. Traditional cereals-based foods in North African cuisine: Wheat as the cornerstone. *North African Journal of Food and Nutrition Research* 9, 41-56.
- Brack Egg, A., 2003. Perú: diez mil años de domesticación.
- Brandolini, A., Lucisano, M., Mariotti, M., Hidalgo, A., 2018. A study on the quality of einkorn (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*) pasta. *Journal of Cereal Science* 82, 57-64.
- Bresciani, A., Pagani, M.A., Marti, A., 2022. Pasta-making process: A narrative review on the relation between process variables and pasta quality. *Foods* 11, 256.
- Bustos, M., Perez, G., Leon, A., 2015. Structure and quality of pasta enriched with functional ingredients. *Rsc Advances* 5, 30780-30792.
- Çağlayan, B., Kökten, K., 2021. Bingöl Koşullarında Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Genotiplerinin Adaptasyonu. *Ziraat Fakültesi Dergisi* 16, 220-225.
- Carrizo, S.L., de LeBlanc, A.d.M., LeBlanc, J.G., Rollán, G.C., 2020. Quinoa pasta fermented with lactic acid bacteria prevents nutritional deficiencies in mice. *Food Research International* 127, 108735.
- Chauhan, G.S., Zillman, R., Eskin, N.M., 1992. Dough mixing and breadmaking properties of quinoa-wheat flour blends. *International Journal of Food Science and Technology* 27, 701-705.
- Choukr-Allah, R., Rao, N.K., Hirich, A., Shahid, M., Alshankiti, A., Toderich, K., Gill, S., Butt, K.U.R., 2016. Quinoa for marginal environments: toward future food and nutritional security in MENA and Central Asia regions. *Frontiers in plant science* 7, 346.
- Cleary, L., Brennan, C., 2006. The influence of a (1→3)(1→4)-β-d-glucan rich fraction from barley on the physico-chemical properties and in vitro reducing sugars release of durum wheat pasta. *International journal of food science & technology* 41, 910-918.
- Contini, G.K., Simões, D.R.S., Los, P.R., Kotovicz, V., Bedin, A.C., Martins, A., Demiate, I.M., 2022. High nutritional value muffins produced with wholemeal rye (*Secale cereale* L.) and wholemeal bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour mix. *Food Science and Technology* 42, e30022.
- Contreras-Jiménez, B., Torres-Vargas, O.L., Rodríguez-García, M.E., 2019. Physicochemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and isolated starch. *Food chemistry* 298, 124982.
- Coțovanu, I., Batariuc, A., Mironeasa, S., 2020. Characterization of quinoa seeds milling fractions and their effect on the rheological properties of wheat flour dough. *Applied Sciences* 10, 7225.
- Del Castillo, C., Mahy, G., Winkel, T., 2008. La quinoa en Bolivie: une culture ancestrale devenue culture de rente" bio-équitable". BASE.
- Demir, B., Bilgiçli, N., 2021. Utilization of quinoa flour (*Chenopodium quinoa* Willd.) in gluten-free pasta formulation: Effects on nutritional and sensory properties. *Food science and technology international* 27, 242-250.
- Diantom, A., Curti, E., Carini, E., Boukid, F., Mattarozzi, M., Vodovotz, Y., Careri, M., Vittadini, E., 2019. A multi-scale approach for pasta quality features assessment. *Lwt* 101, 285-292.
- Diaz, J.M.R., Kirjoranta, S., Tenitz, S., Penttilä, P.A., Serimaa, R., Lampi, A.-M., Jouppila, K., 2013. Use of amaranth, quinoa and kañiwa in extruded corn-based snacks. *Journal of cereal science* 58, 59-67.
- Dib, A., Zidoune, M.N., 2003. Aptitudes technologiques et culinaires de pâtes alimentaires enrichies au germe de blé. Université Frères Mentouri-Constantine 1.

- FAO, 2013. International year of quinoa 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Latin America and the Caribbean 2013, <http://www.fao.org/quinoa-2013/en/>.
- FAO, 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations. . FAOSTAT statistical database.
- Feillet, P., Autran, J., Icard-Verniere, C., 2000. Bases biochimiques du brunissement des pâtes alimentaires. Options méditerranéennes e Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges. Numéro A 40, 431e438.
- Foschia, M., Peressini, D., Sensidoni, A., Brennan, M.A., Brennan, C.S., 2015. How combinations of dietary fibres can affect physicochemical characteristics of pasta. LWT- Food Science and Technology 61, 41-46.
- Foucault, A.-S., Even, P., Lafont, R., Dioh, W., Veillet, S., Tomé, D., Huneau, J.-F., Hermier, D., Quignard-Boulangé, A., 2014. Quinoa extract enriched in 20-hydroxyecdysone affects energy homeostasis and intestinal fat absorption in mice fed a high-fat diet. Physiology & behavior 128, 226-231.
- Gagaoua, M., Boudechicha, H.-R., 2018. Ethnic meat products of the North African and Mediterranean countries: An overview. Journal of Ethnic Foods 5, 83-98.
- Galwey, N., 1995. Quinoa and relatives. Evolution of crop plants, Longman, Harlow, UK, pp. 41-46.
- Galwey, N., Leahey, C.L.A., Price, K.R., Fenwick, G.R., 1989. Chemical composition and nutritional characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Food sciences and nutrition 42, 245-261.
- Gandarillas, H., 1979. Genética y origen. Quinoa y Kañiwa, cultivos andinos. Bogota, Colombia, CIID, Oficina Regional para América Latina, 45-64.
- Gautam, R.K., Kakatkar, A.S., Mishra, P.K., Kumar, V., Chatterjee, S., 2021. Development of shelf-stable, ready to cook (RTC) intermediate moisture (IM) shrimp and its shelf life extension using hurdle technology. Journal of Agriculture and Food Research 6, 100199.
- Giménez, M.A., Drago, S.R., Bassett, M.N., Lobo, M.O., Samman, N.C., 2016. Nutritional improvement of corn pasta-like product with broad bean (*Vicia faba*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*). Food chemistry 199, 150-156.
- Graf, B.L., Rojas-Silva, P., Rojo, L.E., Delatorre-Herrera, J., Baldeón, M.E., Raskin, I., 2015. Innovations in health value and functional food development of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Comprehensive reviews in food science and food safety 14, 431-445.
- Guardianelli, L., Puppo, M.C., Salinas, M.V., 2021. Influence of pistachio by-product from edible oil industry on rheological, hydration, and thermal properties of wheat dough. Lwt 150, 111917.
- Guinet, R., Godon, B., 1994. La panification française (pp. 521-p). Lavoisier.
- Gül, M., Tekce, E., 2016. Hayvan beslemede yeni bir yem maddesi; Kinoa. Yem Magazine 24, 29-35.
- Gull, A., Prasad, K., Kumar, P., 2018. Nutritional, antioxidant, microstructural and pasting properties of functional pasta. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 17, 147-153.
- Hadbi, T., Kassoul, A., Mokadem, M., 2022. CHEMICAL CHARACTERIZATION AND STATISTICAL ANALYSIS OF BOTTLED WATERS IN ALGERIA.
- Herbillon, M., 2015. Le quinoa: intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques.
- Hinojosa, L., González, J.A., Barrios-Masias, F.H., Fuentes, F., Murphy, K.M., 2018. Quinoa abiotic stress responses: A review. Plants 7, 106.
- Hou, G.G., 2010. Asian noodles: Science, technology, and processing, John Wiley & Sons.
- Itusaca-Maldonado, Y.M., Apaza-Humerez, C.R., Pumacahua-Ramos, A., Pinto, E.M., 2024. Technological and textural properties of gluten-free quinoa-based pasta (*Chenopodium quinoa* Wild). Heliyon 10.

- Izquierdo Fernández, J., 2001. Cultivos andinos, Version 1.0.[CD-ROM]. Santiago: FAO.
- Jacobsen, S.-E., 1997. Adaptation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) to Northern European agriculture: studies on developmental pattern. *Euphytica* 96, 41-48.
- Jacobsen, S.-E., Stølen, O., 1993. Quinoa-morphology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe. *European Journal of Agronomy* 2, 19-29.
- Jacobsen, S.E., 2017. The scope for adaptation of quinoa in Northern Latitudes of Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science* 203, 603-613.
- James, L.E.A., 2009. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in food and nutrition research* 58, 1-31.
- Jancurová, M., Minarovicová, L., Dandar, A., 2009. Quinoa—a review. *Czech Journal of Food Sciences* 27, 71-79.
- Kakabouki, I., Bilalis, D., Karkanis, A., Zervas, G., Tsiplakou, E., Hela, D., 2014. Effects of fertilization and tillage system on growth and crude protein content of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An alternative forage crop. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 26, 18.
- Kamali Roustae, L., Pouya Ghandehari Yazdi, A., Khorasani, S., Tavakoli, M., Ahmadi, Z., Amini, M., 2021. Optimization of novel multigrain pasta and evaluation of physicochemical properties: using D-optimal mixture design. *Food Science & Nutrition* 9, 5546-5556.
- Kaya, E., Yılmaz Tuncel, N., Tuncel, N.B., 2018. Utilization of lentil, pea, and faba bean hulls in Turkish noodle production. *Journal of food science and technology* 55, 1734-1745.
- Khatri, M., Singh, A., Singh, R., Kamble, D.B., Dar, A.H., Sharma, A., 2023. Optimization and evaluation of quinoa and chia based gluten free pasta formulation. *Food and Humanity* 1, 174-179.
- Konishi, Y., Hirano, S., Tsuboi, H., Wada, M., 2004. Distribution of minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry* 68, 231-234.
- Laty, D., Mallet, J.-B., 2002. *Le régime des pâtes*, Odile Jacob.
- Leonard, M.M., Sapone, A., Catassi, C., Fasano, A., 2017. Celiac disease and nonceliac gluten sensitivity: a review. *Jama* 318, 647-656.
- Lim, T., 2013. *Chenopodium quinoa*. *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants: Volume 5, Fruits*, 115-131.
- Linares-García, L., Repo-Carrasco-Valencia, R., Glorio Paulet, P., Schoenlechner, R., 2019. Development of gluten-free and egg-free pasta based on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) with addition of lupine flour, vegetable proteins and the oxidizing enzyme POx. *European Food Research and Technology* 245, 2147-2156.
- Lorenzo, G., Sosa, M., Califano, A., 2018. Alternative proteins and pseudocereals in the development of gluten-free pasta. *Alternative and replacement foods*, Elsevier, pp. 433-458.
- Lorusso, A., Verni, M., Montemurro, M., Coda, R., Gobetti, M., Rizzello, C.G., 2017. Use of fermented quinoa flour for pasta making and evaluation of the technological and nutritional features. *Lwt* 78, 215-221.
- Maamri, K., Zidane, O.D., Chaabena, A., Fiene, G., Bazile, D., 2022. Adaptation of some quinoa genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd.), grown in a saharan climate in Algeria. *Life* 12, 1854.
- Marti, A., Caramanico, R., Bottega, G., Pagani, M.A., 2013. Cooking behavior of rice pasta: Effect of thermal treatments and extrusion conditions. *LWT-Food Science and Technology* 54, 229-235.
- Marti, A., Pagani, M.A., Seetharaman, K., 2014. Textural attributes of wheat and gluten free pasta. *Food texture design and optimization*, 222-244.
- Mmereki, D., David Jr, V.E., Wreh Brownell, A.H., 2024. The management and prevention of food losses and waste in low-and middle-income countries: A mini-review in the Africa region. *Waste Management & Research* 42, 287-307.

- Mogra, R., Midha, S., 2013. Value addition of traditional wheat flour vermicelli. *Journal of food science and technology* 50, 815-820.
- Mohamed Ahmed, I.A., Al Juhaimi, F., Özcan, M.M., 2021. Insights into the nutritional value and bioactive properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*): past, present and future prospective. *International Journal of Food Science and Technology* 56, 3726-3741.
- Mora Guzmán, A.C., 2012. Evaluación de la calidad de cocción y calidad sensorial de pasta elaborada a partir de mezclas de sémola de trigo y harina de quinua. Universidad Nacional de Colombia.
- Moumni Abdou, H., Dahbi, I., Akrim, M., Meski, F.Z., Khader, Y., Lakranbi, M., Ezzine, H., Khattabi, A., 2019. Outbreak investigation of a multipathogen foodborne disease in a training institute in Rabat, Morocco: case-control study. *JMIR public health and surveillance* 5, e14227.
- Mu, J., Qi, Y., Gong, K., Brennan, M.A., Ma, Q., Wang, J., Brennan, C.S., 2023. Effects of quinoa flour (*Chenopodium Quinoa* Willd) substitution on wheat flour characteristics. *Current Research in Food Science* 7, 100556.
- Mujica, Á., Jacobsen, S.-E., Izquierdo, J., Marathe, J.P., 2001. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Santiago, Chile: FAO, UNAPuno, CIP.
- National Pasta Association, 2017. https://www.ilovepasta.org/sites/default/files/pictures/2012_Pasta_Fun_Facts.pdf. Accessed April 18, 2017.
- Nilusha, R., Jayasinghe, J., Perera, O., Perera, P., 2019. Development of pasta products with nonconventional ingredients and their effect on selected quality characteristics: A brief overview. *International Journal of Food Science* 2019, 6750726.
- Ogunbenle, H., 2003. Nutritional evaluation and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour. *International journal of food sciences and nutrition* 54, 153-158.
- Ohm, J.B., Ross, A., Peterson, C., Ong, Y.L., 2008. Relationships of high molecular weight glutenin subunit composition and molecular weight distribution of wheat flour protein with water absorption and color characteristics of noodle dough. *Cereal Chemistry* 85, 123-131.
- Oubahli, M., 2008. Le banquet d'Ibn 'Ali Masfiwi, lexique, notes et commentaires. Approche historique et anthropologique. *Horizons Maghrébins-Le droit à la mémoire* 59, 114-145.
- Ozdemir, S., Cacan, E., 2024. Discover Quinoa (*Chenopodium Quinoa*. the Americas 128, 7.
- Peterson, A., Jacobsen, S.-E., Bonifacio, A., Murphy, K., 2015. A crossing method for quinoa. *Sustainability* 7, 3230-3243.
- Petitot, M., 2009. Pâtes alimentaires enrichies en légumineuse: structuration des constituants au cours du procédé: impact sur la qualité culinaire et les propriétés nutritionnelles des pâtes. Montpellier SupAgro.
- Petitot, M., Boyer, L., Minier, C., Micard, V., 2010. Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International* 43, 634-641.
- Prego, I., Maldonado, S., Otegui, M., 1998. Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. *Annals of Botany* 82, 481-488.
- Rani, S., Singh, R., Kamble, D.B., Upadhyay, A., Kaur, B.P., 2019. Structural and quality evaluation of soy enriched functional noodles. *Food Bioscience* 32, 100465.
- Repo-Carrasco, R., Espinoza, C., Jacobsen, S.-E., 2003. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food reviews international* 19, 179-189.
- Risi, C.J., Galwey, N., 1984. The *Chenopodium* grains of the Andes: Inca crops for modern agriculture.

- Schoenlechner, R., Drausinger, J., Ottenschlaeger, V., Jurackova, K., Berghofer, E., 2010. Functional properties of gluten-free pasta produced from amaranth, quinoa and buckwheat. *Plant foods for human nutrition* 65, 339-349.
- Sharma, V., Chandra, S., Dwivedi, P., Parturkar, M., 2015. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): A nutritional healthy grain. *International Journal of Advanced Research* 3, 725-736.
- Sicignano, A., Di Monaco, R., Masi, P., Cavella, S., 2015. From raw material to dish: Pasta quality step by step. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95, 2579-2587.
- Singh, D., 2019. *Quinoa (Chenopodium Quinoa Willd)*, Scientific Publishers.
- Sobota, A., Rzedzicki, Z., Zarzycki, P., Kuzawińska, E., 2015. Application of common wheat bran for the industrial production of high-fibre pasta. *International Journal of Food Science and Technology* 50, 111-119.
- Sobota, A., Zarzycki, P., 2013. Effect of pasta cooking time on the content and fractional composition of dietary fiber. *Journal of Food Quality* 36, 127-132.
- Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica, D., Jacobsen, S.-E., Milovanovic, M., 2012. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. *Journal of cereal science* 55, 132-138.
- Suo, X., Dall'Asta, M., Giuberti, G., Minucciani, M., Wang, Z., Vittadini, E., 2024. Effect of "shape" on technological properties and nutritional quality of chickpea-corn-rice gluten free pasta. *Lwt* 192, 115661.
- Sykut-Domańska, E., Zarzycki, P., Sobota, A., Teterycz, D., Wirkijowska, A., Blicharz-Kania, A., Andrejko, D., Mazurkiewicz, J., 2020. The potential use of by-products from coconut industry for production of pasta. *Journal of Food Processing and Preservation* 44, e14490.
- Tapia, M., 1979. *La quinua y la kañiwa: cultivos andinos*, Bib. Orton IICA/CATIE.
- Tapia, M.E., 1997. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación.
- Teterycz, D., Sobota, A., Zarzycki, P., Latoch, A., 2020. Legume flour as a natural colouring component in pasta production. *Journal of food science and technology* 57, 301-309.
- Torres, O.L., Lema, M., Galeano, Y.V., 2021. Effect of using quinoa flour (*Chenopodium quinoa* Willd.) on the physicochemical characteristics of an extruded pasta. *International Journal of Food Science* 2021, 8813354.
- Valcárcel-Yamani, B., Lannes, S.d.S., 2012. Applications of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and amaranth (*Amaranthus* spp.) and their influence in the nutritional value of cereal based foods.
- Valencia-Chamorro, S., 2004. Quinoa. *Encyclopedia of grain science*. P.
- Valencia-Chamorro, S.A., 2003. Quinoa. *Encyclopedia of food sciences and nutrition*, 4895-4902.
- 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, 2541-2547.
- Vilcacundo, R., Hernández-Ledesma, B., 2017. Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current opinion in food science* 14, 1-6.
- Walsh, D., Gilles, K., 1977. *Pasta Technology Elements of Food Technology*. Desroiser, NW, Ed.
- Wang, Y., Gong, X., Zhang, Y., Geng, D.H., Cao, L., Ruan, C., Yu, L., Zhang, D., Tong, L.T., 2020. Effect of peeling treatment on the physicochemical properties of quinoa flour. *Journal of Food Process Engineering* 43, e13387.
- Webb, D., 2019. Pasta's history and role in healthful diets. *Nutrition Today* 54, 213-220.
- Wieme, R.A., Reganold, J.P., Crowder, D.W., Murphy, K.M., Carpenter-Boggs, L.A., 2020. Productivity and soil quality of organic forage, quinoa, and grain cropping systems in the dryland Pacific Northwest, USA. *Agriculture, ecosystems & environment* 293, 106838.

- Wilson, H.D., 1988. Quinoa biosystematics II: free-living populations. *Economic Botany* 42, 478-494.
- Wrigley, C.W., Corke, H., Seetharaman, K., Faubion, J., 2015. *Encyclopedia of food grains*, Academic Press.
- Wrigley, C.W., Corke, H., Walker, C.E., 2004. *Encyclopedia of grain science*, Academic Press.
- Xu, X., Luo, Z., Yang, Q., Xiao, Z., Lu, X., 2019. Effect of quinoa flour on baking performance, antioxidant properties and digestibility of wheat bread. *Food chemistry* 294, 87-95.
- Zurita-Silva, A., Fuentes, F., Zamora, P., Jacobsen, S.-E., Schwember, A.R., 2014. Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential and perspectives. *Molecular Breeding* 34, 13-30.