

République Algérienne Démocratique et Populaire



Université Abdelhamid Ibn Badis  
Mostaganem

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة عبد الحميد ابن باديس  
مستغانم  
كلية علوم الطبيعة والحياة

DÉPARTEMENT DES SCIENCES ALIMENTAIRES

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

Mme SAHNOUNE Fatima Zahra

Mme BENDIF Lamia

Pour l'obtention du diplôme de

### **MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES**

**Spécialité : Agroalimentaire et contrôle de qualité**

#### THÈME

**Contribution à l'évaluation de l'effet d'incorporation de la farine cuite de Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) sur la qualité d'un yaourt brassé au cours de la conservation au froid.**

Soutenu publiquement le 14/09/2022

Devant les membres du jury :

<b>Président :</b>	M BENABDELMOUMENE Djilali	MCA	U. Mostaganem
<b>Rapporteur :</b>	M. AÏT SAADA Djamal	MCA	U. Mostaganem
<b>Examineur :</b>	Mme AIT CHABANE Ouiza	MCA	U. Mostaganem

*Mémoire réalisé au Laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition- Université de Mostaganem.*

*Année universitaire : 2021/2022*

## Résumé :

Cette étude consiste à exploiter la farine de quinoa en vue de renforcer un yaourt type brassé et créer un nouveau produit laitier. En effet, le quinoa est nouvellement introduit en Algérie, et reconnu par sa grande capacité d'adaptation aux conditions pédoclimatiques très rudes, ainsi que par sa richesse en acides aminés, oligo-éléments et composés bioactifs, en outre c'est une pseudo-céréale dépourvue en gluten.

Ce travail a permis d'étudier l'évolution de quelques paramètres physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles du yaourt brassé additionné d'une farine cuite de quinoa à différents taux (0, 3, 6 et 9 %) au cours de la période de post-acidification.

L'évolution des paramètres physico-chimiques au cours de la période post acidification a révélé une augmentation progressive de l'acidité et qui est proportionnelle avec le taux d'incorporation de la farine cuite de quinoa. Les résultats obtenus restent dans l'intervalle de la conformité des spécifications réglementaires mise à part le yaourt brassé additionné de 9% de la farine de quinoa qui a dépassé cet intervalle à la fin de la période de conservation. En revanche, une diminution de pH en fonction des taux d'incorporation du quinoa dans le yaourt brassé a été constatée.

De plus, la viscosité des yaourts s'est avérée d'autant plus augmentée et donc améliorée que le niveau d'ajout de la farine de la plante est rehaussé dans les yaourts.

Les analyses microbiologiques ont montré durant toute la période de stockage de nettes diminutions du nombre de *Streptococcus thermophilus* en fonction de l'accroissement du taux d'ajout de la farine de quinoa dans le produit. En revanche, comparativement au témoin la plus forte charge en *Lactobacillus bulgaricus* a été révélée dans le yaourt à 3% de farine cuite de quinoa ( $p < 0.01$ ) ;  $19 \cdot 10^5$  vs  $29 \cdot 10^5$  UFC/ml.

Les résultats organoleptiques ont révélé que le yaourt brassé additionné de 6% de de quinoa a été le mieux apprécié par le jury de dégustation comparativement aux autres produits en terme d'acidité, odeur, de goût et de couleur et apparemment il semble possible d'incorporer la farine de la plante à un taux allant jusqu'à 6% sans altérer la qualité organoleptique et physico-chimiques du yaourt.

**Mots-Clés :** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), yaourt, brassé, farine cuite, incorporation, qualité.

**Abstract:**

This study consists in exploiting quinoa flour in order to strengthen a stirred-type yogurt and create a new dairy product. Indeed, quinoa is newly introduced in Algeria, and recognized by its great capacity to adapt to very harsh pedoclimatic conditions, as well as by its richness in amino acids, trace elements and bioactive compounds, moreover it is a pseudo- gluten-free cereal.

This work made it possible to study the evolution of some physico-chemical, microbiological and sensory parameters of stirred yoghurt added with cooked quinoa flour at different rates (0, 3, 6 and 9%) during the post-acidification.

The evolution of the physicochemical parameters during the post acidification period revealed a gradual increase in acidity which is proportional to the rate of incorporation of the cooked quinoa flour. The results obtained remain within the compliance interval of the regulatory specifications apart from the stirred yoghurt with 9% quinoa flour added which exceeded this interval at the end of the storage period. On the other hand, a decrease in pH depending on the rate of incorporation of quinoa into the stirred yogurt was observed.

In addition, the viscosity of yogurts was found to be all the more increased and therefore improved as the level of addition of quinoa flour is increased in yogurts.

The microbiological analyzes showed, throughout the storage period, clear reductions in the number of *Streptococcus thermophilus* as a function of the increase in the rate of addition of quinoa flour to the product. On the other hand, compared to the control, the highest load of *Lactobacillus bulgaricus* was revealed in the yoghurt with 3% cooked quinoa flour ( $p < 0.01$ ); 19,105 vs. 29,105 CFU/ml.

The organoleptic results revealed that the stirred yogurt with 6% quinoa added was the best appreciated by the tasting panel compared to the other products in terms of acidity, smell, taste and color and apparently it seems possible to incorporate plant flour at a rate of up to 6% without altering the organoleptic and physico-chemical quality of the yoghurt.

**Keywords:** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), yogurt, stirred, cooked flour, incorporation, quality.

## ملخص

مهمتنا هي استغلال دقيق الكينوا بهدف إثراء أنواع الزبادي وإنشاء نوع جديد من منتجات الألبان. في الواقع، تم إدخال الكينوا حديثاً في الجزائر، ومعترف بها من خلال قدرتها الكبيرة على التكيف مع الظروف المناخية القاسية للغاية، فضلاً عن غناها بالأحماض الأمينية والعناصر المعدنية، علاوة على أنها حبوب خالية من الغلوتين.

أتاح لنا هذا العمل دراسة تطور بعض العوامل الفيزيائية والكيميائية والميكرو بيولوجية والحسية للزبادي المخفوق الذي أضيف إليه دقيق الكينوا بمعدلات مختلفة، أثناء التحضير والتخزين.

أظهر تطور المعلمات الفيزيائية والكيميائية خلال فترة ما بعد التخمير زيادة تدريجية في الحموضة تتناسب مع معدل دمج دقيق الكينوا، وتبقى النتائج التي تم الحصول عليها في نطاق الامتثال للمواصفات التنظيمية باستثناء الزبادي المخفوق بنسبة 9% من دقيق الكينوا الذي تجاوز الفاصل في نهاية فترة التخزين، ومع ذلك، انخفض الرقم الهيدروجيني لجميع معدلات دمج الزبادي المخمر.

أظهرت النتائج الميكروبيولوجية انخفاضاً في *Lactobacillus bulgaricus* و *Streptococcus thermophilus* وعلى وجه الخصوص زيادة ملحوظة في سلالة *Streptococcus thermophilus*. اليوم السابع في حالة الزبادي المخفوق مضافة إلى 3 و 6% ثم انخفض هذا الرقم في اليوم الرابع عشر حتى نهاية الحفظ.

أكدت نتائج لجنة التذوق أن المنتج المرضي وفقاً للتحليلات الحسية التي أجريت خلال الاختبار الحسي، والذي تم تقديره من قبل جميع الأشخاص الذين تم استجوابهم، هو الزبادي المخفوق الذي أضيف إليه 6% من دقيق الكينوا. من حيث الحموضة والرائحة والطعم واللون ويمكن دمج دقيق الكينوا بنسبة تصل إلى 6% دون تغيير جودة الزبادي.

أخيراً، يمكننا القول أنه من أجل فهم تفاعل وعمل بكتيريا اللاكتيك بشكل أفضل مع دقيق الكينوا، من المهم الاستمرار والنظر في دراسة الدكتوراه في هذا السياق لأن هذا العمل يستحق التجديد والاستمرار عن طريق أخذ دراسة المعلمات أخرى في الاعتبار من أجل استغلالها بشكل أفضل على المستوى الصناعي.

**الكلمات المفتاحية:** الكينوا، الزبادي، خصائص الزبادي، دقيق مطبوخ، الجودة.

## ***Remerciements***

En tout premier lieu, on remercie le bon Dieu, le tout puissant et le tout miséricordieux pour nous avoir donné la force, le courage ainsi que la volonté afin de mener à bien ce modeste travail.

On tient à remercier énormément et sincèrement notre encadreur M Ait Saada D, MCA à l'université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem, pour avoir accepté de nous encadrer et nous donner la chance de travailler sur ce thème ; on le remercie également pour son aide, ses conseils avisés et son accompagnement méticuleux afin de réaliser ce travail en nous laissant travailler librement au sein de son laboratoire de recherche.

On remercie extrêmement le directeur de ITDAS de la wilaya de Biskra d'avoir nous envoyer l'échantillon du Quinoa.

Nos remerciements s'adressent éventuellement dans la même ligne de conduite aux membres de Jury en occurrence :

- **M. BENABDELMOUMENE Djilali**, MCA à l'Université Abdelhamid Ibn Badis d'avoir accepté de présider le jury de soutenance ; on est sincèrement très honoré par votre présence.
- **Mme AIT CHABANE Ouiza**, MCA à l'Université Abdelhamid Ibn Badis qui nous a fait l'honneur d'évaluer ce travail ; on lui adresse nous respectueux remerciements.

On tient aussi à exprimer toute notre reconnaissance à tous les enseignants qui durant cette année universitaire nous ont transmis leur savoir et leur passion pour la science.

On tient à remercier vivement et particulièrement la technicienne du laboratoire de recherche en Technologie Alimentaire et Nutrition de l'université de Mostaganem pour sa précieuse collaboration à l'aboutissement de notre thématique de recherche.

Un merci spécial à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'études.

## Liste des abréviations :

**°D** : degré Dornic.

**FAO** : Food and Agriculture Organisation.

**GIPLait** : Groupe industriel des productions laitières.

**INPV** : Institut National de la Protection des Végétaux.

**INRAA** : Institut National de Recherche d'Agriculture –Algérie.

**INRF** : Institut national de recherche forestière.

**INSID** : Institut National des Sols, de l'Irrigation et Drainage.

**ITDAS** : Institut technique du développement de l'agronomie saharienne.

**ITGC** : Institut Technique des Grandes Cultures.

**LB** : *Lactobacillus bulgaricus*.

**M17** : Gélose de Terzaghi.

**MRS** : Man Rogosa Sharpe.

**NaCl** : Chlorure de sodium.

**NaOH** : hydroxyde de sodium.

**PH** : Potentiel hydrogène.

**Ppm** : partie par million.

**St** : *Streptococcus thermophilus*.

## Liste des figures

<b>Figure 01.</b> Répartition géographique de quinoa.....	7
<b>Figure 02.</b> Panicule de quinoa.....	8
<b>Figure 03.</b> Phénologie du quinoa.....	9
<b>Figure 04.</b> Carte des productions mondiales de quinoa en 2003.....	10
<b>Figure 05.</b> Carte des pays participants au projet d'introduction de quinoa.....	19
<b>Figure 06.</b> Localisation des sites des essais d'introduction de quinoa en Algérie.....	20
<b>Figure 07.</b> Grains de quinoa avant cuisson.....	41
<b>Figure 08.</b> Préparation de la farine de quinoa.....	42
<b>Figure 09.</b> Préparation du levain.....	43
<b>Figure 10.</b> Étuvage des pots de lait à 45°C pendant trois heures et demie.....	44
<b>Figure 11.</b> La mise des pots de yaourt brassé au réfrigérateur.....	44
<b>Figure 12.</b> L'addition de la farine de quinoa dans le yaourt brassé.....	45
<b>Figure 13.</b> Équipement de l'Infranéo de Chopin Technologie.....	45
<b>Figure 14.</b> Équipement du Rotachock de Chopin Technologie.....	46
<b>Figure 15.</b> Équipement de Falling Number.....	47
<b>Figure 16.</b> Mesure du PH par un PH mètre.....	48
<b>Figure 17.</b> L'opération du titrage de l'acidité dornic.....	49
<b>Figure 18.</b> Préparation des dilutions à partir de la solution mère.....	50
<b>Figure 19.</b> Ensemencement du <i>Streptococcus thermophilus</i> .....	51
<b>Figure 20.</b> Ensemencement du <i>Lactobacillus bulgaricus</i> .....	51

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01.</b> Les stades phénologiques du quinoa.....	<b>10</b>
<b>Tableau 02.</b> Comparaison des valeurs nutritionnelles des céréales et du quinoa (comestible 100 g).....	<b>14</b>
<b>Tableau 03.</b> Les tamis utilisés dans la granulométrie.....	<b>46</b>
<b>Tableau 04.</b> Résultats d'analyses physico-chimique de la farine de quinoa par infrarouge.....	<b>52</b>
<b>Tableau 05.</b> Résultats d'analyses de la granulométrie de la farine de quinoa.....	<b>52</b>
<b>Tableau 06.</b> Résultats d'analyses de l'indice de chute de la farine de quinoa.....	<b>53</b>
<b>Tableau 07.</b> Effet de l'addition de la farine cuite de Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa willd</i> ) sur les variations de l'acidité titrable ( $^{\circ}$ D) des laits fermentés type yaourt brassé au cours de la conservation à 4 °C.....	<b>55</b>
<b>Tableau 08.</b> Effet de l'addition de la farine cuite de Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa willd</i> ) sur les variations de pH des laits fermentés type yaourt brassé au cours de la conservation à 4 °C.....	<b>56</b>
<b>Tableau 09.</b> Effet de l'addition de la farine cuite de Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa willd</i> ) sur les variations de la viscosité (Pas) des laits fermentés type yaourt brassé au cours de la conservation à 4 °C.....	<b>57</b>
<b>Tableau 10.</b> Effet de l'addition de la farine cuite de Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa willd</i> ) sur les variations du nombre de <i>Streptococcus thermophilus</i> (UFC/ml) des laits fermentés type yaourt brassé au cours de la conservation à 4 °C.....	<b>60</b>
<b>Tableau 11.</b> Effet de l'addition de la farine cuite de Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa willd</i> ) sur les variations du nombre de <i>Lactobacillus bulgaricus</i> (UFC/ml) des laits fermentés type yaourt brassé au cours de la conservation à 4 °C.....	<b>61</b>
<b>Tableau 12.</b> Évaluation sensorielle de l'acidité des yaourts brassés additionnés de la farine de Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa willd</i> ) au cours de la conservation au froid à 4°C.....	<b>59</b>
<b>Tableau 13.</b> Évaluation sensorielle de l'arrière-goût des yaourts brassés additionnés de la farine cuite de Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa Willd</i> ) au cours de la conservation.....	<b>62</b>



## Liste des tableaux

- Tableau 14.** Évaluation sensorielle de l'adhésivité des yaourts brassés additionnés de la farine cuite de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) au cours de la conservation.....**62**
- Tableau 15.** Évaluation sensorielle de la cohésivité des yaourts brassés additionnés de la farine cuite de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) au cours de la conservation.....**63**
- Tableau 16.** Évaluation sensorielle de la sensation de grumeaux des yaourts brassés additionnés de la farine cuite de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) au cours de la conservation.....**64**
- Tableau 17.** Évaluation sensorielle de l'odeur des yaourts brassés additionnés de la farine cuite de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) au cours de la conservation .....**64**
- Tableau 18.** Évaluation sensorielle de la couleur des yaourts brassés additionnés de la farine cuite de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) au cours de la conservation .....**65**

**Résumé**

**Remerciements**

**Dédicaces**

**Liste des abréviations, sigles**

**et acronymes. Liste des**

**figures Liste des tableaux**

## **Table des matières**

Introduction générale..... 01

### **Partie 1 : Etude bibliographique**

#### **Chapitre I : Le Quinoa**

1. Introduction ..... 05

2. Origine et historique et situation géographique..... 06

3. Classification scientifique ..... 07

4. Exigence de la culture du quinoa..... 08

4.1 Exigences climatiques ..... 08

4.2 Exigences édaphiques ..... 08

4.3 Exigences hydriques ..... 09

5. Phénologie de quinoa ..... 09

6. Phytochimiques du quinoa ..... 11

6.1 Les saponines ..... 11

6.2 Les phytostérols..... 11

6.3 Phytoecdystéroïdes ..... 12

7. Caractéristiques nutritionnelles ..... 12

1. Effets de la consommation de quinoa sur la santé..... 14

2. Activité antioxydante du quinoa ..... 16

3. Effets allergiques du quinoa ..... 16

4. Utilisation de quinoa ..... 17

5. Importance économique de la culture du Quinoa dans le monde ..... 17

6. Introduction du quinoa en Algérie ..... 18

#### **Chapitre II. Le yaourt**

Introduction ..... 23

1. Définitions ..... 23

1.1 Définitions du lait fermenté.....	23
1.2 Définitions de yaourt .....	24
2. Différents types du yaourt .....	24
3. Bactéries caractéristiques du yaourt.....	25
3.1 <i>Streptococcus thermophilus</i> .....	25
3.2 <i>Lactobacillus bulgaricus</i> .....	26
3.3 Caractéristiques générales des bactéries du yaourt.....	27
3.4 Intérêts et fonctions des bactéries du yaourt.....	28
3.4.1 Production d'acide lactique.....	28
3.4.2 Activité protéolytique .....	29
3.4.3 Activité aromatique .....	29
3.4.4 Activité texturant.....	30
4. Technologie de Fabrication du yaourt.....	31
4.1 Standardisation du mélange .....	31
4.2 Homogénéisation.....	31
4.3 Traitement thermique.....	32
4.4 Refroidissement à la température de fermentation.....	33
4.5 Ensemencement.....	33
4.6 Incubation .....	33
4.7 Arrêt de la fermentation (refroidissement).....	34
4.8 Conditionnement .....	34
5. Fabrication selon le type de yaourt .....	34
5.1 Yaourt ferme.....	34
5.2 Yaourt brassé.....	35
5.3 Yaourt à boire.....	36
6 Défauts et altérations du yaourt .....	36
6.1 Défauts de goût .....	36
6.2 Défauts d'apparence.....	37
6.3 Défauts de texture.....	37
7.Effets bénéfiques des yaourts sur la santé .....	38

## **Partie 2 : expérimentale**

### **Matériels et méthodes**

1. Objectifs .....	41
2. Préparation de la matière végétale.....	41
3. Préparation du levain pour le yaourt brassé .....	43
4. Technologie de fabrication des laits fermentés expérimentaux .....	43
5. Mesures et contrôles .....	45
5.1. Analyse physico chimique et technologique de la farine de quinoa.....	45
5.1.1. Humidité, protéines et cendre.....	45
5.1.2. Granulométrie.....	46
5.1.3. Indice de chute.....	46
5.2. Analyses sur les laits fermentés.....	47
5.2.1. Analyses physico-chimiques .....	47
5.2.1.1 pH.....	47
5.2.1.2. Acidité Dornic .....	48
5.2.1.3. Viscosité dynamique .....	49
5.2.2. Analyses microbiologiques .....	50
5.2.2.1. <i>Streptococcus thermophilus</i> .....	51
5.2.2.2. <i>Lactobacillus bulgaricus</i> .....	51
5.2.3 Test organoleptique .....	51

## **Résultats et discussions**

1. Résultats .....	52
1. 1 Analyse physico chimique et technologique de la farine de quinoa .....	52
1.1.1 Taux humidité, protéines et de cendre .....	52
1.1.2. Granulométrie.....	52
1.1.3. Mesure de l'indice de chute .....	52
1.2 Qualité des Yaourts brassés au quinoa .....	53
1. 2.1 Acidité.....	53
1.2. 2. pH .....	53
1.2.3. Viscosité.....	54
1.2.4. Bactéries spécifiques du yaourt.....	58
1.2.4.1. <i>Streptococcus thermophilus</i> .....	58
1.2.4.2. <i>Lactobacillus bulgaricus</i> .....	58

1.2.5. Tests organoleptiques.....	58
1.2.5.1 Acidité.....	58
1.2.5.2 Arrière-goût.....	59
1.2.5.3 Adhésivité.....	62
1.2.5.4 Cohésivité.....	63
1.2.5.5 Sensation de grumeaux.....	63
1.2.5.6 Odeur.....	64
1.2.5.7 Couleur.....	65
2. Discussion générale.....	66
<b>Conclusion</b> .....	<b>71</b>
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>73</b>
<b>Annexes</b> .....	<b>86</b>

## Introduction générale :

Le quinoa (*Chénopodium Quinoa. willd*) est une plante originaire des Andes en Amérique du sud. Il se caractérise par une qualité protéique exceptionnelle et une teneur élevée en une gamme de vitamines et de minéraux. En plus, c'est un produit sans gluten, ce qui le rend incontournable pour les personnes sensibles au gluten ou atteintes de maladie cœliaque.

L'utilisation du quinoa a aussi des fins médicinales est très peu documentée et concerne des indications en tant qu'anti-inflammatoire, analgésique, antiseptique urinaire et facilitant la résorption des fractures ou des hémorragies internes (**Mujica, 1994**).

Il suscite depuis une quinzaine d'années un regain d'intérêt grâce à ses qualités agronomiques (cultures en conditions extrêmes de froid, de sécheresse et de salinité) et nutritionnelles. Il est aujourd'hui formulé dans de nombreux produits alimentaires tels que les pâtes, pains, biscuits et céréales pour petit déjeuner (**Bhargava et al., 2006**).

Le yaourt occupe une place primordiale dans l'alimentation humaine par sa grande diversité en terme de nature, présentation, goût et usage, ainsi que sa qualité nutritionnelle et diététique étant riche en calcium, protéines, vitamines, minéraux, oligo-éléments et surtout en probiotiques (**Tamime et al., 1984**). Une valorisation de la farine de quinoa dans le procès de fabrication des yaourts peut contribuer à la genèse d'un nouveau produit pouvant satisfaire pleinement au plan santé la demande sans cesse croissante des consommateurs. Dans cette optique, nous nous sommes intéressés à étudier les caractéristiques physico- chimiques, microbiologiques et sensorielles d'un yaourt brassé additionné de farine cuite de quinoa à différentes doses.

En effet, les bactéries lactiques présentes dans le yaourt sont bénéfiques pour l'intestin et sa flore intestinale et c'est un atout pour les personnes souffrant surtout de constipation chronique. Mieux encore, ces bonnes bactéries peuvent soulager le syndrome du côlon irritable et les diarrhées, particulièrement chez les enfants, en réduisant à la fois leur intensité et leur durée, qu'elles soient infectieuses ou liées à la consommation d'antibiotiques. Ils participent aussi à la digestion du lactose (le principal sucre du lait) et permettent même à certaines personnes intolérantes de mieux supporter le trouble digestif (**Koiche,2011**).

L'incorporation de la farine de quinoa dans le yaourt n'est pas très répandue ; mais c'est en mettant l'accent sur ses multiples vertus santé (riche en acides aminés, vitamines oligoéléments, amidon, composés bioactifs...etc.) (**Zannini et al.,2018**) qu'on a pensés qu'il serait intéressant de renforcer le yaourt brassé par ce produit qui est très peu exploité.

Le présent manuscrit s'articule comme suit :

- La première partie passe en revue une synthèse bibliographique sur l'essentielles des connaissances sur les yaourts et l'espèce végétale quinoa objet de l'étude.
- La deuxième partie a été consacrée à la méthodologie de recherche et décrit le matériel et les méthodes utilisées dans l'étude expérimentale.
- La troisième partie a été consacrée à la discussion des résultats obtenus finalisée par une conclusion générale et les perspectives de recherche développement à entreprendre dans un avenir proche



**Partie 01 :**  
**Synthèse bibliographique**





**Chapitre I:**

**Le Quinoa**

## *Chapitre I: Le Quinoa*

### **1- Introduction :**

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) est une plante herbacée ressemblant à une céréale (considérée comme une pseudo-céréale), originaire de la région andine de l'Amérique du Sud.

Ancestralement, les graines de quinoa étaient utilisées pour faire de la farine, de la soupe, des céréales et de l'alcool. Il est également cultivé pour la consommation animale (c'est-à-dire en utilisant la plante entière comme feuillage vert), à des fins médicinales (anti-inflammatoire, analgésique et désinfectant) et comme insectifuge (**Vega-Gálvez et al., 2010**). D'autres utilisations incluent la poudre désaponifiée pour l'alimentation animale et les feuilles fraîches pour la consommation humaine. En 2013, il a été déclarée année internationale du quinoa par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (**FAO, 2013**).

Le quinoa est l'un des grains les plus nutritifs utilisés comme nourriture, et c'est un aliment sans gluten, dont les études ont montré que la consommation régulière de quinoa améliore l'intestin grêle de céliaques et rend leurs villosités intestinales à la normale, beaucoup plus rapidement qu'avec un régime sans gluten simple. Il a été sélectionné par la FAO comme l'une des cultures destinées à offrir la sécurité alimentaire (**FAO, 2011**).

Vue Les qualités nutritionnelles exceptionnelles du quinoa, son adaptabilité aux différentes conditions agro-écologiques et sa contribution potentielle à la lutte contre la faim et la malnutrition, la FAO a mis en place un projet régional dans plusieurs pays du Proche-Orient et d'Afrique du Nord, dont l'Algérie. Le pays a pu ainsi profiter des compétences techniques de la FAO pour évaluer dans quelle mesure cette culture non traditionnelle pourrait être adoptée par les producteurs et acceptée par les consommateurs.

Aujourd'hui, il est en pleine expansion car il présente un potentiel considérable pour améliorer les conditions de vie des populations des Andes et du monde (**FAO, 2013**).

### **2- Origine, historique et situation géographique :**

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

Le nom botanique complet du quinoa, *Chenopodium quinoa Willd.*, inclut l'abréviation de l'auteur correspondant à **Carl Ludwig von Willdenow** (1765-1812). On doit à ce botaniste et pharmacien allemand l'étude de nombreuses plantes, dont le quinoa qu'il décrivit le premier en 1797 dans son *Species plantarum* en indiquant qu'il s'agissait d'une espèce originaire d'Amérique du Sud. Cette notion fut ensuite précisée en situant son centre d'origine dans les Andes péruviennes et boliviennes, autour du *Lac Titicaca* (**figure 01**).

En raison de sa richesse en protéines et de son incroyable équilibre en acides aminés essentiels , il a été consommé par les humains comme une plante sacrée ( **Jancurov à et al., 2009**). Il attire l'attention par sa haute valeur nutritionnelle et, plus important encore, il est très résistant aux intempéries, au climat et aux conditions du sol. Alors que ses graines et ses feuilles constituent les parties comestibles, ce sont les graines qui sont le plus étudiées du point de vue économique et scientifique.

Les grains de quinoa sont consommés dans les soupes, en les soufflant pour faire des céréales pour le petit-déjeuner ou en les farineant pour produire des produits de boulangerie comme des biscuits, du pain, des biscuits, des pâtes, des chips, des tortillas et des crêpes ( **Bhargava et al., 2006** ).

Les feuilles de quinoa se consomment de la même manière que celles des épinards ( **Oelke et al., 1992** ), et ses germes sont ajoutés à la salade ( **Schlick ; Bubenheim, 1996** ). De plus, les graines de quinoa peuvent être fermentées pour faire de la bière ou une sorte de boisson alcoolisée traditionnelle utilisée pour une cérémonie religieuse appelée *chicha* en Amérique du Sud ( **FAO, 2011** ). Il est également utilisé comme source nutritionnelle riche dans l'alimentation des animaux de ferme, tels que les bovins ou la volaille ( **Bhargava et al., 2006** ).

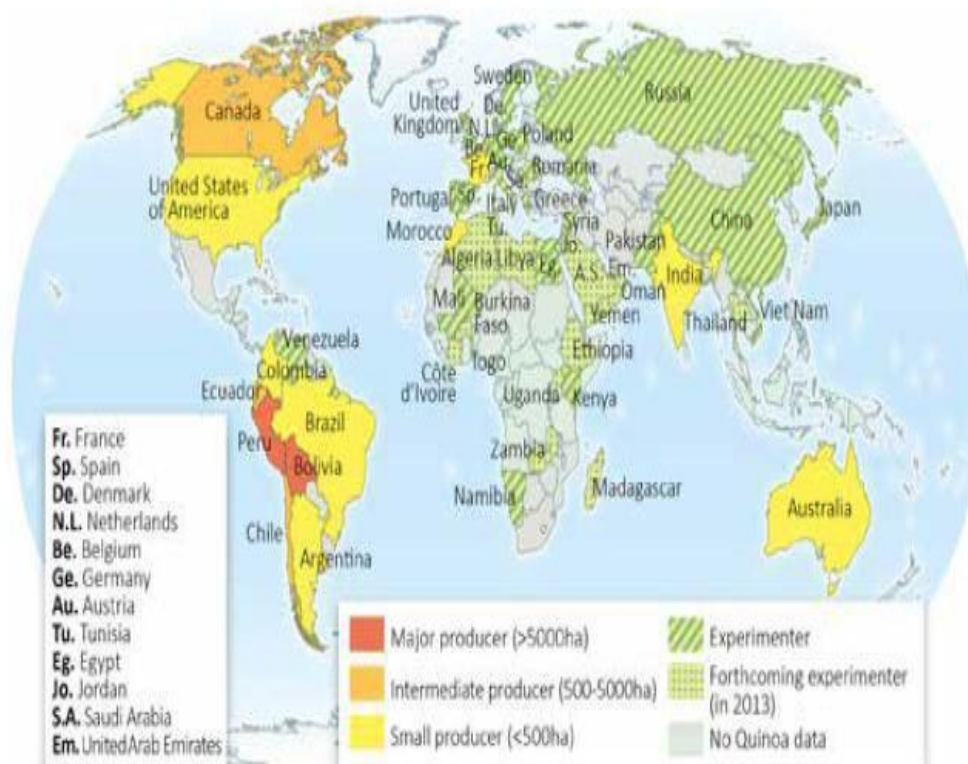


Figure 01. Répartition géographique de quinoa (FAO & CIRAD, 2015).

### 3- Classification scientifique :

Le quinoa est une espèce annuelle dicotylédone appartenant à la famille des Amaranthaceae (anciennement Chenopodiaceae), qui comprend d'autres espèces économiquement importantes telles que l'épinard (*Spinacia oleracea* L.) et la betterave sucrière (*Beta vulgaris* L.). Le quinoa, ainsi que ses parents sauvages (*Chenopodium carnosolum*, *C. petiolare*, *C. pallidicaule*, *C. hircinum*, *C. quinoa* subsp. *melanospermum* et *C. ambrosoides incisum*), a une grande diversité et variabilité dans ses utilisations (Fuentes et al., 2009). Il existe environ 250 espèces de cette famille dans le monde. On connaît environ 1800 variétés de quinoa. Elle est souvent définie comme une « pseudocéréale » et même une pseudo-graine car elle n'appartient pas à la famille des graminées, et elle a des caractéristiques botaniques, telles que l'inflorescence en grappes. (Foucault, 2014).



**Figure 02.** Panicule de quinoa (Djedei et Merabet, 2018).

#### **4- Exigence de la culture du quinoa :**

##### **4-1 Exigences climatiques :**

La variabilité génétique du quinoa lui permet de prospérer dans différents climats par rapport aux niveaux de la mer. Les basses températures affecteront surtout les phases de germination, alors qu'au stade floraison elle peut causer une faible production de pollen. D'autre part, la température moyenne optimale varie dans une marge de 5-15°C (Mujica et al., 2003).

##### **4-2 Exigences édaphiques :**

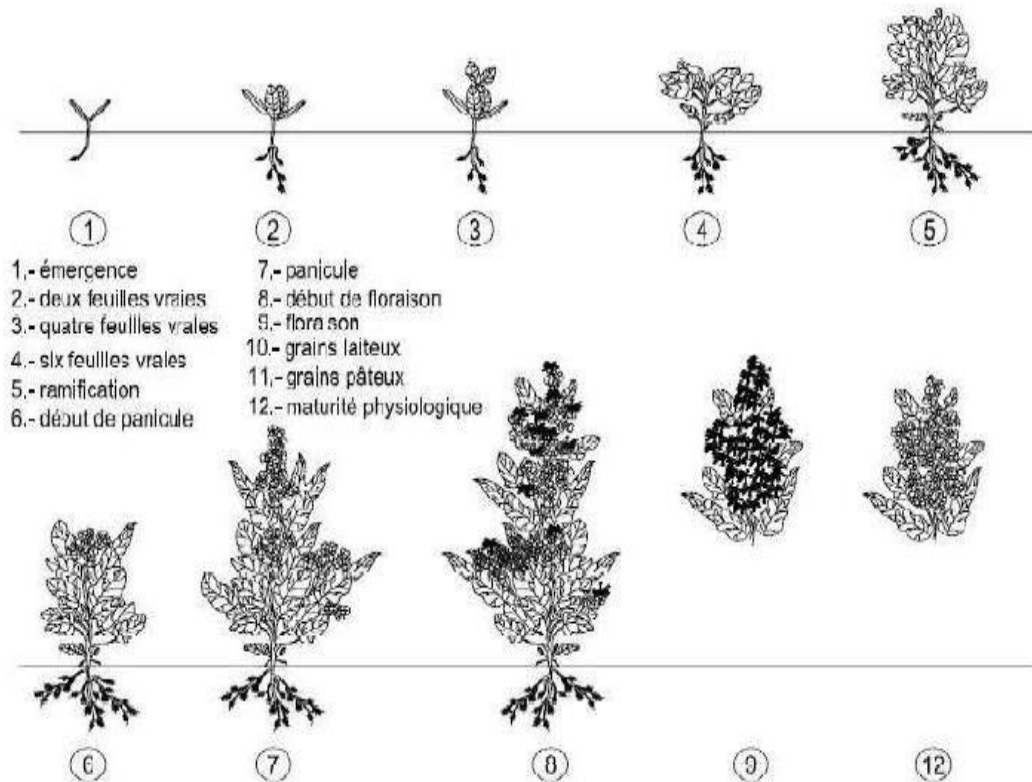
Le quinoa est cultivé sur des sols marginaux peu fertiles, il pousse bien sur des sols peu limono-sableux à sablo-limoneux. En Amérique du sud, le quinoa est cultivé sur des sols peu ou trop drainés, de faible fertilité, très acide (pH 4,8) ou alcalins (pH 8,5) (MADRPM, 2005).

##### **4-3 Exigences hydriques**

La culture de quinoa tolère le stress hydrique et s'adapte bien aux régions où la pluviométrie annuelle avec irrigation se situe entre 250- 400 mm. Les irrigations excessives augmentent la taille des plantes (hauteur) et améliore le rendement mais avec le risque de verse (MADRPM, 2005).

#### **5- Phénologie de quinoa :**

Plusieurs échelles de développement ont été décrites pour le quinoa, selon **Mujica et Canahua (1989)** en 12 phases. Les durées indiquées de chaque phase sont des nombres de jours moyens. Un stade est atteint lorsque 50% des plantes sont à ce stade. Les plus importants stades sont illustrés dans le (Tableau 01).



**Figure 03.** Phénologie du quinoa (Lebonvallet,2008).

Tableau 01. Les stades phénologiques du quinoa (Mujica et Canahua,1989).

Les stades	Jours après le semis	Description
Levée	7- 10	Elle correspond à la sortie de la plantule et au déploiement des feuilles cotylédonaires.
Ramification	45-50	À partir du stade 08 feuilles, on peut observer pour les variétés qui ramifient la présence de bourgeons axillaires jusqu'au troisième nœud. Les feuilles cotylédonaires, jaunies tombent et laissent une cicatrice dans la tige. L'inflorescence n'est pas encore visible, recouverte et protégé par les feuilles.
Panicule	65-70	L'inflorescence est désormais clairement visible au-dessus des feuilles, ainsi que les glomérules qui la composent. des boutons floraux individualisés apparaissent.
Floraison	90-100	L'ouverture des 50% des fleurs de l'inflorescence se produit. Cette observation doit se faire à la mi-journée. Les fleurs se refermant pendant la nuit. C'est durant cette phase que la plante est plus sensible aux gelées. Les feuilles inférieures flétries tombent.
Grains laiteux	100 à 130	Le grain est qualifié de laiteux, car c'est un liquide blanchâtre en sort lorsqu'une pression est exercée sur le fruit. Un déficit hydrique pendant cette phase entrainer une forte diminution de rendement.
Grain pâteux	130-160	L'intérieur des fruits devient d'une consistance pâteuse, toujours de couleur blanche.
Maturité	160-180	Le grain, plus résistant à la pression, est à la maturité, avec une teneur en humidité inférieure à 15%, pendant le remplissage des grains depuis la floraison, la plupart des feuilles ont jauni et sont tombées si bien que la défoliation est presque complète et maturité.

## **6- Phytochimiques du quinoa :**

Les groupes de base des composés phytochimiques du quinoa sont :

### **6-1 Les saponines :**

Les saponines constituent un groupe de composés glycosidiques, situées dans les couches extérieures de l'enveloppe externe.

Leur nom provient d'une plante appelée saponaire (*Saponaria officinalis* L.) dont la racine a largement été utilisée depuis des siècles comme savon, Les plantes contenant des saponines sont ainsi recherchées pour une utilisation dans les produits ménagers (**Bruneton, 2009**),

Elles sont responsables du goût amer caractéristique des graines de quinoa et sont considérées comme toxiques en grandes quantités.

Avant consommation, les graines doivent donc subir un traitement d'élimination de l'enveloppe dans laquelle les saponines sont particulièrement concentrées. Ces composés ont en commun la propriété d'être soluble dans l'eau et de former des solutions moussantes après agitation, elles doivent être éliminées avant consommation. Bien qu'elles donnent un mauvais goût à la plante, les saponines ont une variété d'effets biologiques, notamment des activités antifongiques, antivirales, anticancéreuses, hypocholestérolémiques, hypoglycémiantes, antithrombotiques, diurétiques et anti-inflammatoires (**Vega-Galvez et al., 2010**).

Leur concentration dans les graines varie selon la variété : pour le quinoa, on parle de variétés « normales » ou « amères » pour les plus concentrées en saponines, et de variétés « douces » avec des teneurs en saponines environ 50 fois inférieure à la normale.

### **6-2 Les phytostérols :**

Même si la teneur en phytostérol du quinoa n'a pas été beaucoup prise en compte, 100 g de graines de quinoa pourraient contenir jusqu'à 118 mg de phytostérol. Les composants phytostérols importants du quinoa sont le  $\beta$ -sitostérol, le campestérol, le brassicatérol et le stigmastérol (**Villacr'es et al., 2013**). Dans une étude menée par **Ryan et al., 2007**, il a été constaté que les graines de quinoa contenaient du  $\beta$ -sitostérol (63,7 mg/100 g), du campestérol (15,6 mg/100 g) et du stigmastérol (3,2 mg/100 g), et que les



quantités de ces composants étaient supérieures à celles de l'orge, du seigle, du millet et du maïs ( **Ryan et al, 2007** ).

Les phytostérols sont des composés lipophiles qui sont structurellement similaires au cholestérol. Des preuves épidémiologiques, des études d'intervention et des méta-analyses ont systématiquement conclu que les phytostérols ont un effet vital sur la réduction du cholestérol chez l'homme ( **Graf et al., 2015 ;Marangoni et Poli, 2010** ). Les phytostérols abaissent le taux de cholestérol sérique en rivalisant pour l'absorption intestinale du cholestérol et en réduisant probablement la production de lipoprotéines athérogènes dans le foie et les intestins ( **Ho et Pal, 2005** ). De plus, des effets anti-inflammatoires, antioxydants et anticancérigènes des phytostérols ont été révélés ( **Ryan et al., 2007** ).

### **6-3 Phytoecdystéroïdes :**

Parmi les plantes comestibles par l'homme, les graines de quinoa sont celles qui contiennent le plus de phytoecdystéroïdes. En plus de leurs effets connus, comme le contrôle de la mue chez les insectes, les ecdystéroïdes sont des hormones stéroïdes polyhydroxylées qui présentent des propriétés pharmacologiques et métaboliques potentielles chez les mammifères (Foucault, **2012 ; Dinan, 2009**). La teneur totale en phytoecdystéroïdes du quinoa se situerait entre 138 et 570 µg/g. Parmi les ecdystéroïdes, le plus courant est la 20-hydroxyecdysone, présente dans de nombreuses plantes comme le quinoa. Parmi au moins 13 types de phytoecdystéroïdes différents isolés des graines de quinoa, le plus courant est le 20-hydroxyecdysone (20HE), et il constitue 62 à 90 % du total des phytoecdystéroïdes (Graf et al., **2015**).

### **7- Caractéristiques nutritionnelles :**

Le quinoa contient une teneur élevée en composés phytochimiques bénéfiques pour la santé, notamment des acides aminés, des fibres, des acides gras polyinsaturés, d'huile à haute teneur en linoléate et linolénate (55 à 66 % de la fraction lipidique), d'antioxydants naturels tels que l' $\alpha$ - et  $\gamma$ -tocophérol et d'une large gamme de minéraux (**Repo-Carrasco et al., 2003 ; Vega-Gálvez et al.,2010 ; Stikic et al., 2012**), des saponines, des phytostérols, des phytoecdystéroïdes, des composés phénoliques, des bétalaïnes et de la glycine bêtaïne. Le quinoa présente un équilibre exceptionnel entre l'huile (4–9 %) dont la composition est similaire à celle des huiles de maïs et de soja, caractérisées par leur

richesse en acides oléique et surtout linoléique., les protéines (16 % en moyenne, avec une grande pertinence nutritionnelle en raison de l'équilibre idéal de sa teneur en acides aminés essentiels). Le quinoa est notamment bien pourvu en lysine, premier acide aminé limitant dans les céréales courantes. Son coefficient d'efficacité protéique est équivalent à celui de la caséine et les glucides (64 %) (**Bhargava et al., 2006 ; Vega-Gálvez et al., 2010**). Concernant les glucides, le quinoa présente une forte proportion de D-xylose et de maltose et une faible proportion de glucose et de fructose.

De plus, c'est une bonne source de vitamines E, ainsi que de vitamines B2 et B3, Les minéraux présents en plus forte quantité sont le magnésium, le calcium, le fer, le potassium, le cuivre, le zinc et le phosphore (**Koziol,1992**). Par ailleurs le quinoa possède des propriétés antioxydantes (**Pasko et al., 2010**) grâce à sa richesse en vitamine E d'une part et en polyphénols d'autre part (**Alvarez-Jubete et al., 2009**) et notamment en flavonoïdes tels que la quercétine et le kaempférol (**Dini et al., 2010**). De plus, différentes isoflavones ont été récemment identifiées dans le quinoa (**Vega-Galvez et al., 2010**), ces molécules, présentent, comme beaucoup d'autres composés bioactifs des effets bénéfiques sur la santé.

Une spécificité importante du quinoa est l'absence de gluten, ce qui a permis le développement de divers aliments pour les consommateurs atteints de la maladie cœliaque (c'est-à-dire les personnes allergiques au gluten) (**Jacobsen,2003**).

Au cours des 2 dernières décennies, de nombreux produits et procédés alimentaires et nutraceutiques ont été développés à partir du quinoa. De plus, 4 études cliniques ont démontré que la supplémentation en quinoa exerce des effets positifs significatifs sur la santé métabolique, cardiovasculaire et gastro-intestinale chez l'homme. Cependant, de vastes défis et opportunités subsistent dans les secteurs de la science, de l'agriculture et du développement pour optimiser le quinoa.

En raison de son importance nutritionnelle, la demande de quinoa en tant que produit transformé a considérablement augmenté (**Mujica et Jacobsen, 2006 ; FAO ,2011**). De plus, le quinoa est une culture peu exigeante qui présente des avantages productifs remarquables de culture dans des conditions environnementales défavorables (**Ward, 2000 ; Jacobsen, 2003 ; Fuentes et Bhargava ,2011**), ce qui en fait une très bonne alternative pour les environnements marginaux et l'agriculture à faibles intrants.

**Tableau 02.** Comparaison des valeurs nutritionnelles des céréales et du quinoa (comestible 100 g) ( USDA, 2015 ).

Compositio	quinoa	Riz	Orge	Du blé	Maïs	Seigle	Sorgho
<b>Lipide (g)</b>	6.07	0,55	1.3	2.47	4,74	1,63	3.46
<b>Protéine (g)</b>	14.12	6,81	9,91	13.68	9.42	10.34	10.62
<b>Cendre (g)</b>	2.7	0,19	0,62	1.13	0,67	0,98	0,84
<b>Fibre (g)</b>	7.0	2.8	15.6	10.7	7.3	15.1	6.7
<b>Glucides (g)</b>	64.16	81,68	77,72	71.13	74,26	75,86	72.09
<b>Énergie (kcal)</b>	368	370	352	339	365	338	329

### 8- Effets de la consommation de quinoa sur la santé :

Le nombre d'études cliniques concernant les effets de la consommation de quinoa sur la santé humaine est assez faible.

Dans une étude sur la nutrition infantile réalisée chez des garçons âgés de 50 à 65 mois dans des familles à faible revenu en Équateur, il a été constaté que la consommation de 100 g d'aliments pour bébés additionnés de quinoa deux fois par jour pendant 15 jours augmentait de manière significative le facteur de croissance plasmatique analogue à l'insuline. (IGF-1) chez les enfants, par rapport au groupe témoin. Il a été déterminé dans cette étude que les aliments pour bébés contenant du quinoa fournissaient suffisamment de protéines et d'autres éléments nutritionnels essentiels, qui jouent un rôle clé dans la prévention de la malnutrition chez les enfants ( **Ruales et al., 2002** ).

Dans une étude visant à étudier les effets *in vivo* de la consommation de quinoa chez des adultes atteints de la maladie cœliaque, 19 patients cœliaques sous traitement ont été amenés à consommer 50 g de quinoa chaque jour pendant 6 semaines dans le cadre d'un régime sans gluten, la sérologie et les paramètres gastro-intestinaux ont été évalués. Les résultats de l'étude ont montré que les paramètres gastro-intestinaux des individus étaient normaux. Le rapport de la hauteur des villosités à la profondeur de la crypte était légèrement

inférieur (2,8 : 1) aux valeurs normales au début, mais cette valeur a atteint un niveau normal (3 : 1) à la fin de l'étude. De plus, bien que le cholestérol total, le LDL, le HDL et les triglycérides ont diminué, il a été confirmé que les valeurs médianes de tous les tests sanguins se situaient dans les limites de la normale. L'ajout de quinoa à un régime sans gluten chez les patients cœliaques a été bien toléré et n'a pas aggravé la maladie. ( **Zevallos et al., 2014** ). Cette étude a révélé les premières données cliniques montrant que la consommation quotidienne de 50 g de quinoa sur une période de six semaines était bien tolérée par les patients cœliaques. Néanmoins, des études supplémentaires sont nécessaires pour déterminer les effets à long terme de la consommation de quinoa.

Une autre étude a révélé que la consommation quotidienne de bonbons au quinoa par 22 étudiants âgés de 18 à 45 ans pendant 30 jours réduisait considérablement leur taux de triglycérides, de cholestérol total et de LDL. De plus, leurs valeurs concernant la glycémie, le poids corporel et la pression artérielle ont diminué. ( **Farinazzi, Machado et al., 2012** ).

Dans une autre étude menée auprès de 35 femmes ménopausées en surpoids qui ont consommé 25 g de flocons de quinoa tous les jours pendant quatre semaines consécutives, une diminution statistiquement significative de leurs taux sériques de triglycérides. Une diminution du cholestérol total et des LDL par opposition à une augmentation des taux de GSH a été observée. Le fait que cet effet ne se soit produit que dans le groupe ayant consommé des flocons de quinoa est important pour révéler les avantages possibles des flocons de quinoa dans la réduction des graisses sanguines ( **De Carvalho et al., 2014** ).

Cependant, dans une autre étude portant sur les effets de la consommation de quinoa, d'amarante et de kaniwa sur la prise de poids et le diabète de type 2, 110 personnes d'âge moyen (22 personnes diabétiques et 88 personnes non diabétiques) ont été observées et il a été découvert que des personnes ayant une l'indice de masse corporelle consommait ces grains plus souvent que ceux qui étaient en surpoids ou obèses. Il a également été découvert que les personnes atteintes de diabète consommaient plus souvent ces céréales et moins souvent la farine que celles qui n'étaient pas diabétiques ( **Sanchez, 2012** )

### **9- Activité antioxydante du quinoa :**

Dans une étude sur l'activité antioxydante et l'activité immuno-régulatrice des polysaccharides de quinoa , les polysaccharides extraits du quinoa via l'eau (QWP) et

l'alcalin (QAP), et leurs quatre sous-fractions (QWP-1, QWP-2, QAP-1 et QAP -2) ont été purifiés par isolement, échange d'anions et chromatographie par filtration sur gel . Il a été conclu que QWP-1, QWP-2, QAP-1 et QAP-2 étaient des antioxydants vitaux et qu'ils avaient un fort effet immuno-régulateur. Il a été indiqué que ces fractions pourraient être utilisées comme antioxydants et immuno-régulateurs potentiels (Yao et al., 2014).

Dans une autre étude analysant les effets d'un régime complété par des graines de quinoa sur le plasma et le stress oxydatif , cette étude a montré que les graines de quinoa peuvent agir comme agents modérément protecteurs en réduisant la peroxydation lipidique dans le plasma et différents tissus et en augmentant la capacité antioxydante (Pasko et al., 2010).

Dans une étude récente de Yao et al., il a été révélé que les extraits de graines de quinoa riches en saponines réduisaient la production d'oxyde nitrique médiateur de l'inflammation et inhibaient l'oscillation des cytokines inflammatoires TNF- $\alpha$  et IL-6 (Yao et al., 2014).

### **10- Effets allergiques du quinoa :**

Dans le cas d'une patiente de 38 ans diagnostiquée avec une œsophagite à éosinophiles due au blé, une réactivité croisée a été déterminée entre le sarrasin et le quinoa. Un test de piqûre cutanée a été mis en œuvre sur des échantillons préparés avec des extraits de graines de quinoa et de farine de sarrasin , et les deux extraits ont donné des résultats positifs. En conséquence, il a été conseillé au patient d'éviter de consommer du sarrasin et du quinoa. Ainsi, il est conseillé de réaliser une étude de sensibilisation croisée avant de recommander le sarrasin et le quinoa comme produit alternatif pour les futurs patients extrêmement sensibles à la farine (Hong et al., 2013).

Dans une autre étude, il a été révélé qu'une femme de 29 ans avait une éruption cutanée sur les bras et la poitrine, de l'urticaire, des démangeaisons sur les paumes et la plante des pieds et un œdème de Quincke dans les lèvres seulement 5 minutes après avoir mangé de la salade de quinoa. Un test cutané a été effectué pour déterminer l'allergie alimentaire, et il a donné des résultats positifs pour le quinoa. Il s'agissait du premier rapport de cas concernant une allergie au quinoa aux États-Unis ( Hong et al., 2013). De plus, un autre cas chez un homme de 52 ans originaire de France, après avoir diagnostiqué, il a été signalé une allergie au quinoa ( Astier et al., 2009).

## **11- Utilisation de quinoa :**

Les principales utilisations du quinoa peuvent être résumées comme suit :

□ **Alimentation humaine et industrielle** : On peut consommer les graines, les feuilles tendres jusqu'au début de la panicule (teneur en protéines peut atteindre 33% de la matière sèche) flocons, semoule et poudre instantanée peuvent être préparés de nombreuses manières à l'aide d'un vaste éventail de recettes traditionnelles et modernes.

□ **Industrie alimentaire** : Les grains de quinoa peuvent servir à la transformation dans l'industrie alimentaire sous forme de farine. Le quinoa peut être également associé aux légumineuses telles que les fèves, les haricots rouges afin d'améliorer la qualité nutritionnelle.

□ **Alimentation animale** : La plante entière sert de fourrage vert. Les résidus de récolte servent également dans l'alimentation des bovins, chevaux et volailles.

□ **Utilisations médicinales** : Les feuilles, tiges et graines de quinoa servent à diverses applications médicinales grâce à leurs propriétés cicatrisantes, anti-inflammatoires, analgésiques (mal de dents) et désinfectantes des voies urinaires. Elles servent également dans les cas de fractures, d'hémorragies internes et comme insectifuge (Mujica et al., 2001).

□ **Autres utilisations** : Au quinoa est associé toute une gamme de sous-produits destinés à l'alimentation, au cosmétique, aux applications pharmaceutiques et à d'autres utilisations.

## **12- Importance économique de la culture du Quinoa dans le monde :**

En 1996, la FAO a classé le quinoa parmi les cultures prometteuses pour l'humanité, en raison non seulement de ses importantes propriétés bénéfiques et de ses nombreuses utilisations, mais aussi du potentiel qu'elle offre pour résoudre les graves problèmes de malnutrition humaine. Il est idéal pour l'organisme et pour la diversité de ses modes d'utilisations traditionnelles, non traditionnelles et pour des innovations industrielles. Face à la nécessité d'identifier d'autres formes de production d'aliments de qualité au niveau mondial, le quinoa est une culture à fort potentiel, tant par ses qualités nutritionnelles que par sa versatilité agronomique, pour contribuer à la sécurité alimentaire de diverses régions de la planète. C'est le cas en particulier des pays où les populations n'ont pas accès à des sources de protéines et/ou dont la production alimentaire est limitée,

et qui se voient ainsi dans l'obligation d'avoir recours à des importations ou à l'aide alimentaire. Le quinoa peut fournir à ces pays la possibilité de subvenir eux-mêmes à leurs besoins alimentaires. Il présente un grand intérêt pour différentes régions du globe en raison de son extraordinaire capacité d'adaptation à des conditions écologiques extrêmes (**Bazile et al., 2016 et FAO, 2013**).

D'après FAOSTAT, durant la période 1992-2010, la superficie cultivée et la production totale de quinoa dans les principaux pays producteurs (Bolivie, Pérou et Équateur) ont respectivement quasiment doublé et triplé.

En 2008, ces pays assuraient 92% de la production de quinoa dans le monde, suivis des États-Unis, de l'Équateur, de l'Argentine et du Canada qui représentent environ 8% de la production mondiale. En 2009, la production dans la région andine s'est élevée à 70 000 tonnes.

La culture du quinoa est en pleine expansion et elle est désormais pratiquée dans plus de 70 pays, dont la France, l'Angleterre, la Suède, le Danemark, la Hollande et l'Italie. Elle s'est aussi bien développée au Kenya, en Inde et aux États-Unis (**Faostat, 2010**).

### **13- Introduction du quinoa en Algérie :**

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

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

Le quinoa a été introduit en Algérie depuis l'année 2014 (1<sup>er</sup> projet) sous le titre de projet « lancement du projet régional regroupant des pays d'Afrique et du Moyen-Orient

de l'Organisation mondiale pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) », destiné à promouvoir, à terme, la culture du quinoa en Algérie et dans d'autres pays du Moyen-Orient et d'Afrique (Égypte, Irak, Iran, Liban, Mauritanie, Soudan et Yémen) (**Figure 05**)

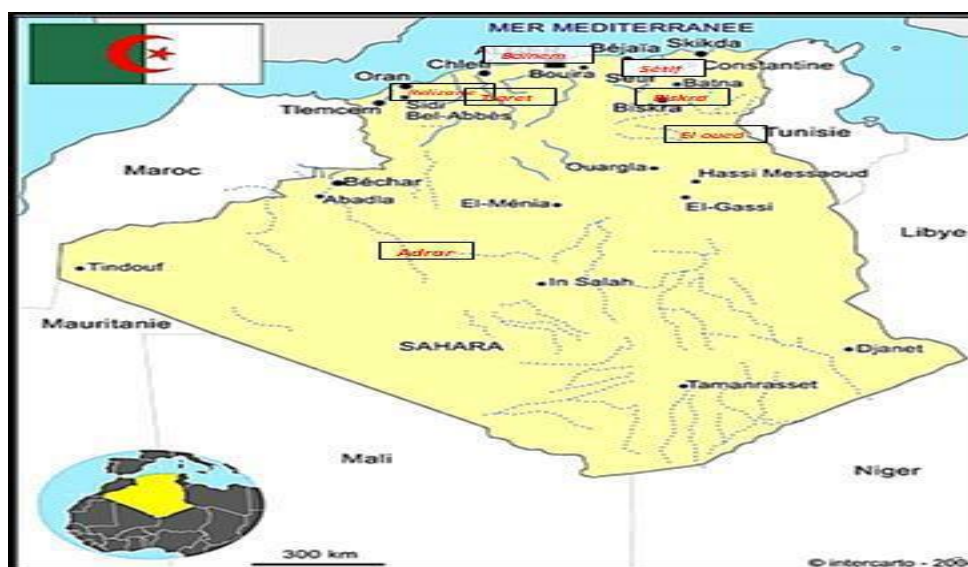


**Figure 05.** Carte des pays participants au projet d'introduction de quinoa (Bazile et al., 2016).

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

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





**Figure 06.** Localisation des sites des essais d'introduction de quinoa en Algérie (FAO, 2016).

Selon l'ITDAS (de Biskra et El-oued), la récolte peut être effectuée à la fin de décembre pour se poursuivre en janvier. Au niveau des deux sites d'étude, le meilleur rendement obtenu en grain est de l'ordre de 26 Qx/ha.

Au niveau INRAA, les essais ont été menés sur deux sites, le meilleur rendement a été enregistré à Adrar (Récolte mars 2015) avec 19.4 Qx/ha, dont une irrigation d'appoint en période de sécheresse.

Deux périodes de semis ont été programmées : Automne 2014 et printemps 2015 en tenant compte des paramètres suivant :

- Le cycle végétatif de la variété (La somme des températures).
- Le nombre de jours du semis à la formation complète des panicules.
- Le nombre de jours du semis à la floraison.
- Période des gelées (début et Fin) sachant que les basses températures et les gelées peuvent retarder la levée ou même empêcher la germination et entravent la fécondation.
- Période des températures supérieures à 30°C (début) qui agissent négativement sur la fécondation.
- Périodes des vents violent.



# **Chapitre II:**

## **Le yaourt**

## Chapitre II : Le yaourt

### Introduction :

Depuis longtemps les produits laitiers fermentés sont consommés pour la nutrition et la santé humaine (**Penna et al., 2006**). Le yaourt est de plus en plus populaire dans d'autres parties du monde, y compris l'Afrique. Plusieurs facteurs expliquent le succès du yaourt : le fait qu'il s'agisse d'une boisson naturelle, caractéristiques organoleptiques (goût frais, acidulé et saveur caractéristique) et bonne valeur nutritionnelle. Il possède également des propriétés prophylactiques et thérapeutiques (**Roissart et Luquet, 1994**). Le yaourt est un préféré produit laitier dans les régions où les gens sont sujets à l'intolérance au lactose. Il est préféré au lait car il contient de l'acide lactique qui est facilement digéré par rapport au lactose dans le lait non fermenté.

Le yaourt est très populaire parmi les produits laitiers fermentés du monde entier. Récemment, la consommation de produits laitiers entiers a diminué en raison de la prise de conscience de l'effet nocif probable de gras sur la santé des consommateurs, ainsi les habitudes alimentaires des consommateurs ont été modifiées et l'intérêt du marché a tendance à évoluer en faveur du lait écrémé (**Brennan et Tudorica, 2006**).

Le yaourt est un produit laitier fermenté très populaire produit par fermentation du lait avec deux bactéries lactiques thermophiles, *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, générant des gels aromatiques, acides et viscoélastiques (**Walstra, Walstra, Wouters, Geurts, 2005**). Il a été largement accepté comme source d'énergie comestible en raison de sa digestibilité facile et de sa haute valeur nutritionnelle (**Garcia-Perez et al., 2005**).

### 1. Définitions :

#### 1.1 Définitions du lait fermenté :

Selon la réglementation française (décret n° 88/1203 du 30 décembre 1988), un lait fermenté est un produit laitier composé exclusivement de matières premières d'origine laitière (lait et constituants du lait), ayant subi une pasteurisation et une fermentation par des micro-organismes spécifiques, et caractérisé par une teneur en acide lactique minimale de 0,6 %. Il peut être additionné de certains ingrédients lui conférant une

saveur spécifique (Sucre, arômes, préparations de fruits, additifs), à condition que cette addition n'excède pas 30 % du poids du produit fini.

Les laits fermentés peuvent être classés en plusieurs catégories, selon le lait utilisé pour leur fabrication, leur teneur en matières grasses, les micro-organismes impliqués dans leur transformation, leur texture et leurs caractéristiques aromatiques

## 1.2 Définitions de yaourt :

Le yaourt est un écosystème simple dont la production repose sur les interactions entre *S. thermophilus* et de *L. bulgaricus* l'importance technologique de l'évolution de cet écosystème a suscité bien des intérêts. Lors de la fermentation du yaourt, le métabolisme de *S. thermophilus* et de *L. bulgaricus* est le principal responsable de la qualité rhéologique du produit fini.

Selon le Codex alimentarius et la **FAO**, le yaourt est un « produit laitier coagulé obtenu par fermentation lactique grâce à l'action de *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* à partir du lait (pasteurisé, concentré, partiellement écrémé enrichi en extrait sec) ». Les bactéries dans le produit fini doivent être vivantes et présentes en abondance à environ  $10^7$  germes vivants

/ml. Ces produits doivent notamment être maintenus jusqu'à leur consommation à une température comprise entre 0 et 6°C pour que les bactéries lactiques restent vivantes (**FAO,1975**).

## 2. Types de yaourt :

D'après **Luquet, (1990)** et **Guyot, (1992)**, les yaourts sont classés en :

- **Yaourts dits traditionnels ou fermes ou étuvés** : la fermentation a lieu en pots dans le cas des yaourt sucrés, aromatisés, aux fruits, à la confiture etc., l'apport des additifs se fait avant ou après remplissage.

- **Yaourts à caillé brassé ou yaourts brassés** : plus liquides, la fermentation a lieu en cuve avant le conditionnement, ce sont généralement des yaourts veloutés natures ou à la pulpe de fruits ou avec morceaux de fruits. Ces derniers sont additionnés au moment du remplissage des pots.

- **Yaourt à boire** : il s'agit d'un yaourt qui se différencie du brassé à son état liquide

qui l'assimile à une boisson, sa fluidité est obtenue par une diminution de la teneur en matière sèche. Le brassage à l'homogénéisateur sous pression inférieure à 50 atmosphères donne une viscosité inférieure d'environ 50 pour cent à celle obtenue par brassage mécanique. Il peut être nature ou aromatisé.

### 3. Bactéries caractéristiques du yaourt :

Les propriétés fermentaires, aromatiques et épaississantes des bactéries lactiques du yoghourt confèrent au produit final ses caractéristiques organoleptiques.

Les qualités recherchées chez ces bactéries sont la rapidité de fermentation, la faible production de co-produits, la résistance à l'acide lactique et des besoins nutritionnels aussi faibles que possible. Les souches pouvant se développer à faible pH (5 à 7) et haute température (40°C) sont particulièrement intéressantes, car dans ces conditions, les risques de contaminations sont réduits. La plupart des bactéries répondant à ces critères appartiennent aux genres streptocoques et lactobacilles. Les lactobacilles sont les microorganismes les plus fréquemment utilisés pour la production d'acide lactique. Ils ont une résistance à l'acide lactique supérieure à celle des streptocoques (**Kashket, 1987**), mais ont par contre des exigences nutritionnelles plus importantes (**Viniegra et Gomez, 1984**).

Les deux bactéries associées dans la préparation du yaourt ont pour rôle principal d'abaisser le pH du lait au point isoélectrique de la caséine (pH 4,6) de façon à former un gel (ou coagulum). Outre le goût acidulé qu'elles donnent au gel, elles lui assurent une saveur caractéristique due à la production de composés aromatiques (acétaldéhyde principalement, cétone, acétoïne, diacétyl). Enfin, par la production de polysaccharides (glucanes), certaines souches ont une action dans la consistance du gel.

#### 3.1 *Streptococcus thermophilus* :

L'espèce *S. thermophilus* est un agent d'acidification fréquent dans certains fromages et surtout les yaourts. *S. thermophilus* est utilisé depuis que l'homme fait fermenter le lait, soit plus de 7 000 ans. *S. thermophilus* est l'un des deux probiotiques obligatoirement utilisés dans la fabrication des yaourts, avec sa compagne la bactérie *Lactobacillus bulgaricus*. On peut l'isoler du lait chauffé à : 45-50°C ou du lait pasteurisé (**Hardie, 1986**), des produits laitiers : yaourt, des matériels de laiterie, des levains

artisanaux il n'aurait jamais été isolés d'autres habitats.

*St. thermophilus* est une coque à Grain positif, anaérobie facultatif, non mobile. On le trouve dans les laits fermentés et les fromages (**Dellagio et al., 1994 ; Roussel et al., 1994**). Le rôle principal de *St. thermophilus* est la fermentation du lactose du lait en acide lactique et en plus de son pouvoir acidifiant, elle est responsable de sa texture dans les laits fermentés. Elle augmente la viscosité du lait par production de polysaccharides (composés de galactose, glucose, ainsi que de petites quantités de rhamnose, arabinose et de mannose) (**Bergamairer, 2002**). Elle se développe bien de 37 à 40 °C, mais croît encore à 50 °C. Sa température optimale de croissance varie entre 40 et 50°C et son métabolisme est du type homofer- mentaire (Lamoureux, 2000). Thermorésistant, il survit au chauffage à 60 °C pendant 30 minutes ou à 74 °C pendant 15 secondes (Dellaglio et al., 1994). Nettement moins acidifiant que le lactobacille, il produit généralement de 0,5 à 0,6 pour cent d'acide lactique (pH voisin de 5,2). Certaines souches sont capables de supporter un pH de 4,3 à 3,8.

### 3.2 *Lactobacillus bulgaricus*

*Lactobacillus delbnteckii ssp. bulgaricus* est une bactérie lactique thermophile principalement connue pour son utilisation dans la production de yaourt, où elle assure la fermentation du lait en association avec *Streptococcus thermophilus*. En tant que tel. *L. bulgaricus* est l'une des *Lactobacillus* les plus importantes économiquement.

*Lactobacillus bulgaricus* est un bacille Gram+, immobile, sporulé, micro aérophile (**Doleyres,2003**) et thermophile. Cette bactérie possède un mécanisme strictement fermentaire avec production exclusive d'acide lactique à partir des hexoses. Sa température optimale de croissance est approximativement 42°C. Elle a un rôle essentiel dans le développement des qualités organoleptique et hygiénique du yaourt (**Marty-Teyssset et Garel, 2000**).

### 3.3 Caractéristiques générales des bactéries du yaourt (phénomène de symbiose entre les deux souches) :

La croissance des bactéries lactiques dans le lait induit de nombreux changements souhaités dans les produits, car en utilisant les constituants du lait (sucres, composés azotés, composés minéraux, vitamines) pour se développer, elles produisent des métabolites d'intérêt (acide lactique, composés d'arômes, exopolysaccharides, molécules

ayant un rôle de conservation). *L. bulgaricus* et *S. thermophilus* cultivés en association dans du lait représentent, dans de nombreux cas, un bon exemple de métabolisme intégré où chaque espèce tire bénéfice de la culture mixte. La production d'acide et la production d'acétaldéhyde de la culture mixte sont beaucoup plus actives que celles des cultures pures (Accolas et al. ; 1977).

La combinaison des deux espèces dans une culture de démarrage affecte de manière synergique le goût du yaourt par rapport aux situations où un seul système de culture est utilisé (Georgala et al, 1995).

Lors de la production de yaourt, l'utilisation combinée de *S. thermophilus* et *L. bulgaricus* permet de valoriser l'interaction indirecte positive existant entre ces deux espèces. Cette interaction mutuellement favorable aux deux espèces est appelée proto-coopération. La proto-coopération est la base pour la création de la relation symbiotique entre les deux espèces (*S. thermophilus* et *L. bulgaricus*) et un métabolisme combiné avec des effets positifs sur le produit fermenté. Elle se traduit par une augmentation de la vitesse d'acidification par rapport à celles observées en cultures pures, un accroissement des concentrations bactériennes, une protéolyse plus prononcée et une amélioration de la production des composés d'arômes (acétaldéhyde notamment) et de la stabilité physique du produit (réduction des problèmes de synérèse).

En effet, en culture associée, les deux bactéries produisent d'avantage l'acide lactique que lorsqu'elles sont cultivées seules. *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* plus protéolytique que *Streptococcus thermophilus* fournirait les acides aminés et/ ou les peptides résultant de la protéolyse de la caséine, qui peuvent agir comme activateurs de *Streptococcus thermophilus*. En retour en absence ou à faible concentration d'oxygène la croissance de *Streptococcus thermophilus* produirait l'acide formique stimulant le développement de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*.

Les conséquences de la synthèse de ces différents métabolites se traduisent par l'acidification du lait, sa coagulation ainsi que par des modifications des propriétés sensorielles et nutritionnelles des produits.

### 3.4 Intérêts et fonctions des bactéries du yaourt

#### 3.4.1 Production d'acide lactique

Les acides organiques sont les principaux composés antifongiques produits par

les BL au cours de la fermentation. Il existe plusieurs acides dont l'acide lactique qui est produit majoritairement (Stiles, 1996 ; Ross *et al.*, 2002, Leyva Salas *et al.*, 2017). Ces acides faibles sont très impliqués dans l'activité antimicrobienne (Caplice *et al.*, 1999).

La production d'acide lactique est une des principales fonctions des bactéries lactiques en technologie laitière, car cet acide organique permet de concentrer et de conserver la matière sèche du lait, en intervenant comme coagulant et antimicrobien (Schmidt *et al.*, 1994).

La fermentation des sucres en acide lactique est une caractéristique des bactéries lactiques (BL) qui permet de les classer en bactéries homofermentaires ou hétérofermentaires. Cette fermentation aboutit principalement à la production d'ATP et d'acide lactique (plus de 85%) pour les homofermentaires. L'acidité du yaourt est communément exprimée en degré Dornic ( $1^{\circ}\text{D} = 0.1\text{g/l}$  d'acide lactique), et elle se situe entre 100 et 130 $^{\circ}\text{D}$  (Loones, 1994).

Les lactobacilles sont les microorganismes les plus fréquemment utilisés pour la production d'acide lactique. Ils ont une résistance à l'acide lactique supérieure à celle des streptocoques (Kashket, 1987), mais ont par contre des exigences nutritionnelles plus importantes (Viniegra et Gomez, 1984).

L'importance de l'acide lactique durant la fabrication du yaourt peut se résumer comme suit :

- Il aide à déstabiliser les micelles des caséines, ce qui conduit à la formation du gel.
- Il donne au yaourt son goût distinct et caractéristique, comme il contribue à la saveur et à l'aromatisation du yaourt (Tamime et Robinson, 1999 ; Singh *et al.*, 2006).
- Il intervient comme inhibiteur vis-à-vis des micro-organismes indésirables (Leory *et al.*, 2002).

### 3.4.2 Activité protéolytique :

Les bactéries lactiques sont dotées de systèmes protéolytiques complexes par leur nature et leur localisation. Il existe de fortes variations de l'activité protéolytique d'une espèce à une autre, ou même, d'une souche à une autre (Law et Kolstad, 1983)

Les bactéries du yaourt doivent dégrader la fraction protéique du lait constituée de caséine et de protéines sériques, afin de satisfaire leurs besoins en acides aminés. L'augmentation de l'activité spécifique des protéines cellulaires, indique que les protéines



du lait deviennent une source d'azote de plus en plus importante avec l'accroissement de la densité cellulaire (**Thomas et Mills, 1981**) leur système protéolytique est constitué de deux types d'enzymes distinctes : les protéases et les peptidases.

Elles possèdent des endopeptidases liées aux parois et des exopeptidases de type aminopeptidas. Di-peptidase. Tri-peptidase (**Desmazeaud, 1983**).

*Lb. bulgaricus* possède des protéases localisées, pour l'essentiel, au niveau de la paroi cellulaire (**Marshall, 1987**). Cette activité protéasique permet d'hydrolyser la caséine en polypeptide. *L. bulgaricus* joue un rôle dans la stimulation de *S. thermophilus* (**Shankar et Davies 1977**). *St. thermophilus* est considéré comme ayant une faible activité endopeptidasique. Elle dégrade les polypeptides par son activité exopeptidasique en acides aminés libres.

### 3.4.3 Activité aromatique :

Divers composés volatiles et aromatiques interviennent dans la saveur et l'appétence du yaourt.

Diverses voies métaboliques comme la glycolyse, le métabolisme du citrate, la protéolyse et la lipolyse sont impliquées dans la formation des composés aromatiques (**Ardo, 2006**).

La majeure partie des composés aromatiques produits par les BL viennent du catabolisme des acides aminés comme la méthionine, la phénylalanine, la thréonine et des acides aminés à chaîne ramifiée, obtenus principalement grâce à la protéolyse de certaines protéines comme la caséine. Cependant, la synthèse de composés aromatiques est un caractère souche-dépendant car le contenu enzymatique varie considérablement d'une souche à une autre (**Ampuero et al., 2003 ; Smit et al., 2005**).

Le lactose intervient dans la formation de ces composés. Parmi ceux-ci, l'acide lactique confère au yaourt son goût acidulé. L'acétaldéhyde synthétisé à des teneurs variables, entre 5 et 40 mg/kg, par les deux bactéries du yaourt, principalement à partir du pyruvate et à un moindre degré à partir de la thréonine, joue un rôle essentiel dans ces caractéristiques organoleptiques recherchées. Sa production, due principalement au lactobacille, est augmentée lorsque ce dernier est en association avec le streptocoque qui en élabore de faibles quantités.

Le diacétyl contribue à donner un goût délicat qui est dû à la transformation de

l'acide citrique et, secondairement, du lactose par certaines souches de streptocoques. D'autres composés (acétone, acétoïne, etc.) contribuent à l'équilibre et à la finesse de la saveur. Ceci résulte d'un choix avisé des souches, de leur capacité à produire dans un juste rapport les composés aromatiques et du maintien de ce rapport au cours de la conservation des levains et de la fabrication.

La saveur caractéristique du yaourt, due à la production du diacétyle et de l'acétaldehyde et qui est recherchée dans les produits type « nature », et est en partie masquée dans les yaourts aromatisés. (FAO, 1995).

#### 3.4.4 Activité texturant :

La texture et l'onctuosité constituent pour le consommateur d'importants éléments d'appréciation de la qualité du yaourt.

Certaines souches de bactéries sont capables d'utiliser les substrats carbonés pour produire des polysaccharides exo-cellulaires (localisés à l'extérieur de la cellule) qui participent à l'accroissement de la viscosité du lait fermenté et présentent donc un intérêt pour l'élaboration des produits brassés. Des polysaccharides qui en formant des filaments limitent l'altération du gel par les traitements mécaniques et contribuent à la viscosité du yaourt.

La production d'exopolysaccharide (EPS) qui, selon une étude portant sur plusieurs souches serait essentiellement composée de rhamnose, d'arabinose, et de mannose (Schmidt et al., 1994).

Il est couramment admis que la production des EPS est le résultat de l'action exercée par *St. thermophilus*. D'après (Tamime, 1999), *Lb. bulgaricus* possède une aptitude à produire des EPS composés de galactose, glucose, rhamnose .

#### 4. Technologie de Fabrication du yaourt :

Les procédés de fabrication des yaourts et des laits fermentés se caractérisent par trois grandes étapes : la préparation du lait, la fermentation et les traitements post-fermentaires du produit. Le diagramme de production diffère selon le type de produit (yaourt ferme ou brassé) et présente des variantes selon sa teneur en matières grasses et son arôme.

#### 4.1 Standardisation du mélange :

Le yaourt est élaboré à partir d'un mix, constitué du lait et de constituants apportés en vue de le standardiser. Le lait (lait frais, lait combiné, mélange des deux) doit être standardisé en matières grasses, enrichi en protéines, et éventuellement sucré, pour répondre aux spécifications nutritionnelles et organoleptiques des produits.

Pour bien assimiler l'importance de la standardisation ou de l'enrichissement du lait sur la qualité finale du yaourt, il est nécessaire de donner le rôle de chaque composante du lait.

Le gras a un effet sur l'onctuosité et la sensation de douceur en bouche, masque l'acidité et améliore la saveur

Le lactose est la matière première utilisée pour l'acidification et à un faible pouvoir sucrant, soit quatre fois plus faible que celui du sucre.

Les protéines de par leur coagulation et leur capacité de liaison avec l'eau agissent sur la texture particulièrement sur la viscosité, la consistance, l'élasticité et la fermeté. Ce qui contribue à former un yaourt consistant et exempt de synérèse et à modifier sa valeur nutritionnelle, et masquent aussi l'acidité.

- Les minéraux participent à la stabilisation du gel (Vignola, 2002).

#### 4.2 Homogénéisation :

C'est une étape très importante, elle a principalement des effets sur deux composantes du lait, soit la matière grasse et les protéines, réduit le diamètre des globules gras (Ebenezer, 1986) et permet ainsi une meilleure dispersion de ceux-ci dans le produit. Elle limite leurs remontées au cours de l'incubation et le stockage permet aussi d'augmenter la viscosité du yaourt et de réduire le phénomène d'exsudation de sérum (ou synérèse) pendant le stockage du yaourt ferme. Grâce à la plus grande cohérence du produit, elle confère un aspect plus blanc au lait (modification de l'absorption de la lumière) et, par conséquent, au yaourt. Enfin elle donne une consistance plus uniforme au yaourt fabriqué.

#### 4.3 Traitement thermique :

Le lait enrichi éventuellement sucré subit un traitement thermique. Le barème de traitement thermique le plus couramment utilisé est de 90-95°C pendant 3 à 5 minutes (Mahaut et al., 2000 ; Boudier, 1990). À l'issue du traitement thermique, le lait est refroidi à la température de fermentation. Ce traitement a de multiples effets sur la flore

microbienne ainsi que sur les propriétés physico-chimiques et fonctionnelles du lait.

Le traitement thermique appliqué au mix est toujours drastique. Il vise à réduire la charge microbienne, à détruire les germes pathogènes et indésirables (**Boudier, 1990**) à inactiver les peroxydases du lait (**Farkye et Imafidon, 1995**), à créer des conditions favorables au développement des bactéries lactiques par la production des facteurs de stimulation des bactéries (acide formique qui est un facteur de croissance pour *Lb. bulgaricus* (**Loones, 1994**) et composés azotés assimilables) et à améliorer les propriétés physiques du yaourt (viscosité, capacité de rétention d'eau).

Le traitement thermique contribue également à dénaturer 80 % de la fraction protéique sérique, ce qui assure une bonne texture du produit fini. En effet, l'état physique des protéines sériques a des répercussions majeures sur la consistance des gels. Enfin, il modifie les équilibres salins en entraînant une augmentation de la taille des micelles des caséines, de leur stabilité et de la qualité d'eau liée (**Mahaut et al., 2000**).

Au niveau rhéologique ces modifications se traduisent par une amélioration après fermentation de la fermeté des gels (**Kalab et al., 1976 ; Mottar et al., 1989**). De plus, le traitement thermique entraîne une production plus importante d'acétaldéhyde le composé responsable de l'arôme du yaourt (**Singh, 1983**).

Le chauffage du lait contribue aussi à diminuer la quantité d'oxygène dissout dans le lait, ce qui favorise la croissance des bactéries lactiques qui y sont sensibles durant l'étape de fermentation (**Lee et Lucey, 2010**).

#### **4.4 Refroidissement à la température de fermentation :**

Le lait enrichi et traité thermiquement est refroidi à la température de fermentation 40-45°C, cette température est maintenue lors de la fermentation (**Mechtoun, 2014**). Elle correspond à l'optimum de développement symbiotique des bactéries lactiques (**Loones, 1994**). La fermentation se fait à une température de 42°C à 45°C pour les deux types du yaourt et lorsque l'acidité atteint un certain seuil (70-100°) pour le yaourt ferme et de 100 à 120°D dans le cas du yaourt brasse, il est nécessaire de bloquer l'acidification en inhibant le développement des bactéries par un refroidissement à 2-4 °C (**de Roissart et Luquet, 1994**).

#### **4.5 Ensemencement :**

Dans tous les cas, l'ensemencement est effectué dans un lait préalablement porté à

la température de fermentation (40 à 50°C), laquelle dépend des bactéries lactiques utilisées, l'inoculation des deux germes dans le lait se fait avec un taux d'ensemencement qui se situe entre 1 et 3% (**Luquet, 1990**). Après l'ensemencement, le lait inoculé est agité afin d'homogénéiser le mélange. En outre, la répartition des germes doit être bonne et régulière dans le lait et l'activité du levain doit atteindre en fin d'incubation 85 à 90°D (**Guyot, 1992**).

#### **4.6 Incubation :**

La durée de l'incubation est une des conditions essentielles à bien maîtriser. Elle est définie en fonction du temps nécessaire pour atteindre le pH cible du produit, qui dépend des microorganismes utilisés. Cette durée varie de 3 h pour un yaourt inoculé avec un rapport correct entre les coques et les bacilles. Il est préférable d'appliquer une température proche de celle optimale de développement de *Streptococcus thermophilus* soit (42 à 45°C), plutôt que celle proche de l'optimum du *Lactobacillus bulgaricus* (47 à 50°C). En générale les *Streptocoques* assurent le départ de la fermentation lactique. Pour les raisons évoquées précédemment la température voisine de (42 à 45°C), est considérée comme étant la température symbiotique optimum entre les *Streptocoques thermophilus* et *Lactobacilles bulgaricus* (**Luquet, 1990**).

#### **4.7 Arrêt de la fermentation (refroidissement) :**

La maîtrise de la durée de fermentation assure un arrêt de la culture à un pH donné et évite une acidification trop poussée.

Lorsque le pH atteint une valeur comprise entre 4,3 et 4,7 un refroidissement en deux temps (rapide jusqu'à 25°C, puis plus lent jusqu'à 5°C) est appliqué afin d'inhiber l'activité des bactéries lactiques (**Keddar et Koubich, 2009**), de bloquer au plus vite les activités métaboliques et enzymatiques et de limiter les problèmes de post-acidification et de stopper la fermentation. En effet l'activité des bactéries lactiques est limitée pour des températures inférieures à 10°C (**Tamime et Robinson, 1985**).

#### **4.8 Conditionnement :**

C'est la phase ultime de la fabrication, les yaourts sont généralement conditionnés dans deux types d'emballage : les pots en verre et les pots en plastique, en effet les pots en cartons paraffiné ont pratiquement disparus au profit des pots en plastique. Ce

conditionnement doit se faire en chambres froides à 4°C. Le conditionnement des laits fermentés est obligatoire pour permettre leur distribution. Il sert à contenir le produit, à garantir son hygiène, à préserver sa valeur nutritionnelle, à le protéger des chocs, de la lumière et de l'oxygène, et sert de support pour l'information à apporter au consommateur. La durée limite de leur consommation est de 28 jours (**luquet et Corrieu, 2005 ; Paci Kora et al. ,2004**). Pendant le stockage les bactéries lactiques maintiennent une activité réduite. Cette évolution appelée post-acidification se traduit par une légère baisse du pH surtout pendant les 2 premiers jours de stockage.

## **5. Fabrication selon le type de yaourt :**

### **5.1 Yaourt ferme :**

Le laitensemencé et à bonne température est rapidement reparti en pots (en verre, en carton paraffine en matière plastique) d'une contenance habituelle de 12,5 cl. Dans le cas des yaourts sucrés, aromatisés, aux fruits, à la confiture, etc., rapport des additifs se fait avant ou après le remplissage des pots.

Après le capsulage (aluminium, carton paraffine), les pots sont placés dans une étuve (à air chaud) ou parfois au bain-marie pour permettre la fermentation. L'acidification dépend de la température et de la durée d'incubation. La température choisie (entre 42 et 46 °C) est maintenue constante. Il est important qu'elle soit homogène en tous les points de l'étuve de façon à ce que la fermentation soit régulière.

L'incubation dure environ de 2 à 3 heures. Les pots sont maintenus dans l'étuve jusqu'à l'obtention d'une acidité de 0,75 (au minimum) à 1 % environ d'acide lactique, soit 75 à 1000 Dornic. À ce moment, le caillé doit être ferme, lisse et sans exsudation de sérum.

Les pots sont alors immédiatement sortis de l'étuve, refroidis le plus rapidement possible à la température de +4 à +5 °C. Ce refroidissement a pour but d'arrêter l'acidification par inhibition des bactéries lactiques. Il se fait en chambre froide bien ventilée ou en tunnel de réfrigération. Les pots sont ensuite stockés à +2-+4 °C pendant 12 à 24 heures de façon à augmenter la consistance sous l'action du froid et de l'hydratation des protéines (**FAO, 1995**).

### **5.2 Yaourt brassé :**

Dans le cas des yaourts brassés, à boire et concentrés, la fermentation est effectuée dans les cuves de fabrication. Celles-ci sont munies d'une double enveloppe afin d'assurer

les transferts thermiques et d'un système d'agitation afin d'homogénéiser le mix et de réhydrater les ferments lors de l'ensemencement. Elles sont aussi équipées d'un système de nettoyage en place

Le lait ensemence est maintenu en cuve ou en tank à la même température que dans le cas des pots (entre 42 et 46 °C) jusqu'à obtention de l'acidité voulue. Celle-ci est souvent un peu plus élevée que pour le yaourt ferme : de 1 à 1,2 pour cent d'acide lactique, soit 100 à 120 ° Dornic. On procède alors au découpage et au brassage du caillé par l'un des procédés ci-après : agitation mécanique à l'aide d'un brasseur à turbine ou à hélice ; passage du gel à travers un tamis : homogénéisation à basse pression.

Ce traitement a pour but de rendre le caillé onctueux. Il doit être réalisé avec précaution. Si le brassage est trop violent et s'il s'accompagne d'une incorporation excessive d'air, il peut se produire une séparation du sérum. Si la dilacération du coagulum est insuffisante, le produit risque de devenir ultérieurement trop épais.

Le brassage terminé, le caillé est immédiatement et rapidement refroidi à une température inférieure à 10 °C. La réfrigération dans la cuve ou le tank se faisant trop lentement et pouvant provoquer une sur-acidification (sauf dans le cas de très petites capacités), celle-ci est réalisée par passage dans un échangeur-réfrigérant à plaques ou tubulaire ou à surface raclée. Le brassage du Milk au cours de la réfrigération améliore l'onctuosité du produit.

Le yaourt est ensuite conditionné en pots et conserve à +2 -+4 °C. L'addition éventuelle d'arômes, de pulpes de fruits, etc., se fait au moment du remplissage des pots. L'addition du sucre peut se faire avant incubation, à condition de ne pas dépasser 6 % afin de ne pas ralentir la fermentation. Pour conserver au yaourt brassé sa consistance semi-liquide, le mélange d'additifs (fruits + sucre) ne doit pas dépasser 15 % (FAO, 1995).

### **5.3 Yaourt à boire :**

Il s'agit d'un yaourt brassé qui se différencie du brassé par son état liquide qui l'assimile à une boisson. Sa fluidité est obtenue par une diminution de la teneur en matière sèche. Le brassage fait par passage à l'homogénéisateur sous pression inférieure à 50 atmosphères donne une viscosité inférieure d'environ 50 pour cent à celle obtenue par brassage mécanique. Il peut être nature ou aromatisé (FAO, 1995).

### **6-Défauts et altérations du yaourt :**

Selon **Lavoisier et Luquet, (1990)**, les défauts rencontrés dans le yaourt sont groupés dans trois catégories : défauts de goût, défauts d'apparence et défauts de texture.

### 6.1 Défauts de goût :

Les défauts de goût peuvent être :

- **Une amertume** : Qui est due à une trop longue conservation, activité protéolytique trop forte des ferments ou à une contamination par des germes protéolytiques.
- **Goût plat, absence d'arôme** : Est dû au déséquilibre de la flore : trop de Streptocoques, incubation trop courte ou à trop basse température. **Manque d'acidité** : Dû à un taux d'ensemencement trop faible, incubation trop courte inhibiteurs dans le lait (ex : antibiotiques, bactériophages...etc).
- **Trop d'acidité** : due à une mauvaise conduite de la fermentation (taux d'ensemencement trop fort, incubation trop longue ou à température trop élevée, refroidissement pas assez poussé, trop lent, Conservation a trop haute température).
- **Rancidité** : Est due à une contamination par des germes lipolytiques et à un traitement thermique trop faible
- **Goût du cuit** : Dû à un traitement thermique trop sévère.
- **Goût gras** : défaut dû à une teneur en matière grasse trop élevée.
- **Gout aigre** : fait suite à une mauvaise conduite des levains (contamination par une flore lactique sauvage ou aux coliformes).

### 6.2 Défauts d'apparence :

Les défauts d'apparence se résument comme suit :

- **Décantation, synérèse** : est dû à une sur-acidification ou post-acidification, température trop élevée pendant le stockage, refroidissement trop faible, mauvaise adjonction des fruits ou pulpes de fruits, agitation du yaourt (yaourt ferme).
- **Production de gaz** : Contamination par des levures ou coliformes.
- **Des colonies en surface** : Contamination par les levures ou des moisissures.
- **Produit non homogénéisé et présence de couche de crème** : Mauvaise agitation dans le



cas des yaourts aux fruits.

### 6.3 Défauts de texture :

Les défauts de texture sont :

- **Manque de fermeté (yaourt étuvé)** : Ensemencement trop faible, mauvaise incubation (temps et/ou température trop faible), agitation avant complète coagulation Matière sèche trop faible.
- **Trop liquide (pour le yaourt brassé)** : dû à un brassage trop violent, à une mauvaise incubation, à la matière sèche trop faible, à un mauvais ferment (pas filant ou épaississants) et à un ajout de fruits ou arômes pas assez concentrés.
- **Trop filant** : Mauvais ferments (trop filant). Température d'incubation trop faible.
- **Texture sableuse** : résultant d'un chauffage du lait trop important, à une homogénéisation à température trop élevée.
- **Texture granuleuse** : un mauvais brassage. Une teneur en matière grasse trop élevée et un mauvais choix des ferments.

### 7. Effets bénéfiques des yaourts sur la santé :

Les yaourts et les laits fermentés, sont des aliments intéressants d'un point de vue nutritionnel (richesse en calcium et en vitamines, équilibre entre les fractions glucidiques, protéiques et lipidiques). En outre, les produits fermentés présentent des avantages spécifiques par rapport au lait non transformé.

Les bactéries lactiques que contient le yaourt restent actives dans le tube digestif tout au long du tractus intestinal, ce qui permet une bonne hydrolyse, et donc une bonne digestion du lactose présent dans les yaourts. C'est pourquoi les yaourts sont parfaitement tolérés chez les personnes intolérantes au lactose par déficit en lactase.

Les yaourts possèdent également des effets favorables sur l'immunité (**Wheeler et al., 1997 ; Meydani et al., 2000**). Des études épidémiologiques ont montré que la consommation de yaourts était associée à une plus faible incidence du surpoids et de l'obésité (**Martinez- Gonzalez et al., 2014**).

Toutes les composantes du syndrome métabolique étaient diminuées, notamment chez les consommateurs de yaourts au lait entier : l'obésité abdominale, l'hypertriglycéridémie et le cholestérol HDL, la pression artérielle, la glycémie à jeun (**Santiago et al., 2015 ; Díaz- Lopez et al., 2016**)

Des études récentes ont montré que la consommation de yaourts était associée à une diminution de 28 % du risque de diabète de type 2 (DT2) (**O'Connor et al., 2014**)

Plusieurs études ont montré que le lait fermenté était source de peptides fonctionnels, dont certains peuvent avoir un effet d'inhibition de l'enzyme de conversion de l'angiotensine et/ou stimuler la production de l'acide  $\gamma$ -aminobutyrique (GABA) qui pourrait être à l'origine d'un effet favorable sur la pression artérielle (**Buendia et al., 2016**).

Il a été démontré, que la consommation de lait entier fermenté était associée à une diminution importante du risque de décès par accident vasculaire cérébral, de 25 % chez les hommes consommant du lait entier fermenté par rapport à ceux qui n'en consomment pas, et de 18 % chez les femmes (**Goldbohm et al., 2011**).

La quasi-totalité des études d'intervention montre que la consommation de produits laitiers augmente la densité minérale osseuse elles sont également en faveur d'un bénéfice de la consommation de produits laitiers sur le risque d'ostéoporose et de fractures (**Bonjour et al., 2013**).

Une étude expérimentale chez des femmes en bonne santé a montré que la prise d'un produit laitier fermenté pendant 4 semaines modifiait l'activité cérébrale responsable des émotions (**Tillisch et al., 2013**). Dans l'encéphalopathie hépatique minime, la prise de yaourt supprime les signes d'encéphalopathie hépatique minime et améliore les tests cognitifs (**Bajaj et al., 2008**).

Cependant, la consommation de yaourt pourrait, non seulement contribuer à l'équilibre alimentaire, mais aussi être le marqueur d'un style alimentaire plus bénéfique. Ainsi, les effets positifs observés pourraient s'inscrire dans une alimentation globalement plus satisfaisante chez les consommateurs de yaourt et de lait fermenté comparativement aux non-consommateurs de lait fermenté ou de yaourt.

A yellow scroll graphic with a dark brown border and rounded corners. The scroll is unrolled, showing the text inside. The top and bottom edges are slightly curved, and there are small circular details at the corners suggesting the scroll's binding.

**Partie 02 :**

**Méthodologie  
Expérimentale**

## Partie 02 : Méthodologie expérimentale :

### 1. Objectifs :

Le but de cette étude expérimentale consiste à suivre l'effet d'incorporation de la farine cuite de quinoa à différents taux sur les variations des caractères physico-chimiques, microbiologiques et organoleptiques d'un yaourt brassé durant 21 jours de la période de post-acidification de conservation des produits au froid positif de 4°C.

### 2. Préparation de la matière végétale :

Les grains de quinoa (**Figure 1**) ont été fournis le mois de mars 2022 à titre de don par l'Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne « ITDAS » relevant de la région de BISKRA située au sud-est d'Algérie.



**Figure 07.** Grains de quinoa avant cuisson.

Les grains de la plante objet de l'étude une fois ramenée au laboratoire ont subi tout d'abord un lavage dans une passoire à volonté avec de l'eau en vue d'éliminer les saponines. La matière végétale récupérée a été ensuite imbibée d'eau à raison d'un volume de graine de quinoa pour deux volumes d'eau et cuites durant 07 minutes. Après élimination de l'eau par filtration les graines cuites ont été étalées sur du papier absorbant et séchées durant 02 jours à l'air ambiant jusqu'à ce que la teneur en eau des grains est devenue conforme aux normes (**Figure 7**).

Au terme de l'opération de séchage, le quinoa cuit a été broyé en fine poudre à l'aide d'un broyeur à lame. La farine de quinoa a été enfin stockée à 4°C dans un flacon fumé, à l'abri de la lumière et de l'humidité pour des fins d'analyses et d'usages ultérieures. (Figure 8).

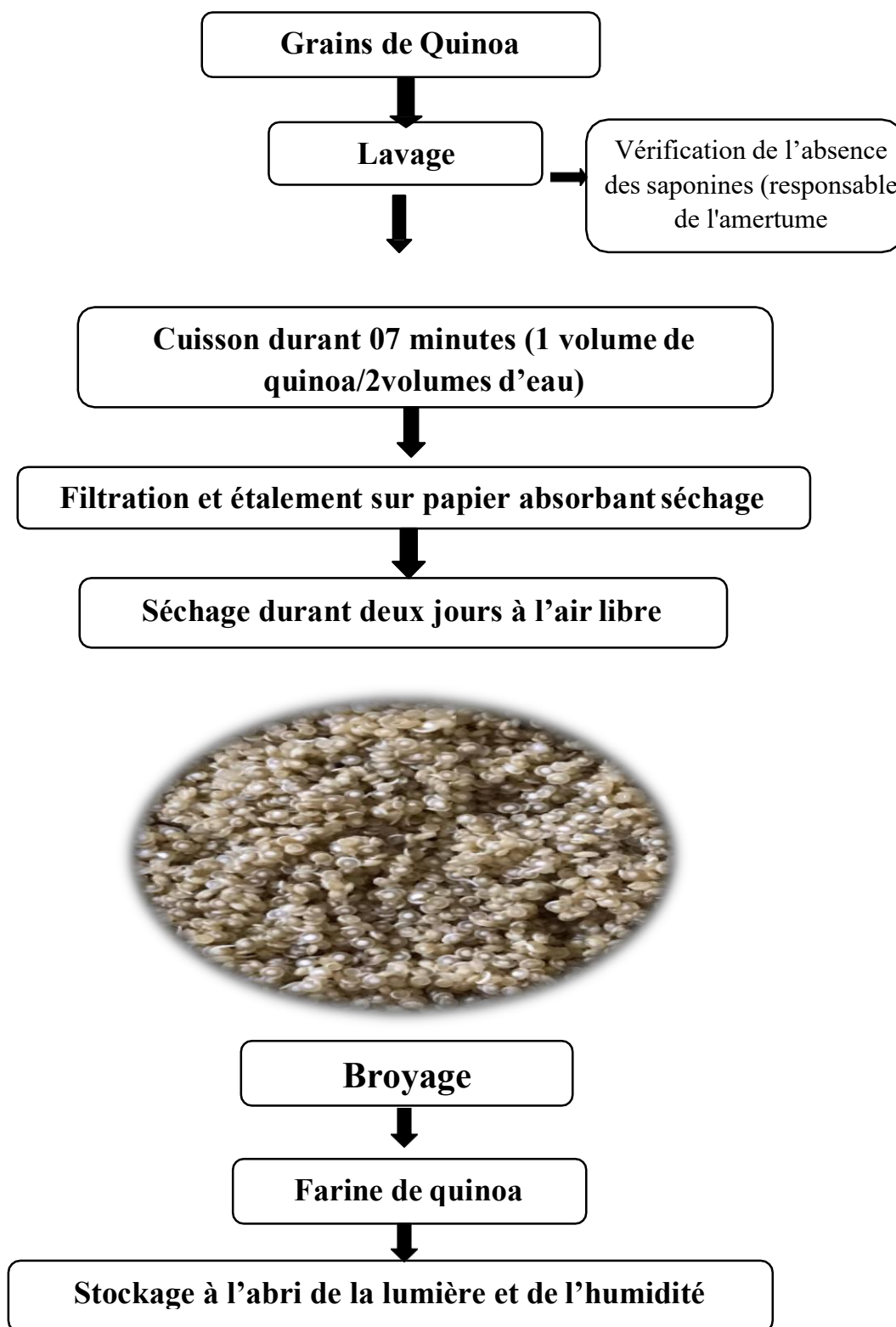


Figure 08. Préparation de la farine de quinoa

### 3. Préparation du levain pour le yaourt brassé :

Une prise de 0,75g d'une souche mixte lyophilisée pour ensemencement direct (CHR HANSEN ; Batch N°=3249491 ; DOM/BBD : 09.2015/09.2017) constituée de deux rapports de *Streptococcus thermophilus* pour un rapport de *Lactobacillus bulgaricus* a été cultivée dans 750 ml de lait pasteurisé, chauffé et maintenu à 45°C durant environ une heure pour leur activation.

Le levain prés à l'emploi avec un rapport de souches de 2 *Streptococcus thermophilus* pour 1 *Lactobacillus bulgaricus* (2S/1L, v/v) a été ensemencé dans les laits destinés à la fabrication des yaourts expérimentaux a un taux de 3%.



Figure 09. Préparation du levain

### 4. Technologie de fabrication des laits fermentés expérimentaux :

Le lait utilisé dans l'étude est un lait pasteurisé conservé au froid à 4 °C. Il a été fourni par l'unité étatique de fabrication de lait et dérivés « GIPLAIT » relevant de la Wilaya de Mostaganem.

Le lait est tout d'abord chauffé à l'étuve à 45°C et réparti dans des pots en polyéthylènes de 100 et 200 ml. Les échantillons de lait maintenus à 45°C ont été ensuite ensemencés respectivement à 3% avec un levain lactique formé d'un rapport de souches *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* de 2S/1L. Les pots de lait destinés aux différentes préparations de laits fermentés expérimentaux ont été par la suite sertis par du papier aluminiums et orientés à la fermentation pendant 3 heures et demie dans une étuve réglée à 45°C.



**Figure 10.** Étuvage des pots de lait à 45°C pendant trois heures et demie.

Au terme de la production les laits expérimentaux en pots, une fois caillés ont été brassés légèrement à l'aide d'une cuillère et réfrigérés à 4°C afin d'arrêter la fermentation lactique.



**Figure 11.** La mise des pots de yaourt brassé au réfrigérateur.

A des prises (de 03 X 100ml) et (06X200 ml) de yaourts brassés mis en pots ont été additionnés successivement la farine de quinoa cuite préparée comme précédemment à des taux de 0, 3, 6 et 9%. Les pots de yaourts obtenus ont été sertis avec du papier aluminium et conservés enfin en frigo à température de 4°C durant 21 jours de la période de post-acidification.



**Figure 12.** L'addition de la farine de quinoa dans le yaourt brassé.

## **5. Mesures et contrôles :**

### **5.1 Analyses physico-chimiques et technologiques de la farine de quinoa :**

#### **5.1.1 Humidité, protéines et cendres :**

La farine de quinoa a été analysée à l'aide d'un équipement Infranéo de Chopin Technologie qui mesure par infrarouge son taux d'humidité, de protéines et de cendre (**Figure 13**).



**Figure 13.** Équipement de l'Infranéo de Chopin Technologie.

**Mode d'opérateur :** prendre à l'aide d'une cuillère propre relative à l'équipement une quantité de la farine de quinoa et la mettre dans une capsule où elle va être placée dans la



navette qui va entrer dans l'équipement, le temps d'analyse de ce produit pulvérulent est de 25 secondes, une fois terminés les résultats apparaissent dans l'écran.

### 5.1.2 Granulométrie :

La farine de quinoa a subi un tamisage avec un équipement de rotachock de Chopin technologie, en utilisant les tamis suivants :

Tamis
Refus du tamis 200 $\mu\text{m}$
Refus du tamis 150 $\mu\text{m}$
Extraction tamis 150 $\mu\text{m}$

**Tableau 03.** Les tamis utilisés dans la granulométrie.

**Mode opératoire :** Peser 25g de la farine et les mettre dans une série de tamis composés de tamis de diamètre 200  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$  et le fond ramasseur respectivement. Mettre ensuite des dés en dessus de la farine et régler le rotachock pendant 07 minutes de tamisage. Enfin, peser le refus de chaque tamis.



**Figure 14.** Équipement du Rotachock de Chopin Technologie

### 5.1.3 Indice de chute :

L'indice de chute a été mesuré selon la norme ISO 3093 avec l'appareil de Falling Number (figure 15).

### Mode d'emploi :

- Après avoir déterminé la teneur en eau de la farine de quinoa et la prise d'essai de l'échantillon (tableau de la prise d'essai dans l'annexe), on introduit la prise d'essai dans un tube viscosimétrique propre et sec.
- À l'aide d'une pipette on ajoute  $25 \pm 0.2$  ml d'eau distillée de température de  $22^\circ \text{C}$ .
- Puis on bouche le tube viscosimétrique à l'aide d'un bouchon en caoutchouc, et on agite verticalement 20 à 30 fois jusqu'à obtention d'une suspension homogène.
- Après on enlève le bouchon et on racle la matière à la base du bouchon puis avec l'agitateur va racle également toute matière adhérente au parois du tube.
- Ensuite on place le tube à travers l'orifice dans le bain-marie bouillant.
- Une fois l'essai est terminé, on lit le temps affiché sur l'écran de l'appareil.
- On réalise la détermination sur deux prises d'essai rapidement l'une après l'autre pour s'assurer de la répétabilité des résultats.



Figure 15. Équipement de Falling Number

## 5.2 Analyses sur les laits fermentés (Yaourts brassés) :

Les analyses physicochimiques et microbiologiques ont été réalisées en triples essais durant la période de post acidification au 1<sup>er</sup>, 07<sup>ème</sup>, 14<sup>ème</sup> et 21<sup>ème</sup> jour de stockage des produits expérimentaux au froid positif de  $4^\circ \text{C}$ .

### 5.2.1 Analyses physico-chimiques :

**5.2.1 .1 pH :** Le dosage du pH a été réalisé par un pH-mètre (figure 16) étalonné par deux solutions, l'une acide et l'autre basique. La mesure a été effectuée en immergeant le

capteur dans les échantillons de yaourt mis dans un bécher. Après chaque détermination du pH, l'électrode est retirée et rincée avec l'eau distillée et séchée avant une autre utilisation (Audigie, 1984). La mesure est faite en trois essais.



**Figure 16.** Mesure du PH par un PH mètre

#### **5.2.1 .2 Acidité Dornic :**

Cette analyse a pour but de mesurer l'acide lactique du yaourt par titrage avec la soude NaOH 1/9 N en utilisant la phénolphthaléine comme un indicateur de couleur (figure 7). L'acidité normale du yaourt est comprise entre 75 et 100°D. La mesure est effectuée en introduisant 10ml de l'échantillon dans un bêcheur avec quelques gouttes de phénolphthaléine (3 gouttes). La titration réalisée avec de la soude à 0.1N, prend fin avec l'apparition d'une couleur rose pâle persistante (AFNOR, 1995).

L'acidité est exprimée en degrés Dornic selon la relation suivante : **Acidité (°D) = 10 X V**

- V : volume de la solution sodique utilisée pour la titration.

#### **Principe :**

L'acidité a été déterminée d'une façon précise par titration de 10ml d'une prise de yaourt à l'aide d'une soude caustique NaOH préparée à 1/9 N en présence de 4 à 5 gouttes de phénophtaléine préparée à 1% dans un solvant alcoolique.

#### **Mode opératoire :**

Les étapes de dosage sont comme suit :

- Bien homogénéisé le contenu du pot du yaourt,
- Prélever avec une pipette, 10 ml du yaourt déjà préparé,
- Ajouter d'abord quelques gouttes de phénolphthaléine, puis petit à petit, une solution de NaOH à 1/9 N.
- Au virage au rose de la couleur de la phénolphthaléine, noter le volume de NaOH versé lors de la titration.



Figure 17. L'opération du titrage de l'acidité dornic

### 5.2.1 .3. Viscosité dynamique :

La viscosité a été établie par l'utilisation d'un tube en verre de diamètre égale à 13 mm et de longueur de 07 cm équipés d'un chronomètre et d'une bille normalisée (poids de la bille 14,03g) afin de déterminer le temps de chute et par la suite calculer la viscosité selon la relation suivante :

$$\mu = K. (\zeta_{\text{bille}} - \zeta_{\text{yaourt}}). \text{ Où } K = 2 r^2. g / 9x$$

$$\text{Donc : } \mu = (2 r^2. g / 9x). (\zeta_{\text{bille}} - \zeta_{\text{yaourt}})$$

$\mu$  : viscosité dynamique (Kg/ms)

K : constante

$\zeta_{\text{bille}}$  : la masse volumique de la bille = 3824.09 kg/m<sup>3</sup>

$\zeta_{\text{yaourt}}$  : la masse volumique de yaourt (kg/m<sup>3</sup>)

t : temps parcouru pour la bille entre deux point A et B.

r : rayon de bille tel que.  $r = D/2 = 0.65 \text{ cm} / r^3 = 0,27 \text{ cm}^3$

x : la distance d'écoulement de la bille,  $x = 20 \text{ cm}$

g : la force pasteur, tel que  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

$\mu$  : viscosité dynamique (Kg/ms)

K : constante

$\zeta$  bille : la masse volumique de la bille =  $3824.09 \text{ kg/m}^3$

$\zeta$  yaourt : la masse volumique de yaourt ( $\text{kg/m}^3$ )

t : temps parcouru pour la bille entre deux point A et B.

r : rayon de bille tel que.  $r = D/2 = 0.65 \text{ cm} / r^3 = 0,27 \text{ cm}^3$

x : la distance d'écoulement de la bille,  $x = 20 \text{ cm}$

g : la force pasteur, tel que  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ .

### Mode opératoire :

- Le tube en verre est rempli avec l'échantillon à analyser (yaourt).
- Puis on fait parcourir en chute libre la bille métallique sur une distance constante pour tous les autres échantillons, tout en mesurant le temps à l'aide d'un chronomètre.
- On calcule la viscosité par la relation qui est déterminée ci-dessus.

### 5.2.2 Analyses microbiologiques :

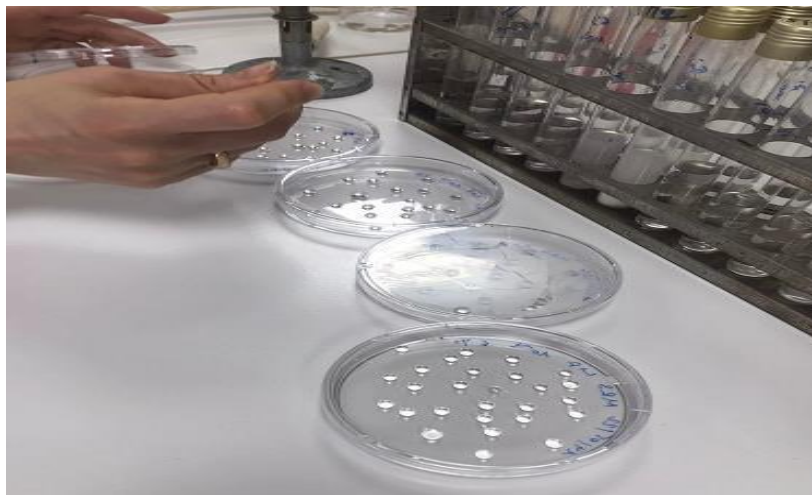
Une prise d'essai de 5g du lait fermenté à analyser a été additionnée à 45ml d'eau physiologique. Cette solution a constitué la première dilution ( $10^{-1}$ ). Des dilutions décimales, allant jusqu'à  $10^{-6}$ , ont été ensuite effectuées à l'eau physiologique.



Figure 18. Préparation des dilutions à partir de la solution mère.

### 5.2.2 .1 *Streptococcus thermophilus* :

Le dénombrement des germes a été réalisé par culture en profondeur d'une prise de dilution sur le milieu de culture sélectif M17, après incubation à 42°C pendant 24 à 48 h.



**Figure 19.** Ensemencement du *Streptococcus thermophilus*.

### 5.2.2 .2 *Lactobacillus bulgaricus* :

Le dénombrement des germes a été effectué par une prise de dilution sur milieu culture sélectif MRS après incubation à 42°C pendant 24 à 48h.



**Figure 20.** Ensemencement du *Lactobacillus bulgaricus*

### 5.2.3 Test organoleptique :

Chaque 7 jours durant toute la période de poste acidification, la qualité des laits fermentés expérimentaux a été évaluée par un jury composé de 10 panélistes selon les critères suivants :

- **Cohésivité** : Consiste à déterminer la capacité maximale de déformation en pot de l'échantillon avant de se rompre lorsqu'il est écrasé entre les doigts.
- **Adhésivité** : Exprime l'intensité des forces inter faciales développées entre la surface d'une cuillère et celle de l'échantillon lors d'une prise en pot du produit.
- **Gout acide** : Consiste à apprécier l'ampleur de l'acidité développée par les germes lactiquesensemencés dans les laits fermentés type yaourt au cours de l'entreposage.
- **Sensation de grumeaux** : Consiste à apprécier l'ampleur de la sensation de présence de grumeaux lors de la mise en bouche du produit.
- **Arrière-goût** : Le panéliste est appelé à apprécier l'ampleur de la sensation de d'arrière-gout amère si elle existe dans le produit présenté une fois mis en bouche.
- **Odeur** : Le panéliste est appelé à évaluer olfactivement l'ampleur des odeurs agréables (si elles existes) dégagés par les produits.
- **Couleur** : Consiste à apprécier le niveau d'acceptabilité de la couleur des produits par les consommateurs.

## **6. Traitement statistique :**

Les résultats paramétriques ont été traités statistiquement par une analyse de variance mono factorielle en randomisation totale suivie d'une comparaison des moyennes deux à deux selon le test de NEWMAN et KEULS.

Par contre, les données relatives au test organoleptique ont été analysées statistiquement par le test non paramétrique de Friedman.

L'effet du facteur étudié a été évalué au deux seuils de probabilité : à  $P < 0.05$  et à  $P < 0.01$  (**Stat Box 6.4**).

A yellow scroll graphic with a dark brown border and rounded corners. The scroll is unrolled, showing a white background for the text. The text is centered on the scroll.

**Partie 03 : Résultats et  
discussion**



**Partie 03 : Résultats et Discussion**

**1. Résultats :**

**1. 1 Analyse physico chimique et technologique de la farine de quinoa :**

**1.1.1. Taux d'humidité, protéines, de cendres et de PH:**

Les résultats des taux d'humidité, de protéines et de cendre contenus dans la farine de quinoa objet de l'étude sont présentés dans le (Tableau 04).

**Tableau 04.** Analyses physico-chimique de la farine de quinoa par infrarouge.

<b>Produit / analyse</b>	<b>Teneur en eau en %</b>	<b>Taux de protéine en %</b>	<b>Taux de cendre en %</b>	<b>PH par PH mètre</b>
<b>Farine de Quinoa</b>	6,00	12,08	2,70	6.40

La farine de quinoa a présenté un faible taux d'humidité de **6%** ; ce qui lui confère une bonne conservation à l'abri de l'humidité et la lumière. Par ailleurs, la farine est riche en protéines (12.08%) ; alors que la fraction minérale a été estimée à environ 2.7%.

**1.1.2 Granulométrie :**

Les résultats de la granulométrie mentionnés dans le (**Tableau 2**) révèlent bien l'homogénéité de la forme des particules de la farine et une grande finesse caractéristique du produit.

**Tableau 05.** Granulométrie de la farine de quinoa

<b>Tamis</b>	<b>Refus du tamis 200 µm</b>	<b>Refus du tamis 150 µm</b>	<b>Extraction tamis 150 µm</b>
<b>Farine de Quinoa</b>	49.88%	15,04%	35,08%

**1.1.3 Indice de chute :**

Selon la norme ISO 3093, la farine de quinoa a montré les résultats d'indices de chute figurant dans le (**Tableau 06**) suivant :

**Tableau 06.** Indices de chute de la farine de quinoa.

Indice de chute	Essai 1	Essai 2	Moyenne	Écart
Farine de quinoa	62 s	62 s	62s	00s

Ces résultats dénotent que la farine de quinoa est riche en  $\alpha$ - amylase, car le temps de chute est très court. Ces enzymes peuvent sans doute dégrader rapidement la quantité d'amidon présente dans le milieu.

## **1.2 Qualité des Yaourts brassés au quinoa :**

Les résultats du PH et de l'acidité du lait pasteurisé utilisé dans cette expérimentation est de PH égale à 6,60 avec une acidité de 16 degré dornic.

### **1. 2.1 Acidité :**

Les résultats de l'évolution de l'acidité du yaourt additionné par la farine de quinoa pendant la période post-acidification sont présentés dans le tableau 1.

D'après les résultats présentés dans le (**Tableau 07**), il apparait nettement que les valeurs d'acidité exprimées en degré Dornic ont tendance à augmenter d'une manière significative ( $P < 0.01$ ) avec l'augmentation des taux d'incorporation de 0 à 3, à 6 et 9% de farine cuite de quinoa dans les produits ; soit des valeurs qui ont varié respectivement de 79.17 à 85.33 à 89.33 °D.

Par ailleurs, au cours de toute la période d'entreposage à 4 °C, du 1<sup>er</sup>, au 7<sup>ème</sup>, au 14<sup>ème</sup> jusqu'au terme de la conservation au 21<sup>ème</sup> jour l'acidité a tendance à s'élever d'une manière très significative ( $P < 0.01$ ) dans les laits fermentés expérimentaux additionnés ou non de quinoa ; avec des teneurs qui ont augmenté remarquablement de 78.3, à 86.83, à 90 et à 93.67 °D, successivement.

### **1.2. 2. pH :**

Les valeurs de pH du yaourt ont pris une tendance inverse à l'acidité et ont progressivement diminué en prolongeant la période de conservation et en fonction des taux d'incorporation de la farine cuite de quinoa.

En effet, pendant les 21 jours de stockage, du 1<sup>er</sup> au 21<sup>ème</sup> jour, le pH des produits expérimentaux a diminué notablement ( $P < 0.01$ ) de 4.35 à 4.26.

### **Partie 03 : Résultats et Discussion**

---

Par ailleurs, avec la hausse des taux de farine de quinoa incorporés de 0, à 3, à 6 et à 9 %, le pH du milieu des laits fermentés a diminué d'une manière appréciable ( $P < 0.01$ ), 4.15 vs 4.26 vs 4.33 vs 4.43, en moyenne (Tableau 08).

#### **1.2.3. Viscosité :**

C'est au 1<sup>er</sup> jour que la viscosité des laits fermentés expérimentaux additionnés ou non de farine de quinoa a marqué une faible teneur (2,04 pa.s). Cette valeur a connu une nette augmentation ( $P < 0.01$ ) à 3,69 pa.s au 7<sup>ème</sup> jour et à 4,58 pa.s au 14<sup>ème</sup> pour atteindre une valeur maximale ( $P < 0.01$ ) de 4,88 pa.s à la fin de la période de stockage au 21<sup>ème</sup> jour.

En outre, le témoin a accusé une plus faible ( $P < 0.01$ ) viscosité (1,77 pa.s) par rapport aux autres essais expérimentaux dont les résultats ont été proportionnels ( $P < 0.01$ ) aux taux de farine de quinoa ajoutés et variables de 3, à 6 et à 9 % ; 2,55. vs 4,34 vs 6,53 pa.s, en moyenne (**Tableau 09**).

**Partie 03 : Résultats et Discussion**

**Tableau 07.** Effet de l'addition de la farine cuite de Quinoa (*Chenopodium quinoa willd*) sur les variations de l'acidité titrable (°D) des laits fermentés type yaourt brassé au cours de la conservation à 4 °C.

Interaction des facteurs étudiés		Périodes de conservation (jours) (n=3)				Période de conservation (n= 12)				Taux d'incorporation de Quinoa % (n=12)				Effets des facteurs étudiés		
		J1	J7	J14	J21	1 <sup>er</sup> jour	7 <sup>ème</sup> jour	14 <sup>ème</sup> jour	21 <sup>ème</sup> jour	0%	3%	6%	9%	F1	F2	Int. F1XF2
Taux d'incorporation de Quinoa % (n=3)	0	70.67 ± 03.05	78.00 ± 00.00	82.00 ± 02.00	86.00 ± 02.00	78.83 <sup>d</sup> ± 01.56	86.83 <sup>c</sup> ± 01.10	90.00 <sup>b</sup> ± 01.71	93.67 <sup>a</sup> ± 01.56	79.17 <sup>d</sup> ± 01.76	85.33 <sup>c</sup> ± 01.39	89.33 <sup>b</sup> ± 01.39	95.50 <sup>a</sup> ± 01.39	P < 0.01	P < 0.01	P > 0.05
	3	78.67 ± 01.15	84.67 ± 01.15	88 ± 02.00	90 ± 02.00											
	6	80.67 ± 01.15	88.67 ± 01.15	92 ± 02.00	96 ± 02.00											
	9	85.33 ± 01.15	96.00 ± 02.00	98 ± 02.00	102.67 ± 01.15											

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes et écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n égale à 03 (n = 03) ; p>0.05 : effet non significatif du facteur étudié ; P< 0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié ; F1 : facteur étudié (période de conservation) ; F2 : facteur étudié (Taux d'incorporation de la farine cuite de Quinoa %) ; Int. F1XF2 : interaction des deux facteurs étudiés ; a, b, c ...etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls.

**Tableau 08.** Effet de l'addition de la farine cuite de Quinoa (*Chenopodium quinoa willd*) sur les variations de pH des laits fermentés type yaourt brassé au cours de la conservation à 4 °C.

Interaction des facteurs étudiés		Périodes de conservation (jours) (n=3)				Période de conservation (n= 12)				Taux d'incorporation de Quinoa % (n=12)				Effets des facteurs étudiés		
		J1	J7	J14	J21	1 <sup>er</sup> jour	7 <sup>ème</sup> jour	14 <sup>ème</sup> jour	21 <sup>ème</sup> jour	0%	3%	6%	9%	F1	F2	Int. F1XF2
Taux d'incorporation de Quinoa % (n=3)	0	04.22 ± 00.03	04.20 ± 0.02	4.16 ± 0.01	4.14 ± 0.02	04.35 <sup>a</sup> ± 00.03	04.32 <sup>b</sup> ± 00.03	04.29 <sup>c</sup> ± 00.02	04.26 <sup>d</sup> ± 00.03	04.18 <sup>d</sup> ± 00.02	04.26 <sup>c</sup> ± 00.02	04.33 <sup>b</sup> ± 00.03	04.43 <sup>a</sup> ± 00.03	P < 0.01	P < 0.01	P > 0.05
	3	04.30 ± 00.03	04.28 ± 00.02	04.25 ± 00.01	04.22 ± 00.02											
	6	04.38 ± 00.04	04.36 ± 00.04	04.32 ± 00.03	04.28 ± 00.03											
	9	04.48 ± 00.04	04.45 ± 00.04	04.41 ± 00.03	04.40 ± 00.04											

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes et écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n égale à 03 (n = 03) ; p>0.05 : effet non significatif du facteur étudié ; P< 0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié ; F1 : facteur étudié (période de conservation) ; F2 : facteur étudié (Taux d'incorporation de la farine cuite de Quinoa %) ; Int. F1XF2 : interaction des deux facteurs étudiés ; a, b, c ...etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls.

**Tableau 09.** Effet de l'addition de la farine cuite de Quinoa (*Chenopodium quinoa willd*) sur les variations de la viscosité (Pas) des laits fermentés type yaourt brassé au cours de la conservation à 4 °C.

Interaction des facteurs étudiés		Périodes de conservation (jours) (n=3)				Période de conservation (n= 12)				Taux d'incorporation de Quinoa % (n=12)				Effets des facteurs étudiés		
		J1	J7	J14	J21	1 <sup>er</sup> jour	7 <sup>ème</sup> jour	14 <sup>ème</sup> jour	21 <sup>ème</sup> jour	0%	3%	6%	9%	F1	F2	Int. F1XF2
Taux d'incorporation de Quinoa % (n=3)	0	1,50 ± 0,03	1,75 ± 0,09	1,86 ± 0,03	1,95 ± 0,02	2,04 <sup>d</sup> ± 0,02	3,69 <sup>c</sup> ± 0,05	4,58 <sup>b</sup> ± 0,02	4,88 <sup>a</sup> ± 0,02	1,77 <sup>d</sup> ± 0,04	2,55 <sup>c</sup> ± 0,02	4,34 <sup>b</sup> ± 0,04	6,53 <sup>a</sup> ± 0,02	P < 0.01	P < 0.01	P < 0.01
	3	1,70 ± 0,02	2,18 ± 0,04	4,04 ± 0,01	2,29 ± 0,02											
	6	2,35 ± 0,03	4,37 ± 0,07	5,21 ± 0,03	5,43 ± 0,02											
	9	2,59 ± 0,05	6,46 ± 0,02	7,22 ± 0,01	9,86 ± 0,04											

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes et écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n égale à 03 (n = 03) ; p>0.05 : effet non significatif du facteur étudié ; P< 0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié ; F1 : facteur étudié (période de conservation) ; F2 : facteur étudié (Taux d'incorporation de la farine cuite de Quinoa %) ; Int. F1XF2 : interaction des deux facteurs étudiés ; a, b, c ...etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls.

## 1.2.4 Bactéries spécifiques du yaourt :

### 1.2.4.1 *Streptococcus thermophilus* :

Du 1<sup>er</sup> au 14<sup>ème</sup> jour, le germe *Streptococcus thermophilus* a marqué un accroissement remarquable ( $P < 0.01$ ) de  $380 \cdot 10^4$  à  $587 \cdot 10^4$  UFC/ml ; alors qu'en fin de la conservation au 21<sup>ème</sup> jour la prolifération a diminué sensiblement ( $P < 0.01$ ) à environ  $69 \cdot 10^4$  UFC/ml.

Apparemment, une relation inverse a été observée entre la multiplication du nombre de *Streptococcus thermophilus* avec l'enrichissement des produits de farine de quinoa à 0, 3, 6 et 9 % ( $P < 0.01$ ) ; soit une chute respective du nombre de ces germes de  $836 \cdot 10^5$ , à  $424 \cdot 10^4$ , à  $161 \cdot 10^4$  et à  $83 \cdot 10^4$  Ufc/ml, en moyenne (**Tableau 10**).

### 1.2.4.2 *Lactobacillus bulgaricus* :

Du 1<sup>er</sup> au 7<sup>ème</sup> jour de la période de poste acidification le nombre de *Lactobacillus bulgaricus* a augmenté ( $P < 0.01$ ) de  $41 \cdot 10^4$  à  $267 \cdot 10^5$  UFC/ml pour connaître aux 14<sup>ème</sup> et 21<sup>ème</sup> jours une nette stabilité à un nombre de bactéries qui ont diminué respectivement ( $P < 0.01$ ) à  $29 \cdot 10^3$  et à  $36 \cdot 10^3$  UFC/ml, en moyenne.

L'essai préparé à 3 % de quinoa a présenté un nombre de bactéries (*Lactobacillus bulgaricus*) similaire ( $P < 0.01$ ) au témoin ;  $31 \cdot 10^4$  vs  $28 \cdot 10^4$  UFC/ml, en moyenne.

Toutefois, comparativement au témoin à des taux d'incorporation de quinoa supérieur de 6 et 9 % le nombre des germes a connu une nette baisse ( $P < 0.01$ ) ;  $28 \cdot 10^4$  vs  $266 \cdot 10^4$  vs  $88 \cdot 10^3$  UFC/ml (**Tableau 11**).

## 1.2.5 Tests organoleptiques :

### 1.2.5.1 Acidité :

Au 14<sup>ème</sup> jour, de la période de post acidification, de conservation à 4 C°, les panélistes n'ont décelé aucune différence d'acidité entre les produits préparés avec et sans farine de quinoa ( $P > 0.05$ ) ; avec des valeurs de somme des rangs qui ont varié de 17.5 à 28.5.

Au 21<sup>ème</sup> jour, les essais préparés à 3 et 9 % ont marqué de mauvaises valeurs d'acidité

par comparaison au témoin ( $P < 0.01$ ) ; 32.5 vs 28.5 vs 20 sommes des rangs.

En revanche, durant cette même période, l'essai préparé à 6 % de quinoa a été apprécié au plan de l'acidité de la même manière que le témoin ( $P > 0.05$ ) ; 19 vs 20, somme des rangs (**Tableau 12**).

**Tableau 12.** Évaluation sensorielle de l'acidité des yaourts brassés additionnés de la farine de Quinoa (*Chenopodium quinoa* willd) au cours de la conservation au froid à 4°C.

Facteur étudié		Taux d'ajout de la farine de Quinoa % (n=10)				Effet d'ajout de la farine de Quinoa
		0%	3%	6%	9%	
Périodes (Jours : J)	07 <sup>ème</sup> J	17.50 <sup>b</sup>	28.00 <sup>a</sup>	26.00 <sup>ab</sup>	28.50 <sup>a</sup>	$P > 0.05$
	14 <sup>ème</sup> J	21.00 <sup>b</sup>	26.00 <sup>ab</sup>	26.50 <sup>a</sup>	26.50 <sup>a</sup>	$P > 0.05$
	21 <sup>ème</sup> J	20.00 <sup>b</sup>	32.50 <sup>a</sup>	19.00 <sup>b</sup>	28.50 <sup>a b</sup>	$P < 0.01$

Les résultats sont exprimés en sommes des rangs ; avec un nombre de pénalistes n égale à 10 (n = 10) ;  $p > 0.05$  : effet non significatif du facteur étudié ;  $P < 0.01$  : effet hautement significatif de facteur étudié ; a, b, c ...etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes mono factorielle selon le test de Friedman.

### 1.2.5.2 Arrière-goût :

Au 7<sup>ème</sup> jour de conservation, aucune distinction ( $P > 0.05$ ) d'arrière-goût n'a été enregistrée par les dégustateurs dans le témoin et les yaourts supplémentés de farine de quinoa à 3 et à 6 % ; 20 vs 20 vs 23.5 sommes des rangs. Cependant, l'essai préparé à 9 % de farine de quinoa a marqué une différence remarquablement plus élevée ( $P < 0.01$ ) que le témoin ; 36.5 vs 20 sommes des rangs.

Pratiquement au 14<sup>ème</sup> jour aucune différence sensorielle de l'arrière-goût entre les produits expérimentaux n'a été remarquée par le jury ( $P > 0.05$ ) ; 21.5 à 30.5 sommes des rangs.

En fin de stockage, après 21 jours, le témoin a noté de meilleurs résultats ( $P < 0.01$ ) du moins par rapport aux produits préparés à 3 et à 9 % de farine de quinoa ; 16.5 vs 29 vs 31.5, sommes des rangs (**Tableau 13**).



**Tableau 10.** Effet de l'addition de la farine cuite de Quinoa (*Chenopodium quinoa willd*) sur les variations du nombre de *Streptococcus thermophilus* (UFC/ml) des laits fermentés type yaourt brassé au cours de la conservation à 4 °C.

Interaction des facteurs étudiés		Périodes de conservation (jours) (n=3)				Période de conservation (n= 12)				Taux d'incorporation de Quinoa % (n=12)				Effets des facteurs étudiés		
		J1	J7	J14	J21	J1	J7	J14	J21	0%	3%	6%	9%	F1	F2	Int. F1X F2
Taux d'incorporation de Quinoa % (n=3)	0	10 10 <sup>6b</sup>	116 10 <sup>5b</sup>	387 10 <sup>5a</sup>	18 10 <sup>5c</sup>	38 10 <sup>5c</sup>	75 10 <sup>5b</sup>	171 10 <sup>5a</sup>	10 10 <sup>5d</sup>	15 10 <sup>6a</sup>	64 10 <sup>5b</sup>	42 10 <sup>5c</sup>	32 10 <sup>5d</sup>	P < 0.01	P < 0.01	P < 0.01
	3	277 10 <sup>4c</sup>	96 10 <sup>5b</sup>	124 10 <sup>5a</sup>	94 10 <sup>4d</sup>											
	6	143 10 <sup>4c</sup>	52 10 <sup>5b</sup>	96 10 <sup>5a</sup>	87 10 <sup>4d</sup>											
	9	10 10 <sup>5c</sup>	36 10 <sup>5b</sup>	78 10 <sup>5a</sup>	60 10 <sup>4d</sup>											

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes et écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n égale à 03 (n = 03) ; p>0.05 : effet non significatif du facteur étudié ; P< 0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié ; F1 : facteur étudié (période de conservation) ; F2 : facteur étudié (Taux d'incorporation de la farine cuite de Quinoa %) ; Int. F1X F2 : interaction des deux facteurs étudiés ; UFC : unité formant colonies ; a, b, c ...etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls.

**Tableau 11.** Effet de l'addition de la farine cuite de Quinoa (*Chenopodium quinoa willd*) sur les variations du nombre de *Lactobacillus bulgaricus* (UFC/ml) des laits fermentés type yaourt brassé au cours de la conservation à 4 °C.

Interaction des facteurs étudiés		Périodes de conservation (jours) (n=3)				Période de conservation (n= 12)				Taux d'incorporation de Quinoa % (n=12)				Effets des facteurs étudiés		
		J1	J7	J14	J21	J1	J7	J14	J21	0%	3%	6%	9%	F1	F2	Int. F1XF2
Taux d'incorporation de Quinoa % (n=3)	0	62 10 <sup>4a</sup>	24 10 <sup>5b</sup>	40 10 <sup>5c</sup>	68 10 <sup>4c</sup>	45 10 <sup>4d</sup>	23 10 <sup>5b</sup>	31 10 <sup>5a</sup>	71 10 <sup>4c</sup>	19 10 <sup>5b</sup>	26 10 <sup>5a</sup>	12 10 <sup>5c</sup>	82 10 <sup>4c</sup>	P < 0.01	P < 0.01	P < 0.01
	3	53 10 <sup>4b</sup>	32 10 <sup>5c</sup>	61 10 <sup>5a</sup>	76 10 <sup>4d</sup>											
	6	47 10 <sup>4b</sup>	22 10 <sup>5b</sup>	15 10 <sup>5c</sup>	91 10 <sup>4c</sup>											
	9	20 10 <sup>4b</sup>	16 10 <sup>5c</sup>	10 10 <sup>5c</sup>	49 10 <sup>4c</sup>											

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes et écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n égale à 03 (n = 03) ; P < 0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié ; F1 : facteur étudié (période de conservation) ; F2 : facteur étudié (Taux d'incorporation de la farine cuite de Quinoa %) ; Int. F1XF2 : interaction des deux facteurs étudiés ; UFC : unité formant colonies ; a, b, c...etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls.

**Tableau 13.** Évaluation sensorielle de l'arrière-goût des yaourts brassés additionnés de la farine cuite de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) au cours de la conservation.

Facteur étudié		Taux d'ajout de la farine de Quinoa % (n=10)				Effet d'ajout de la farine de Quinoa
		0%	3%	6%	9%	
Périodes (Jours : J)	7 <sup>ème</sup> J	20.00 <sup>b</sup>	20.00 <sup>b</sup>	23.50 <sup>b</sup>	36.50 <sup>a</sup>	P <0.01
	14 <sup>ème</sup> J	21.50 <sup>b</sup>	21.50 <sup>b</sup>	26.50 <sup>ab</sup>	30.50 <sup>a</sup>	P >0.05
	21 <sup>ème</sup> J	16.50 <sup>b</sup>	29.00 <sup>a</sup>	22.00 <sup>a b</sup>	31.50 <sup>a</sup>	P <0.01

Les résultats sont exprimés en sommes des rangs ; avec un nombre de pénalistes n égale à 10 (n = 10) ; p>0.05 : effet non significatif du facteur étudié ; P< 0.01 : effet hautement significatif de facteur étudié ; a, b, c ...etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes mono factorielle selon le test de Friedman.

### 1.2.5.3 Adhésivité :

Au 7<sup>ème</sup> jour , l'adhésivité des laits fermentés préparés à 3, 6 et 9 % de farine cuite de quinoa (28.5 somme des rangs, en moyenne) ont été qualifiées par les panélistes de sensiblement (P <0.01) plus faible que le témoin qui a marqué un score de 14.5 sommes des rangs.

En revanche, au 14<sup>ème</sup> et 21<sup>ème</sup> jour d'entreposage au froid à 4 °C, tous les produits ont présenté une adhésivité identique (P>0.05) ; 18 à 29.5 sommes des rangs, respectivement (Tableau 14).

**Tableau 14.** Évaluation sensorielle de l'adhésivité des yaourts brassés additionnés de la farine cuite de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) au cours de la conservation.

Facteur étudié		Taux d'ajout de la farine de Quinoa % (n=10)				Effet d'ajout de la farine de Quinoa
		0%	3%	6%	9%	
Périodes (Jours : J)	7 <sup>ème</sup> J	14.50 <sup>b</sup>	28.50 <sup>a</sup>	28.50 <sup>a</sup>	28.50 <sup>a</sup>	P <0.01
	14 <sup>ème</sup> J	18.00 <sup>b</sup>	27.00 <sup>a</sup>	27.50 <sup>a</sup>	27.50 <sup>a</sup>	P >0.05
	21 <sup>ème</sup> J	20.50 <sup>b</sup>	25.50 <sup>ab</sup>	29.50 <sup>a</sup>	24.50 <sup>ab</sup>	P >0.05

Les résultats sont exprimés en sommes des rangs ; avec un nombre de panélistes n égale à 10 (n = 10) ; p>0.05 : effet non significatif du facteur étudié ; P< 0.01 : effet hautement significatif de facteur étudié ; a, b, c ...etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes mono factorielle selon le test de Friedman.

### 1.2.5.4 Cohésivité :

Au 7<sup>ème</sup> jour la cohésivité des laits fermentés semble être améliorée avec l'augmentation des taux de farine cuite de quinoa variables de 0 à 3 à 6 et à 9 % (P <0.01) ; soit des sommes des rangs qui ont diminué respectivement de 31.5 à 33.5 à 19 et à 16.

Au 14<sup>ème</sup> jour, les dégustateurs ont mieux apprécié la cohésivité du produit préparé à 9 % de farine de quinoa que ceux préparés à des taux inférieurs de 0,3 et 6 % (P <0.01) ; 17.5 vs 25 vs 32.5 vs 25, somme des rangs.

En revanche, au 21<sup>ème</sup> jour de stockage, les panélistes n'ont trouvé aucune différence de cohésivité entre les essais expérimentaux (P>0.05) ; 20.5 à 26.5 sommes des rangs (Tableau 15).

**Tableau 15.** Évaluation sensorielle de la cohésivité des yaourts brassés additionnés de la farine cuite de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) au cours de la conservation.

Facteur étudié		Taux d'ajout de la farine de Quinoa % (n=10)				Effet d'ajout de la farine de Quinoa
		0%	3%	6%	9%	
Périodes (Jours : J)	7 <sup>ème</sup> J	31.50 <sup>a</sup>	33.50 <sup>a</sup>	19.00 <sup>b</sup>	16.00 <sup>b</sup>	P <0.01
	14 <sup>ème</sup> J	25.00 <sup>a b</sup>	32.50 <sup>a</sup>	25.00 <sup>a b</sup>	17.50 <sup>b</sup>	P <0.01
	21 <sup>ème</sup> J	26.50 <sup>a</sup>	26.50 <sup>a</sup>	26.50 <sup>a</sup>	20.50 <sup>b</sup>	P >0.05

Les résultats sont exprimés en sommes des rangs ; avec un nombre de panélistes n égale à 10 (n = 10) ; p>0.05 : effet non significatif du facteur étudié ; P< 0.01 : effet hautement significatif de facteur étudié ; a, b, c ...etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes mono factorielle selon le test de Friedman.

### 1.2.5.5 Sensation de grumeaux :

Au 7<sup>ème</sup> comme au 14<sup>ème</sup> jour de la période de post- acidification, la sensation de grumeaux est d'autant plus ressentie par les panélistes que le taux d'addition de farine de quinoa est augmenté de 0, à 3, à 6 et à 9 % (P <0.01) ; soit des sommes des rangs qui ont varié respectivement de 14.5 à 37 au 7<sup>ème</sup> jour et de 15 à 36 au 14<sup>ème</sup> jour.

Au 21<sup>ème</sup> jour, les dégustateurs n'ont trouvé aucune différence entre les produits (P>0.05); 21.5 à 67 sommes des rangs (Tableau16).

**Tableau 16.** Évaluation sensorielle de la sensation de grumeaux des yaourts brassés additionnés de la farine cuite de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) au cours de la conservation.

Facteurs Étudiés Jours	Taux d'ajout de la farine de Quinoa % (n=10)				Effet d'ajout de la farine de Quinoa
	0%	3%	6%	9%	
J7	14,5 <sup>c</sup>	20 <sup>c</sup>	29.5 <sup>b</sup>	37 <sup>a</sup>	P <0.01
J14	15 <sup>c</sup>	20 <sup>c</sup>	29 <sup>b</sup>	36 <sup>a</sup>	P <0.01
J21	25 <sup>c</sup>	30.5 <sup>b</sup>	29 <sup>b</sup>	67 <sup>a</sup>	P >0.05

Les résultats sont exprimés en sommes des rangs ; avec un nombre de panélistes n égale à 10 (n = 10) ; p>0.05 : effet non significatif du facteur étudié ; P< 0.01 : effet hautement significatif de facteur étudié ; a, b, c ...etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes mono factorielle selon le test de Friedman.

### 1.2.5.6 Odeur :

Au 7<sup>ème</sup> et au 21<sup>ème</sup> jour d'entreposage relatif à la période de post-acidification, tous les échantillons expérimentaux ont été appréciés de la même manière du point de vue de l'odeur ; 19 à 53.5 sommes des rangs.

Par contre, au 14<sup>ème</sup> jour c'est l'essai préparé à 6 % de farine de quinoa qui a enregistré le meilleur score d'odorat par comparaison au témoin (P <0.01) ; 15.5 vs 22.5 sommes des rangs (**Tableau 17**).

**Tableau 17.** Évaluation sensorielle de l'odeur des yaourts brassés additionnés de la farine cuite de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) au cours de la conservation.

Facteur étudié		Taux d'ajout de la farine de Quinoa % (n=10)				Effet d'ajout de la farine de Quinoa
		0%	3%	6%	9%	
Périodes (Jours : J)	7 <sup>ème</sup> J	21.50	28.50	19.00	53.50	P >0.05
	14 <sup>ème</sup> J	22.50 <sup>b</sup>	26.50 <sup>b</sup>	15.50 <sup>c</sup>	35.50 <sup>a</sup>	P <0.01
	21 <sup>ème</sup> J	21.50 <sup>b</sup>	25.00 <sup>ab</sup>	24.50 <sup>ab</sup>	29.00 <sup>a</sup>	P >0.05

Les résultats sont exprimés en somme des rangs ; avec un nombre de panélistes n égale à 10 (n = 10) ; p>0.05 : effet non significatif du facteur étudié ; P< 0.01 : effet hautement significatif de facteur étudié ; a, b, c ...etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes mono factorielle selon le test de Friedman.

**1.2.5.7 Couleur :**

Au 7<sup>ème</sup> jour, la couleur des produits s'avère d'autant plus détériorée avec l'augmentation des taux de farine cuite de quinoa incorporés ( $P < 0.01$ ) ; soit des sommes des rangs qui ont varié de 18, à 23, à 24.5 et à 334.5 avec l'élévation des taux de quinoa de 0, à 3, à 6 et à 9 % respectivement dans les produits.

Au 14<sup>ème</sup> jour, les produits préparés à 0, 3 et 6% de quinoa ont présenté une couleur similaire (19.5 à 22.5 sommes des rangs) mais significativement ( $P < 0.01$ ) meilleurs que l'essai préparé à 9 % de farine de quinoa (37 sommes des rangs).

Au 21<sup>ème</sup> jour le lait fermenté préparé à 6% de farine de quinoa (18 somme des rangs) a présenté une couleur comparable ( $P < 0.01$ ) au témoin (17.5 somme des rangs). Cependant, à la même période comparativement au témoin, les yaourts au quinoa à 3 et à 9 % ont présenté de médiocres résultats ( $P < 0.01$ ) ; 29 vs 35.5 vs 17.5, somme des rangs (Tableau18).

**Tableau 18.** Évaluation sensorielle de la couleur des yaourts brassés additionnés de la farine cuite de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) au cours de la conservation.

Facteur étudié		Taux d'ajout de la farine de Quinoa % (n=10)				Effet d'ajout de la farine de Quinoa
		0%	3%	6%	9%	
Périodes (Jours : J)	7 <sup>ème</sup> J	18.00 <sup>b</sup>	23.00 <sup>b</sup>	24.50 <sup>b</sup>	34.50 <sup>a</sup>	<b>P &lt; 0.01</b>
	14 <sup>ème</sup> J	19.50 <sup>b</sup>	22.50 <sup>b</sup>	21.00 <sup>b</sup>	37.00 <sup>a</sup>	<b>P &lt; 0.01</b>
	21 <sup>ème</sup> J	17.50 <sup>b</sup>	18.00 <sup>b</sup>	29.00 <sup>a</sup>	35.50 <sup>a</sup>	<b>P &lt; 0.01</b>

Les résultats sont exprimés en sommes des rangs ; avec un nombre de panlistes n égale à 10 (n = 10) ;  $p > 0.05$  : effet non significatif du facteur étudié ;  $P < 0.01$  : effet hautement significatif de facteur étudié ; a, b, c ...etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes mono factorielle selon le test de Friedman.

## **2. Discussion :**

La production de laits fermentés représente une technologie complexe, qui fait intervenir un grand nombre d'étapes autour d'une étape clé de transformation biologique, la fermentation. Celle-ci est précédée de différentes opérations visant à préparer le lait pour former un « mix », et est suivie d'autres opérations qui transforment « la masse blanche » en divers produits finis. La fermentation repose sur la mise en œuvre d'une matière première d'origine organique, le lait, et sa transformation par des micro-organismes, les bactéries lactiques, qui modifient les différents composants du lait.

Les laits fermentés supplémentés ou non par la farine cuite de quinoa ont fait l'objet de cette étude. Pendant la période de l'étude, du début de la fermentation à la fin de la phase de poste acidification après 21 jours de conservation au froid à 4 °C, les laits fermentés expérimentaux sont caractérisés par une nette diminution du pH les valeurs ont tendance à diminuer de 4.3 à 4.22 pour le yaourt supplémenté de farine de quinoa à 3%, de 4.38 à 4.28 à 6% et de 4.48 à 4.40 pour le 9%. Ces réductions de pH résultent sans doute d'une production d'acide lactique suite à une fermentation du lactose du lait par les deux souches spécifiques ensemencées à savoir *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* (**Alias et Lenden, 1984 ; Luquet, 1990**). En effet, il existe une relation étroite et inversement proportionnelle entre le pH et l'acidité lactique produites par les bactéries lactiques ; le PH diminue au fur et à mesure que la quantité de lactate produite augmente.

Contrairement au pH, les changements d'acidité titrable du yaourt brassé à la farine cuite de quinoa pendant la conservation à 4° C pendant 21 jours, ont marqué une augmentation remarquable des teneurs avec l'extension du 1<sup>er</sup> au 21<sup>ème</sup> jour de la période de stockage. Le développement continu de l'acidité titrable dans l'ensemble des échantillons de yaourt en prolongeant la durée de conservation pourrait être attribué aux multiples métaboliques contenues dans la farine de quinoa et qui ont certainement participé à titre de facteurs de croissance ayant boosté la prolifération des bactéries lactiques spécifiques du yaourt à transformer davantage le lactose résiduel du milieu en acide lactique (**Casarotti et al., 2014 ; Curti et al., 2017**). Il est bien prouvé que la farine de quinoa améliore la croissance des cultures du yaourt en raison de la teneur élevée en acides aminés et en minéraux (**Repo-Carrasco- Valencia et al., 2010. Konishi, et al., 2004**). La fraction glucidique importante ramenée par le quinoa pourrait contribuer aussi à cette augmentation du taux d'acidification par fermentation lactique

remarquée dans les essais expérimentaux. A ce propos, il a été rapporté que la modification du niveau des glucides du lait entraîne impérativement une augmentation drastique du taux d'acidification du yaourt (**Zare et al., 2012**).

Une des raisons de l'acidité élevée constatée dans les yaourts enrichis de quinoa est en relation avec le degré de lipolyse de la fraction lipidique constitutive. Une augmentation de l'oxydation des lipides s'est certainement produite en raison de l'activation des enzymes lipolytiques causée principalement par l'ajout de quinoa moulu en vue d'une éventuelle amélioration ultérieure de la qualité du produit (**Ng et al., 2007**). Néanmoins, le processus de fermentation, la production d'acides gras à chaîne courte (lactique, acétique) et ont contribué d'une manière combinée à une augmentation de l'acidité du milieu (**Turek et al., 2018**).

À travers ces résultats il apparaît durant la période de post acidification qu'à l'instar des *Streptococcus thermophilus* dont la prolifération est faible les *Lactobacillus bulgaricus* avec l'ajout de la farine cuite de quinoa possèdent une activité acidifiante plus intéressante durant les 21 jours d'entreposage des laits fermentés.

Toutes fois, durant l'expérimentation l'acidité des produits n'a pas dépassé les normes admises commercialement de 150°D.

L'évolution des valeurs moyennes de la viscosité des laits fermentés expérimentaux connaît une augmentation de 1,70 Pas à 2,29 Pas à 3%, de 2,35 à 5,43 à 6% et de 2,59 à 9,86 Pas à 9%, en moyenne depuis le début jusqu'au 21<sup>ème</sup> jour de conservation des produits au froid à 4°C ; la viscosité des produits a donc nettement augmenté d'une manière proportionnellement avec l'élévation du taux de farine cuite de quinoa ajoutée.

Il convient de mentionner que durant la période de fermentation la détérioration de la charge électrique négative des micelles de caséine induit une légère dissolution du calcium et du phosphate inorganique qui atténue la stabilité colloïdale et par la suite la caséine devient insoluble près du pH isoélectrique (à environ 4,6) ou un gel lactique se forme. Ce phénomène, induit un renforcement de protéine- protéine complexes des protéines natives du lait et ceux ramenées par le quinoa et conduit sans doute à améliorer la viscosité des yaourts (**Dönmez et al., 2017**).

Ces résultats peuvent être aussi expliquées par le fait que les souches spécifiques du yaourtensemencées dont notamment les *Streptococcus thermophilus* présentent la capacité de



produire au cours de la fermentation des macromolécules de type glucidiques appelées exopolysaccharides, susceptibles d'interagir avec la matière protéique du lait, et d'augmenter la viscosité donc l'onctuosité du yaourt tout en modifiant sa texture (**Rawson et Marshall, 1997**).

La viscosité peut éventuellement être augmentée en fonction du niveau d'amidon apporté dans la formulation de yaourt. En effet, les granules d'amidon ont le potentiel de former après refroidissement un réseau tridimensionnel ou gel capable de retenir les principaux constituants du milieu. L'augmentation de la viscosité est donc due aux propriétés liantes élevées de la farine de quinoa riches en amidon et riches en amylopectine utilisés comme épaississant dans la fabrication du lait fermenté (**Tang et al., 2002**).

Le décompte des germes *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* ensemencés au départ dans les yaourts a nettement augmenté à la première et deuxième semaine de stockage puis, a commencé à diminuer relativement jusqu'à la fin de la période de stockage au 21<sup>ème</sup> jour. Le nombre de *Lactobacillus bulgaricus* a enregistré le nombre le plus élevé ( $61 \cdot 10^5$  UFC/ml en moyenne) au 14<sup>ème</sup> jour dans le yaourt supplémenté de 3 % de farine cuite de quinoa. En outre, c'est au 14<sup>ème</sup> jour de stockage que le nombre de *Streptococcus thermophilus* s'avère le plus élevé dans les produits expérimentaux additionnés ou non de farine de quinoa ;  $171 \cdot 10^5$  UFC/ml en moyenne. Par ailleurs, le yaourt supplémenté à 3% de farine cuite de quinoa a enregistré un nombre le plus intéressant de *Streptococcus thermophilus* de  $64 \cdot 10^5$  UFC/ml par comparaison au témoin qui a accusé un taux de  $15 \cdot 10^6$  UFC/ml. Les multiples composés nutritifs ramenés par la farine de quinoa (acides aminés, oligoéléments, composés bioactifs...etc.) peuvent être à l'origine de l'amélioration de la survie des probiotiques composant les yaourts brassés expérimentaux. Les résultats obtenus corroborent ceux de (**Maselli et al,2016 ; Casarotti et al,2014**) qui ont rapporté que l'addition des farines de quinoa, d'avoine, de riz et d'orge dans le lait fermenté favorise la croissance des *L. rhamnosus* GR-1 durant la période de stockage et entraîne une population significativement plus élevée de *Lactobacilles* dans le produit.

La viabilité des souches a diminué néanmoins à partir du 14ème jour de stockage réfrigéré. À la fin de la période de stockage, dans les yaourts supplémentés même avec un taux sévère de 9% de quinoa, le nombre de *S. thermophilus* a atteint un niveau (de  $32 \cdot 10^5$  UFC/ml) relativement inférieur à celui obtenu dans le yaourt témoin ( $15 \cdot 10^6$  UFC/ml) ; alors que le

nombre de *Lactobacillus bulgaricus* trouvé dans le même produit était de  $82 \cdot 10^4$  UFC/ml contre  $19 \cdot 10^5$  UFC/ml dans le témoin. La réduction du nombre de bactéries lactiques spécifiques du yaourt dans les produits au cours des deux dernières semaines de la période de post acidification pourrait être attribuée à l'acide lactique produit particulièrement par les *Lactobacillus bulgaricus* au cours du stockage qui par voie de conséquence peut abaisser le pH du milieu et freiner relativement la croissance et la survie des bactéries lactiques malgré leurs acidotolérance (Shah, 2000 ; Mishra, 2005 ; Madureira, 2011).

À la fin de la phase de fermentation et durant la période de stockage, la croissance de *S. thermophilus* est nettement supérieure à celle de *L. bulgaricus*. À ce propos (Shah, 2000) rapporte que les deux souches spécifiques exercent mutuellement des effets bénéfiques favorisant leurs croissances en symbiose durant la phase de fermentation et de stockage. En effet, le démarrage de la fermentation lactique est assuré par les *S. thermophilus* utilisant comme facteurs de croissance les acides aminés libres et libérés suite à une hydrolyse des caséines par les *L. bulgaricus*. Ensuite, à un certain pH du milieu d'environ 4 la croissance des *S. thermophilus* est freinée et la fermentation lactique est relayée par les *L. bulgaricus* qui l'achève en utilisant cette fois-ci comme facteurs de croissance l'acide formique et le CO<sub>2</sub> produit au préalable par les *S. thermophilus* durant leurs proliférations. Nos résultats sont conformes à ceux avancés par Muniandy et al. (2015) dans une étude sur la comparaison de l'effet du thé vert, blanc et noir sur la cinétique de croissance de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* dans le yaourt pendant le stockage réfrigéré. Cette étude a montré que les composés bioactifs du thé ont nettement augmenté le nombre de *S. thermophilus* et *L. bulgaricus* viables au cours du temps de stockage pour tous les échantillons expérimentaux.

Le test organoleptique a montré que l'ajout de la farine cuite de quinoa n'a eu aucun effet négatif sur l'acceptabilité des yaourts brassés servis à l'état frais en fin de fabrication au 1<sup>er</sup> jour et durant toute la de conservation. Les panélistes ont donné les meilleures notes, concernant l'odeur, la couleur et le goût acidulé au produit supplémenté de la farine cuite de quinoa à 6%. En fonction des taux de farine de quinoa cuite incorporés l'adhésivité et la cohésivité des produits sont nettement augmenté. La farine cuite de quinoa étant riche en acides aminés, vitamines, oligominéraux et composés bioactifs ont certainement favorisé la croissance des *Streptococcus thermophilus* capables d'excréter du lactate et des exopolysaccharides durant la phase de fermentation à l'origine de l'amélioration de la viscosité et des qualités rhéologiques des produits. De plus, l'amidon qui est la fraction constitutive la plus importante dans la farine de

quinoa a certainement agit après refroidissement dans le produit comme gélifiant ayant aussi affecté l'adhésivité et la cohésivité des yaourts expérimentaux.

Cependant en fin de la période de stockage au 21 jours les panelistes n'ont trouvé aucune différence de cohésivité entre les essais expérimentaux expliquée assurément par une hydrolyse enzymatique et une légère détérioration du gèle lactique en raison d'une sur-acidification du milieu.

L'analyse gustative n'a révélé aucune différence significative d'amertume dans tous entre les produits. Cela est probablement dû d'une part à l'efficacité du traitement d'élimination des saponines effectué au graines de quinoa avant leurs incorporation sous forme de farine cuite dans le yaourt et en d'autre part au processus de fermentation des bactéries lactiques qui s'est déroulé normalement dans les produits sans et avec le quinoa et ayant produits des quantité adéquates de lactate et d'acétaldéhyde à l'origine d'une sensation de fraîcheur et d'arôme agréables chez les panelistes qui n'ont trouvé aucune différence entre les produits (**James, 2009 ; Lai et al., 2013**).

Concernant l'aspect grumeaux, les produits à base de quinoa ont révélé une sensation sablonneuse en bouche. Cela peut être dû à la présence de fibres insolubles et d'amidon dans la farine de quinoa (**Väkeväinen et al., 2020**).

Les analyses physicochimiques, microbiologiques et sensorielles ont indiquées globalement que l'incorporation de la farine de quinoa à 6% dans yaourt améliore nettement la qualité, le profil organoleptique et la valeur nutritive du produit ; ce qui peut augmenter son attrait chez les consommateurs. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par (**Casarotti et al,2014 ; Codina et al,2016 ; Curti et al,2019 ; Boyapati,2019**) qui ont bien confirmé que l'ajout de la farine de quinoa engendre des effets souhaitables sur la stabilité du yaourt tout en le rendant plus nutritif et plus acceptabilité par beaucoup de gens.

## Conclusion :

Au terme de cette étude et à travers les résultats obtenus il apparaît que l'ajout de la farine cuite de quinoa de 3 jusqu'à 9 % dans le yaourt brassé n'exerce aucun effet sur la cinétique de fermentation des deux germes probiotiques spécifiques *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* pendant toute la durée de stockage de 21 jours.

Cet ajout de quinoa s'avère très avantageux car il peut allier les vertus probiotiques du yaourt et les propriétés nutritives et diététiques élevés de la plante. Ceci peut contribuer à la fabrication d'un nouveau produit très attractive pour de nombreux consommateurs dont notamment les sportifs, les enfants et les personnes cœliaques.

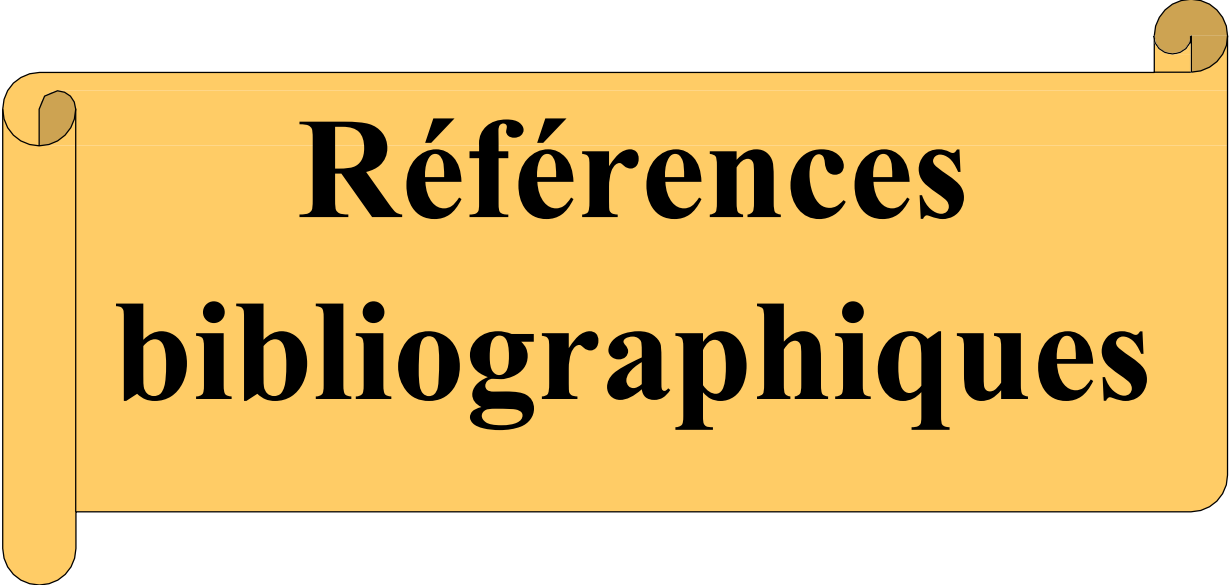
Au cours de la période de post-acidification, les yaourts supplémentés de la farine de quinoa ont été plus acide que le témoin. Par ailleurs, les valeurs du pH ont évolué d'une manière inversement proportionnelle avec l'acidité ainsi que le taux d'incorporation de la farine cuite de quinoa.

Durant cette phase, les résultats de la viscosité obtenus ont indiqué aussi des valeurs qui ont augmenté aussi en fonction des taux de farine de quinoa incorporés.

Concernant l'évaluation sensorielle, les panélistes ont donné les meilleurs scores d'odeur, d'acidité, de couleur et de goût au yaourt brassé à 6% de farine de quinoa. Le yaourt témoin a été néanmoins le plus préféré par le jury de dégustation au plan du goût acide. À la fin de la période d'entreposage le jury n'a trouvé aucune différence d'adhésivité et de cohésivité entre les yaourts supplémentés ou non de quinoa.

En perspective, pour une meilleure exploitation industrielle du quinoa en yaourterie, ce travail mérite à notre avis d'être reconduit et poursuivi en prenant compte plusieurs autres paramètres dont : choix des variétés de quinoa à incorporer ; choix des formes d'incorporation du quinoa ; choix des traitements thermiques adéquats du quinoa ; optimisation des taux d'incorporation du quinoa.

D'autres essais d'incorporation du quinoa peuvent être également effectués dans d'autres produits tels le couscous, le pain, les biscuits...etc. en vue de suivre leurs impacts chez surtout les personnes sensibles au gluten ou atteintes de maladie cœliaque.



**Références  
bibliographiques**

## Références bibliographiques

### • A

- **Alvarez-Jubete A, Arendt E-K, Gallagher E.** Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. **2009** ; 60(4S) :240-257.
- **Astier C, Moneret-Vautrin A, Puillandre E, Bihain B-E.** First case report of anaphylaxis to quinoa, a novel food in France. *Allergy Net.***2009** ;64(5): 819–820.
- **Accolas, J. P., et al.** Acidification properties of thermophilic lactic acid bacteria in relation to yogurt manufacture. *Lait*, 57, 1, **1977**, 23.
- **Agyemang, P. N., et al.** Effect of the use of starches of three new Ghanaian cassava varieties as a thickener on the physicochemical, rheological and sensory properties of yoghurt. *Scientific African*, **2020**, 9: e00521.
- **Ampuero, S.; Bosset, J. O.** The electronic nose applied to dairy products: a review. *Sensors and Actuators B: Chemical*, **2003**, 94.1: 1-12.
- **Anbarani, Negar Mirnezhad; Razavi, Seyed Mohammad Ali; Taghizadeh, Masoud.** Impact of sage seed gum and whey protein concentrate on the functional properties and retrogradation behavior of native wheat starch gel. *Food Hydrocolloids*, **2021**, 111: 106261..
- **Apha.** American Public Health Association. Compendium of Methods for Microbiological Examination of Food, **(2001)** Washington: D.C USA. Atolagbe O.O.
- **Ardö, Ylva.** Flavour formation by amino acid catabolism. *Biotechnology advances*, **2006**, 24.2: 238-242..

### • B

- **Bazile D, Bertero C, Nieto. FAO & CIRAD.** State of the art report on quinoa around the world in 2013. 2<sup>ème</sup> éd. Rome Italie. **2015**: 63. ISBN 978-92-5-108558-5.
- **Bazile D, Pulvento C, Verniau A, Al Nusairi, M, Ba D, Breidy J, Hassan L, Maarouf M, Mambetov O, Otambekova M, Sepahvand N, Shams A, Miri D, Stefano P.** Worldwide Evaluations of Quinoa. Preliminary Results from Post International Year of Quinoa FAO Projects in Nine Countries. *Frontiers in Plant Science*. **2016**; 70(850): 2-7.

- **Bhargava A, Shukla S, Ohri D.** Chenopodium quinoa. An Indian perspective. In review potential and perspectives. *Molecular Breeding*. **2006** ; 23(1) : 73-87.
- **Bruneton J.** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. Technique et documentation, 4e éd. Paris. **2009** :39-273.
- **Bajaj JS, Saeian K, Christensen KM, et al.** Probiotic yogurt for the treatment of minimal hepatic encephalopathy. *Am J Gastroenterol* **2008**; 103:1707-15.
- **Bergamaier, D.** *Production d'exopolysaccharides par fermentation avec des cellules immobilisées de Lactobacillus rhamnosus RW-959M dans un milieu à base de permeat de lactosérum.* **2002.** PhD Thesis. Thèse de doctorat). Université de Laval, Québec.
- **Bonjour JP, Kraenzlin M, Levasseur R, et al.** Dairy in adulthood: from foods to nutrient interactions on bone and skeletal muscle health. *J Am Coll Nutr* **2013**; 32:251-63.
- **Boudier J. F.,.** Produits frais. In laits et produits laitier : Vache - Brebis- Chèvre. : **1990** :35-66. ed. Luquet, F.M., Technique et Documentation, Lavoisier, Paris.
- **Bourjois C .M et Levaou J. Y:** « techniques d'analyses et de contrôle des industries agroalimentaire le contrôle microbiologique, volume 3tec et doc la voisiner (**1980**) paris 332 P »
- **Buendia, Justin R., et al.** Abstract P169: Long-term Yogurt Intake is Associated with a Lower Risk of High Blood Pressure in Middle-aged Nurses and Health Professionals. *Circulation*, **2016**, 133.suppl\_1: AP169-AP169.
- **Béal, Catherine; Helinck, Sandra.** Fabrication des yaourts et des laits fermentés.,*Production of yogurts and fermented milks*,**2019**,p9-7

• C

- **Caplice, Elizabeth; Fitzgerald, Gerald F.** Food fermentations: role of microorganisms in food production and preservation. *International journal of food microbiology*, **1999**, 50.1-2: 131-149.
- **Casarotti, Sabrina N.; Carneiro, Bruno M.; Penna, Ana Lúcia B.** Evaluation of the effect of supplementing fermented milk with quinoa flour on probiotic activity. *Journal of Dairy Science*, **2014**, 97.10: 6027-6035.

- **Codină, Georgiana Gabriela; Franciuc, Simona Geanina; Mironeasa, Silvia.** Rheological characteristics and microstructure of milk yogurt as influenced by quinoa flour addition. *Journal of Food Quality*, **2016**, 39.5: 559-566..
- **Curti, Carolina Antonela, et al.** Chemical characterization, texture and consumer acceptability of yogurts supplemented with quinoa flour. *Food Science and Technology*, **2017**, 37: 627-631.

• **D**

- **De Carvalho F-G, Ovidio P-P, Padovan G-J, Jordao Junior A-A, Junior, Marchini J-S, Navarro A-M.** Metabolic parameters of postmenopausal women after quinoa or corn flakes intake, a prospective and double blind study. *Food Science and nutrition*. **2014** ; 65(3) : 380– 385.
- **Djedei S ; Merabet R.** Étude comparative des quatre variétés de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivées dans la région d'Oued Righ "Djamaa". Mémoire d'un master académique en science biologique. Spécialité Biodiversité et Physiologie Végétale. Université Echahid Hama Lakhdar -El Oued. Algérie, **2018** :29.
- **Dinan, L. The Karlson Lecture.** Phytoecdysteroids : what use are they ? *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*. **2009**; 72(3): 126-41.
- **Dini I, Carlo Tenore G, Dini A.** Antioxidant compound contents and antioxidant activity before and after cooking in sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. *Food Science and Technology*. **2010**; 43(3) :447-451.
- **Dellagio F., De Rossart H., Torrianis S., Curik M. Janssens D.** Caractérisation générale des bactéries lactiques. Technique et documentation. Lorica (Ed.) . **1994**, 1, p25-116
- **Desmazeaud, Michel.** L'état des connaissances en matière de nutrition des bactéries lactiques. *Le lait*, **1983**, 63.629-630: 267-316..
- **Díaz-López A, Bulló M, Martínez-González MA, et al.** Dairy product consumption and risk of type 2 diabetes in an elderly Spanish Mediterranean population at high cardiovascular risk. *Eur J Nutr* **2016**; 55:349-60.
- **Doleyres, Yann.** Production en continu de ferments lactiques probiotiques par la technologie des cellules immobilisées. **2003**.



- **E**

- **El Soda M, Said H, Desmazeaud MJ, Mashaly R, Ismail A.** The intracellular peptide-hydrolases of *Lactobacillus plantarum*. Comparison with *Lactobacillus casei*. *Le Lait*. **1983**;63(623-624):1-4.
- **El-abd, M. M., et al.** EFFECT OF SOYA AND WHEY PROTEINS ON THE SENSORY AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SET YOGHURT. *Journal of Food and Dairy Sciences*, **2015**, 6.12: 689-695.

- **F**

- **FAO.** Food and Agriculture Organisation of the united nations. Food Outlook. Biannual Report on Global Food Markets. **2013**, Ed, FAO Rome. Italie : 61.
- **FAO.** Quinoa: An ancient crop to contribute to world food security. **2011**, Ed; FAO. Rome. Italie :13.
- **FAO.** Food and Agriculture Organisation. Quinoa en Algérie. **2016**, Ed FAO Rome. Italie: 16.
- **Farinazzi Machado F-M-V, Barbalho S-M, Oshiiwa M, Goulart R, Pessan Junior O.** Use of cereal bars with quinoa (*Chenopodium quinoa* W) to reduce risk factors related to cardiovascular diseases. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. **2012** ;32(2):239-244.
- **Foucault A-S.** Effets d'un extrait de quinoa enrichi en 20-hydroxyecdysone dans un modèle d'obésité nutritionnelle : application clinique. Thèse de doctorat. Spécialité nutrition humaine. Agro Paris Tech. Paris France. **2012** :92.
- **Foucault A.** Effets d'un extrait de quinoa enrichi en 20-hydroxyecdysone dans un modèle d'obésité nutritionnelle : application clinique. Thèse de doctorat. Université Agro Paris Tech. France. **2014** : 112.
- **Fuentes F, Bhargava A.** Morphological Analysis of Quinoa Germplasm Grown Under Lowland Desert Conditions. *Journal of agronomy and crop science*. **2011** ;197(2):124-134.
- **Fuentes F, Martinez A, Hinrichsen P-V, Jellen E-N, Maughan P-J.** Assessment of genetic diversity patterns in Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm using multiplex fluorescent microsatellite markers. **2009**; 10(2): 369–377.
- **FAO.** *Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine*. Food & Agriculture Org., **1995**.

- **Farkye N.Y et Imafidon G.I.** Thermal denaturation of indigenous milk enzymes. In Heat-induced changes in milk, **1995**, 2nd Ed. pp. 331-345. Ed. Fox, P.H., International Dairy Federation, Brussels.

• **G**

- **Graf B-L, Rojo L-E, Delatorre Herrera J, Poulev A, Calfio C, Raskin I.** Phytoecdysteroids and flavonoid glycosides among Chilean and commercial sources of *Chenopodium quinoa*. Variation and correlation to physicochemical characteristics. *Journal of the science of food and agriculture*. **2015**; 96(2) :11-13.
- **G. Viniegra-González and J. Gómez** .PURE, LACTIC ACID PRODUCTION BY. *Bioconversion Sys* 26 (**1984**): 17.
- **García-pérez, F. J., et al.** Effect of orange fiber addition on yogurt color during fermentation and cold storage. *Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur*, **2005**, 30.6: 457-463.
- **Georgala AI, Tsakalidou E, Kandarakis I, Kalantzopoulos G.** Flavour production in ewe's milk and ewe's milk yoghurt, by single strains and combinations of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus*, isolated from traditional Greek yoghurt. *Le Lait*. **1995**;75(3):271-83.
- **Goldbohm, R. Alexandra, et al.** Dairy consumption and 10-y total and cardiovascular mortality: a prospective cohort study in the Netherlands-. *The American journal of clinical nutrition*, **2011**, 93.3: 615-627..
- **Guyot, P.** Les yaourts DLG. *Food Technology*, **1992**.

• **H**

- **Ho S, Pal S.** Margarine phytosterols decrease the secretion of atherogenic lipoproteins from HepG2 liver and Caco2 intestinal cells. **2005** ;182(1) : pp. 29-36.
- **Hong J, Convers K, Reeves N, Temprano J.** Anaphylaxie au quinoa. *Annals of Allergy*,

Asthma and Immunology.2013; 110(1): 60–61.

- **Hamdan, I. Y.; Kunsman JR, J. E.; Deanne, D. D.** Acetaldehyde production by combined yogurt cultures. *Journal of Dairy Science*, 1971, 54.7: 1080-1082.
- **Hardie, J.M. (1986).** Genus *Streptococcus* Rosenbach. In: Sneath, P.H.A., Mair, N.S., Sharpe, M.E., Holt, J.G. (Eds), *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, 1984 vol. 2., pp. 1043-1071. Williams and Wilkins, Baltimore

• J

- **Jacobsen S-E.** The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). 2003 ;19(1-2): 167-177. In *International Journal of Food Microbiology. Development of novel quinoa-based yoghurt fermented with dextran producer Weissella cibaria MG1*.2018; 268(1) :19-26.
- **Jancurová M, Minarovičová L, Dandár A.** Quinoa – a review. *Czech. Journal of the science of food and agriculture*. 2009, 27(2): 71–79.
- **J. P. Accolas, D. Hemme, M. J. Desmazeaud, L. Vassal, C. Bouillanne, Monique Veaux, J. P. Accolas, D. Hemme, M. J. Desmazeaud, L. Vassal, C. Bouillanne, et al.** Les levains lactiques thermophiles : Propriétés et comportement en technologie laitière. Une revue. *Le Lait*, INRA Editions, 1980, 60 (598), pp.487-524. hal-00928868.

• K

- **Koiche M.** Effet des bactéries lactiques locales du yaourt sur l'intolérance au lactose. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Ecole nationale supérieure d'agronomie El Harrach. Alger. 2011: 37-39.
- **Koziol M.** Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of Food Composition and Analysis*.1992 ; 5(1):35-68.
- **Kalab, Miloslav; Emmons, D. B.; Sargant, A. G.** Milk gel structure. V. Microstructure of yoghurt as related to the heating of milk. *Milchwissenschaft*, 1976, 31.7: 402-408.
- **Kashket, Eva R.** Bioenergetics of lactic acid bacteria: cytoplasmic pH and osmotolerance. *FEMS Microbiology Reviews*, 1987, 3.3: 233-244.
- **Keddar.F, Koubich. S.** Etude de l'effet antagoniste entre les deux bactéries du yaourt (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) et les germes pathogènes,2009.

- **Konishi, Yotaro, et al.** Distribution of minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, **2004**, 68.1: 231-234.

• **L**

- **Lebonvallet S.** Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'Altiplano bolivien Ed. Thèse de doctorat. Spécialité agronomie. Agro Paris Tech. Paris France. **2008** : 126.
- **Lamoureux, Lisyane.** Exploitation de l'activité [beta]-galactosidase de cultures de bifidobactéries en vue d'enrichir des produits laitiers en galacto-oligosaccharides. **2000**.
- **Law BA, Kolstad J.** Proteolytic systems in lactic acid bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*. **1983** May;49(3):225-45.
- **Lee WJ, Lucey JA.** Formation and physical properties of yogurt. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. **2010** Aug 20;23(9):1127-36.
- **Leroy, Frédéric; Degeest, Bart; DE Vuyst, Luc.** A novel area of predictive modelling: describing the functionality of beneficial microorganisms in foods. *International Journal of Food Microbiology*, **2002**, 73.2-3: 251-259.
- **Leyva Salas, Marcia, et al.** Antifungal microbial agents for food biopreservation—A review. *Microorganisms*, **2017**, 5.3: 37.
- **Loones A.** Laits fermentés par les bactéries lactiques. In *Bactéries lactiques : Aspects fondamentaux et technologiques*. (1994). pp. 135-154. ed De Roissart, Ii et Luquet, F.M., II, Lorica, Uriage.
- **Loveday, Simon M.; Sarkar, Anwasha; Singh, Harjinder.** Innovative yoghurts: Novel processing technologies for improving acid milk gel texture. *Trends in food science & technology*, **2013**, 33.1: 5-20.
- **Luquet F.** Lait et produits laitiers (vache, chèvre, brebis): transformation et technologie. Techniques et documentation Lavoisier. Paris. **1990**:41-65.
- **Luquet F.M.** Lait et produits laitiers : vache, brebis, chèvre. tome 2: Les produits laitiers, transformation et technologies. Edition: *Lavoisier Sci. et Tec.*(1990). 637P.
- **Luquet FM, Corrieu G.** Lactic acid and probiotic bacteria. Lactic acid and probiotic bacteria. **2005**.paris. ISBN :2743007419

• **M**

- **Madrpm.** Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des pêches Maritimes. Transfert de technologie en agriculture. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA. Les cultures alternatives Quinoa, amarante et épeautre. Maroc. **2005** : 133 : 1-2. ISSN: 1114-0852.
- **Marangoni F, Poli A.** Phytosterols and cardiovascular health. Journal homepage Pharmacological Research. **2010**; 61(3): 193–199.
- **Mujica, A.** Andean grains and legumes. In Neglected Crops. 1492 from a Different Perspective. 1e éd. Rome Italie, **1994** : 131–148. ISBN 92-5-103217-3.
- **Mujica A, Canahua A.** Fases fenológicas del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). In Curso taller, fenología de cultivos andinos y uso de la información agrometeorológica. Salcedo. Pérou. 1<sup>er</sup> éd. 1989: 23–27. In Reserch article. Phenological growth stages of quinoa (*Chenopodium quinoa*) based on the BBCH scale. Annals of applied biology.**2017** :4-6. ISSN 0003-4746.
- **Mujica A, Izquierdo J., Marathee J-P.** Quinoa (*Chenopodium quinoa* will) cultivo ancestral andino, alimento del presente y futuro. 1e éd. Santiago. Chile.**2001**: 2-4. ISBN: 978-1-118- 62805-8.
- **Mujica A, Jacobsen S, Jensen, C.** The Resistance of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). To Adverse Abiotic Factors. Food Reviews International.**2003**; 19(1-2) :99-109.
- **Mujica A, Jacobsen S.** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its wild relatives. In La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. Botanica Economica de los Andes Centrales. **2006** ;2(1) :449-457.
- **Mahaut M., Jeantet R., Brulé G., Schuck P.** Les produits industriels laitiers. Techniques et documentation. Ed. Lavoisier, **2000**, Paris. pp.26-40.
- **Maradini-Filho, A. M, Pirozi, M.R, Borges, J.T.D.S, Pinheiro, S. H. M, Chaves, J.B.P. and Coimbra, J.S.D.R** Quinoa: nutritional, functional, and antinutritional aspects. Crit. Rev. Food Sci. Nutr., (**2017**), 57 (8), 1618-1630.
- **Marshall V.M., Cole W.M.,** Threonine aldolase and alcohol dehydrogenase activities in *Lactobacillus bulgaricus* and *Lactobacillus acidophilus* and their contribution on flavour production in fermented milks. J. Dairy Res., **1983**, 50, 375–379.
- **Marshall, Valerie M.** Lactic acid bacteria: starters for flavour. *FEMS Microbiology Reviews*, **1987**, 3.3: 327-336.

- **Martinez-Gonzalez MA, Sayon-Orea C, Ruiz-Canela M, et al.** Yogurt consumption, weight change and risk of overweight/obesity: the SUN cohort study. *Nutri Metab Cardiovasc Dis* **2014**; 24:1189-96.
- **Marty-Teyssset, C., De La Torre, F. and Garel, J.R.** Increased production of hydrogen peroxide by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* upon aeration: involvement of an NADH oxidase in oxidative stress. *Applied and Environmental Microbiology*, **2000**,66(1), pp.262-267.
- **Mechtoun. A.** Essai de fabrication d'un yaourt naturel aromatisé par un sirop de romarin, **2014**.
- **Meydani SN, Ha WK.** Immunologic effects of yogurt. *Am J Clin Nutr* **2000**; 71:861-72.
- **Michel desmazeaud,** Les bactéries lactiques dans l'alimentation humaine : utilisation et innocuité, cahier agricultures **1996** ;5 :331-343.
- **Mottar, J., et al.** Effect of heat-induced association of whey proteins and casein micelles on yogurt texture. *Journal of dairy Science*, **1989**, 72.9: 2247-2256.

• **N**

- **NG, Su-Chuen, et al.** Characterization of lipid oxidation products in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Chemistry*, **2007**, 101.1: 185-192.

• **O**

- **Oelke, Repo Carrasco Valencia R, Serna L.** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, **1992**, 31(1) :225–230.
- **O'Connor LM, Lentjes MA, Luben RN, et al.** Dietary dairy product intake and incident type 2 diabetes: a prospective study using dietary data from a 7-day food diary. *Diabetologia* **2014**; 57:909-17.

• **P**

- **Pasko P, Barton H, Zagrodzki P, Izewska A, Krosniak M, Gawlik M, Gorinstein S.** Effect of Quinoa Seeds (*Chenopodium quinoa*) in Diet on some Biochemical Parameters and Essential Elements in Blood of High Fructose-Fed Rats. *Plant Foods Hum Nutrition*.**2010**; 65 (2) :146–151.

- **P.A. Shankar, F.L. Davies** .A note on the suppression of *Lactobacillus bulgaricus* in media containing  $\beta$  glycerophosphate and application of such media to selective isolation of *Streptococcus thermophilus* from yoghurt J. Soc. Dairy Technol., 30 (1977), p. 28
- **Paci kora, Enkelejda**. Interactions physico-chimiques et sensorielles dans le yaourt brassé aromatisé: quels impacts respectifs sur la perception de la texture et de la flaveur?. 2004.
- **Pala, Valeria, et al**. Yogurt consumption and risk of colorectal cancer in the Italian European prospective investigation into cancer and nutrition cohort. *International Journal of Cancer*, 2011, 129.11: 2712-2719.
- **Penna, A. L. B.; Gurram, Subbarao; Barbosa-cánovas, G. V**. Effect of high hydrostatic pressure processing on rheological and textural properties of probiotic low-fat yogurt fermented by different starter cultures. *Journal of Food Process Engineering*, 2006, 29.5: 447-461.

• R

- **Repo-Carrasco R, Espinoza C, Jacobsen SE**. Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Review International*.2003; 19 (1-2) :179-189.
- **Ruales J, Yolanda de Grijalva, Lopez-Jaramillo P, Nair M**. The nutritional quality of an infant food from quinoa and its effect on the plasma level of insulin-like growth factor-1 (IGF-1) in undernourished children. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2002 ;53(2) :143-154.
- **Repo-carrasco-valencia, Ritva, et al**. Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food chemistry*, 2010, 120.1: 128-133.
- **Roissart, H. Luquet F**. *Bactéries lactiques: aspects fondamentaux et technologiques*. Uriage, Lorica, France., 1994, 1, p.605.
- **Ross RP, Fitzgerald G, Collins K, Stanton C**. Cheese delivering biocultures--probiotic cheese. *Australian Journal of Dairy Technology*. 2002 Jul 1;57(2):71.
- **Ryan E, Galvin K, O'Connor T-P, Maguire A-R, O'Brien N-M**. Phytosterol, squalene, tocopherol content and fatty acid profile of selected seeds, grains, and legumes. *Plant Foods Hum. Nutr.*2007; 62(3), 85-91. In Chapter 1 Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties. 2009.58: 1-31. ISSN 1043-

• S

- **Sanchez K.** Observations regarding consumption of peruvian native grains (Quinoa, Amaranth and kaniwa), Weight status and perceptions of potential risk factors. Warning signs and symptoms of type 2 diabetes among peruvian adults: a case study. Master of Science. University of Maryland. USA. **2012**: 36-39, 62-65.
- **Schlick G, Bubenheim D.** Quinoa. Candidate Crop for NASA's Controlled Ecological Life Support Systems. Progress in New Crops, ASHS Press, Arlington Virginia, **1996** ;632-640.
- **Stikic R, Glamoclija D, Demin M, Vucelic-Radovic B, Jovanovic Z, Milojkovic-Opsenica D, Jacobsen S, Milovanovic M.** Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd) as an ingredient in bread formulations. Journal of Cereal Science. **2012** ;55(2) :132–138.
- **Santiago S, Sayón-Orea C, Babio N, et al.** Yogurt consumption and abdominal obesity reversion in the PREDIMED study. Nutr Metab Cardiovasc Dis **2015**; 26:468-75.
- **Schmidt J.L., Tourneur C. & Lenoir J.** Fonction et choix des bactéries lactiques laitières. In bactéries lactiques. (1994) : 37-46. ed. De Roissart, H. et Luquet, F.M., 11, Loriga, paris
- **Shankar, P. A.; Davies, F. L.** Recent developments in yoghurt starters: associative bacterial growth in yoghurt starters; initial observations on stimulatory factors. *International Journal of Dairy Technology*, **1977**, 30.1: 31-32.
- **Singh Sudheer K., Ahmed Syed U. & Ashkor P..** Yogurt science and technology. (2006), 2nd Ed. Cambridge, woodhead Publishing.
- **Singh, J.** Influence of heat treatment of milk and incubation temperatures on *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus acidophilus*. **1983**,38 :347-348.
- **Smit G, Smit BA, Engels WJ.** Flavour formation by lactic acid bacteria and biochemical flavour profiling of cheese products. FEMS microbiology reviews. **2005** Aug 1;29(3):591-610.
- **Stiles ME.** Biopreservation by lactic acid bacteria. *Antonie van leeuwenhoek*. **1996** Oct;70(2):331-45.
- **Stiles, Michael E.** Biopreservation by lactic acid bacteria. *Antonie van leeuwenhoek*, **1996**, 70.2: 331-345.

• T



- **Tamime A, Kalab M, Davies G.** Microstructure of set-style yoghurt manufactured from cow's milk fortified by various methods. *Food Microbiol.* 1984 ; 3ed :83–92 in review Rheology and Microstructure of Labneh (Concentrated Yogurt), in *Journal of Dairy Science.* 1999 ; 82(4) : 682-689.
- **Tamime A.Y., Robinson R.K.** *Yoghurt Science and Technology.* CRC Press LLC, Woodhead publishing limited Second edition, England. , 1999, 619 p.
- **Tamime, Adnan Y., et al.** *Yoghurt: science and technology.* Pergamon Press, 1985.
- **Tang, Hanjun; Watanabe, Katsumi; Mitsunaga, Toshio.** Characterization of storage starches from quinoa, barley and adzuki seeds. *Carbohydrate Polymers*, 2002, 49.1: 13-22.
- **Thomas, T. D. & Mills, O. E.** Proteolytic enzymes of starter bacteria. *Netherlands Milk and Dairy Journal* 1981 , 35 :255–273.
- **Tillisch K, Labus J, Kilpatrick L, et al.** Consumption of fermented milk product with probiotic modulates brain activity. *Gastroenterology* 2013; 144:1394-401.
- **Turek, Katarzyna; Domagała, Jacek; Wszolek, Monika.** Fatty acid profile and oxidation tests of fat extracted from yogurt using rose hip seed oil. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 2018, 17.1: 51-58.

• U

- **Usda.** United states department of agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference 2015. In review Quinoa protein: Composition, structure and functional properties, *Food Chemistry.* 2019 ;299(19) :125-161. ISSN: 0308-8146.

• V

- **Vega-Gálvez A, Miranda M, Vergara J, Uribe E, Puente L, Martínez E.** Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*), an ancient Andean grain: a review. 2010, 90 (15): 2541 – 2547.
- **Villacrés E, P´astor G, Quelal M-B, Zambrano I, Morales S-H.** Effect of 523 processing on the content of fatty acids, tocopherols and sterols in the oils of quinoa 524 (*Chenopodium quinoa Willd*), lupine (*Lupinus mutabilis Sweet*), amaranth 525 (*Amaranthus caudatus L.*) and sangorache (*Amaranthus quitensis L.*). *Global Journal* 526 of Food Science and

Technology.2013 ; 2(4) : 44-53 in Journal of Cereal Science. Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.).2016 ;69(2) : 371-376. ISSN 0733-5210.

- **V. Juillard, H.E. Spinnler, M.J. Des mazaud , c.v. Boquien**, *Le Lait*, **1987**, 67 (2), 149-172 .p 152 et 155
- **Viniegra, G. G. et Gomez, J** .Lactic acid production by pure and mixed bacterial cultures, Ed. Bioconversion systems, CRC Press, D. WISE. **1984**, chap. 2, 17-39

• **W**

- **Ward S**. Response to selection for reduced grain saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Field Crops Research*.2000 ;68(2) :157-163.
- **Walstra, Pieter, et al**. *Dairy science and technology*. CRC press, **2005**..
- **Wang, Sunan; Zhu, Fan**. Formulation and quality attributes of quinoa food products. *Food and Bioprocess Technology*, **2016**, 9.1: 49-68.
- **Wheeler JG, Bogle ML, Shema SJ, et al**. Impact of dietary yogurt on immune function. *Am J Med Sci* **1997**; 313:120-3.

• **Y**

- **Yang Yao Y, Shi Z, Ren G**. Antioxidant and Immunoregulatory Activity of Polysaccharides from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *International Journal of Molecular Sciences*. **2014**; 15(10): 19307-19318. ISSN 1422-0067.
- **Yahia, Leila Ben**. *Étude du dialogue hôte/bactéries lactiques du yaourt chez des rats gnotobiotiques*. **2012**. PhD Thesis. AgroParisTech.

• **Z**

- **Zannini E, Jeske S, Lynch K, Arendt E**. Development of novel quinoa-based yoghurt fermented with dextran producer *Weissella cibaria* MG1. *International Journal of Food Microbiology*. **2018**; 268: 19–26.
- **Zevallos, Victor F, Herencia, Irène L, Fuju Chang C, Donnelly S, Julia E, Paul C**. Gastrointestinal Effects of Eating Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Celiac Patients. *American Journal of Gastroenterology*.2014 ;109(2): 270-278.

- **Zare, F., et al.** Effect of the addition of pulse ingredients to milk on acid production by probiotic and yoghurt starter cultures. *LWT-Food Science and Technology*, **2012**, 45.2: 155-160.
- **Web sites:**
- <http://www.fao.org-2013/>
- <https://www.fao.org/faostat/en/#search/quinoa>. Accéder le 10/07/2022. FAOSTAT, 2010.
- <http://www.lequotidien-oran.com/index.php?news=5310988>.
- <https://www.djazairess.com/fr/apsfr/342587>. L'introduction du quinoa en Algérie ouvre de grandes perspectives de développement, Algérie Presse Service Publié le 25-01-2014.



# **Annexes**

## Annexe

### I. Analyse physico-chimique :

#### A- Réactifs et appareillages :

##### L'acidité dornic

- Une balance analytique
- Une burette graduée.
- Un erlenmeyer.
- Une fiole jaugée.
- L'hydroxyde de sodium 0,1 N.
- Phénophtaléine (1% dans l'éthanol à 95°).
- Barreau magnétique.

##### Mesure du PH :

- PH mètre.
- Solution étalon.
- Becher.
- Eau Distillée

##### Mesure de la viscosité :

- La bille métallique.
- Une éprouvette.
- Chronomètre.

**Calcul de la viscosité :** Les calculs sont détaillés en dessous.

Le diamètre du tube en verre de diamètre est à 13 mm et de longueur de 07 cm.

Le poids de la bille est de 14,03g.

La viscosité est déterminée comme suit :  $\mu = K \cdot (\zeta_{\text{bille}} - \zeta_{\text{yaourt}})$ . Où  $K = 2 r^2 \cdot g / 9x$

**Donc :  $\mu = (2 r^2 \cdot g / 9x) \cdot (\zeta_{\text{bille}} - \zeta_{\text{yaourt}})$**

**$K = (2 \cdot 0,42 \cdot 10^{-2} \cdot 9,81) / 9 \cdot 0,2 = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$**

**$\mu = 4,5 \cdot 10^{-2} (124 \cdot 10^7 - 20,6 \cdot 10^3) \cdot t = 4,5 \cdot 10^{-2} (123,99 \cdot 10^7) \cdot t = 5,5 \cdot 10^7 \cdot t$**

**La masse volumique de la bille = masse/volume  $(4\pi \times r^3/3)$**   
**=  $14,03 / ((4 \times 3,14 \times 2,7 \cdot 10^{-7}) / 3) = 14,03 / 11,30 \cdot 10^{-7} = 124 \cdot 10^7 \text{ g/m}^3$**

## La masse volumique du yaourt

1 litre de lait = 1030g/l = 20,6 g/l =  $20,6 \cdot 10^3 \text{g/m}^3$

## B- Composition des solutions utilisées

**Annexe 1 :** Composition des solutions de titrage de l'acidité.

### • Solution de NaOH 0,1N :

Eau distillé .....1000ml

NaOH .....40g

## II. Analyse microbiologique :

### A- Appareillage :

- Bec de Benzène.
- Étuve à 42°C.
- Autoclave.

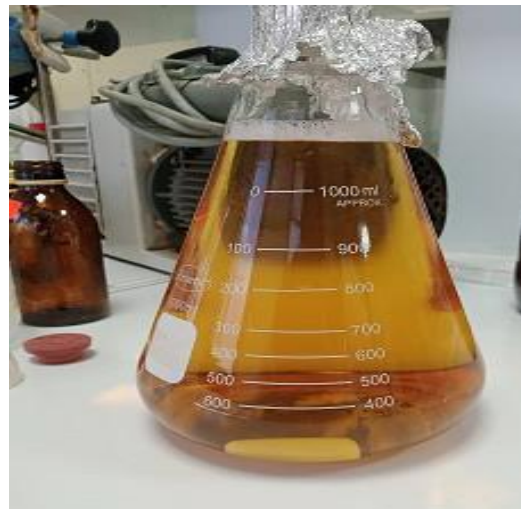
### B- Composition des milieux de culture (g/l)

**Annexe 2 :** Préparation du milieu MRS

Poudre de MRS.....62g

Agar.....16g

Après pesage, ces composants sont mis dans une fiole contenant un barreau magnétique et ajouter 500ml d'eau distillée, les laisser agiter et chauffer dans un agitateur ensuite verser la quantité restante de l'eau distillée afin de bien homogénéiser le milieu de culture puis mettre dans des flacons en verre pour les autoclaver à 120°C pendant 20 min.



### Annexe 3 : Préparation du milieu M17

Poudre de M17.....27,40g

La moitié d'eau distillée est ajoutée à la poudre du milieu M17 qui contient déjà de l'agar. Laisser agiter sous agitateur ensuite rajouter la quantité restante de l'eau distillée puis les passer à l'autoclave à 120°C pendant 20 min.



### Annexe 4 : Composition des diluants (g/l)

#### • Eau physiologie 9 /ml :

Eau distillée .....1000 ml

NaCl ..... 9g

**Annexe 5 : Analyse de l'indice de chute de la farine de quinoa**

Tableau de la prise d'essai en fonction de la teneur en eau de l'échantillon de la norme ISO 3093 version 2009 pour déterminer le temps de chute.

Teneur en eau %	Prise d'essai		Teneur en eau %	Prise d'essai	
	Pour une masse nominale de 7g à 15% de la teneur en eau	Pour une masse nominale de 7g à 15% de la teneur en eau		Pour une masse nominale de 7g à 15% de la teneur en eau	Pour une masse nominale de 7g à 15% de la teneur en eau
(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
9,0	6,40	8,20	13,6	6,85	8,80
9,2	6,45	8,25	13,8	6,90	8,85
9,4	6,45	8,25	14,0	6,90	8,85
9,6	6,50	8,30	14,2	6,90	8,90
9,8	6,50	8,30	14,4	6,95	8,90
10,0	6,50	8,35	14,6	6,95	8,95
10,2	6,55	8,35	14,8	7,00	8,95
10,4	6,55	8,40	15,0	7,00	9,00
10,6	6,55	8,40	15,2	7,00	9,05
10,8	6,60	8,45	15,4	7,05	9,05
11,0	6,60	8,45	15,6	7,05	9,10
11,2	6,60	8,50	15,8	7,10	9,10
11,4	6,65	8,50	16,0	7,10	9,15
11,6	6,65	8,55	16,2	7,15	9,20
11,8	6,70	8,55	16,4	7,15	9,20
12,0	6,70	8,60	16,6	7,15	9,25
12,2	6,70	8,60	16,8	7,20	9,25
12,4	6,75	8,65	17,0	7,20	9,30
12,6	6,75	8,65	17,2	7,25	9,35
12,8	6,80	8,70	17,4	7,25	9,35
13,0	6,80	8,70	17,6	7,30	9,40
13,2	6,80	8,75	17,8	7,30	9,40
13,4	6,85	8,80	18,0	7,30	9,45



## Annexe 6 : Fiche de dégustation

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ ABDELHAMID IBN BADIS - MOSTAGANEM  
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE



LABORATOIRE DE TECHNOLOGIE ALIMENTAIRES ET NUTRITION

Paneliste N° : .....

Nom : .....

Prénom : .....

Sexe : .....

Fonction : .....

## Fiche de dégustation

Paramètres	Échantillon 1	Échantillon 2	Échantillon 3	Échantillon 4
Cohésivité				
Adhésivité				
Gout acide				
Sensation de grumeaux				
Arrière-goût				
Odeur				
Couleur				

Il est demandé aux panelistes d'apprécier la qualité des produits selon les critères suivants et une échelle variable de 1 à 10 :

- 1,2,3 : Mauvais (e),
- 3,4,5 : Bon (Bonne)
- 6,7,8 : Très bon (bonne)
- 9 et 10 : Excellent (Excellente).

## **Définitions :**

- **Cohésivité :** Consiste à déterminer la capacité maximale de déformation en pot de l'échantillon avant de se rompre lorsqu'il est écrasé entre les doigts.
- **Adhésivité :** Exprime l'intensité des forces inter faciales développées entre la surface d'une cuillère et celle de l'échantillon lors d'une prise en pot du produit.
- **Gout acide :** Consiste à apprécier l'ampleur de l'acidité développée par les germes lactiques ensemencées dans les laits fermentés type yaourt au cours de l'entreposage.
- **Sensation de grumeaux :** Consiste à apprécier l'ampleur de la sensation de présence de grumeaux lors de la mise en bouche du produit.
- **Arrière-goût :** Le panéliste est appelé à apprécier l'ampleur de la sensation de d'arrière-gout amère si elle existe dans le produit présenté une fois mis en bouche.
- **Odeur :** Le panéliste est appelé à évaluer olfactivement l'ampleur des odeurs agréables (si elles existes) dégagés par les produits.
- **Couleur :** Consiste à apprécier le niveau d'acceptabilité de la couleur des produits par les consommateurs.