

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université M'hamed Bougara Boumerdes Mémoire
En vue de l'obtention du diplôme de Master **II**

Département : Génie des procédés

Filière : Génie des Procédés

Option : Génie Alimentaire

THEME

**Essai d'amélioration des propriétés fonctionnelles
d'un yaourt brassé par incorporation des écorces
d'orange sèches**

Présenté par :

MAMOUNI Souad

MISSALTI Maïssa

Soutenu le : **11/07/2019**

Devant le Jury:

ANNOU.S

M.A.A

Président

UMBB

TRACHLM

M.C.B

Promoteur

UMBB

LECHHAB.F

M.C.B

Examineur

UMBB

Promotion 2019

Remerciements

En premier, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné sante, courage et patience pour

Terminer ce modeste travail.

Nous remercions Monsieur TRACHI M. d'avoir accepté de diriger ce travail, pour ses encouragements et pour tous les conseils qu'il nous prodigués, qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude et de notre estime

Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté de juger le présent travail : Madame ANNOU S et Madame Lecheheb F.

Ainsi que le personnel de l'unité de BOUDOUAOU et surtout madame CHAHÉD AMINA, et Mr BENBLIDIA ChAWKI

Sans oublier de remercier nos amis pour le soutien moral tout au long de ce travail.

Dédicace

*A la chandelle de ma vie, a la lumière de mon univers, a la source de mon
pouvoir, à la femme qui m'a mise*

Au monde : ma Mère

A mon Père

A Mes cousines adorables Maya et Linda, Khalida

*A tout mes frères Mohamed, Idir, Bilale, Aghilasse qui mon
encouragé toujours*

A mon binôme Maïssa que j'aime beaucoup

*A mes chers amis (e) de l'université Nessrine et Siham Tahar et
Youba et tout le groupe de Génie Alimentaire*

A mes chères amies Nassima et Amina

A tous ce qui me connaissent de près ou de loin

A tout ce qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce modeste travail

Souad

Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail

A ma très chère mère et mon très cher père, qui ont tait sacrifié

Pour voir réussir dans ma vie.

A mon mari pour sa confiance en moi et son soutien attentif

A mes petites chérie Hiba et cher Mahdi

A mes Sœurs : CHAIMA et LINA

A mes frères : WASSIM et AMIR

A mon binôme, MAMOUNI SOUAD

A toute la famille MESSALTI et la famille ALLOU

A tous mes enseignants tous ceux qui ont contribué de près ou loin

A la réalisation de ce travail et tous ceux ou celle qui

M'aident et que j'aime.

ملخص

يركز هذا العمل على تطوير وتحليل تركيبة الياغوت الممزوج ذات النكهة الغنية بمسحوق قشر البرتقال المجففة. تم التخصيب ، الذي يهدف إلى زيادة الخصائص الوظيفية للياغوت النهائي ، عن طريق دمج المسحوق في جرعات مختلفة. أظهرت الخصائص الفيزيائية أن مسحوق اللحاء لديه ميل إلى تدفق السوائل وهو عبارة عن مسحوق قابل للبلل للغاية. يعتبر مسحوق قشر البرتقال مصدرًا غير مهم للأحماض العضوية بالقرب من (6 جم / 100 جم) ، والرماد (3 %) والكاروتينات (175.362 ميكروغرام / جم). يمكن وصف حركية تجفيف التقشير البرتقالي من خلال النموذج الحركي ($R^2 < 0.95$) المطابق لترتيب التفاعل الأول الظاهر. كشفت التحليلات الحسية أن المنتجات المدعمة لها نسب حسية مختلفة بشكل كبير (الذوق واللون) عن منتج التحكم وكانت غير مقبولة من قبل المتذوقون للجرعات العالية (< 3 %). إضافة 0.5% قشر برتقال جاف في شكل مسحوق إلى كتلة اللبن ليس له تأثير كبير على الخواص الفيزيائية الكيميائية التي تم تحليلها.

الكلمات المفتاحية: طعام وظيفي ، حركية ، قشور برتقال ، تجفيف ، الياغوت.

Résumé

Ce travail porte essentiellement sur l'élaboration et l'analyse, d'une formulation d'un yaourt brassé, aromatisé et enrichi avec de la poudre d'écorces d'oranges (var. Thomson) sèches. L'enrichissement, visant à augmenter les propriétés fonctionnelles du yaourt final, a été effectué par l'incorporation de la poudre en différentes doses. La caractérisation physique a mis en évidence que la poudre d'écorces a une tendance d'écoulement fluide qu'elle est une poudre très mouillable. La poudre d'écorces d'oranges est une source non significative d'acides organiques voisine à (6g/100 gMh), de cendres (3%) et de caroténoïdes (175.362 µg/g). La cinétique de séchage des écorces d'oranges peut être décrite par le modèle cinétique ($R^2 > 0,95$) correspondant au premier ordre réactionnel montrant. Les analyses sensorielles ont révélé que les produits enrichis présentent des propriétés organoleptiques (goût, couleur) significativement différentes que le produit témoin et deviennent inacceptables par les dégustateurs pour des doses élevées (> 3%). L'ajout de 0,5 % d'écorces d'oranges sèches sous forme de poudre dans la masse du yaourt est sans impacts significatifs sur les propriétés physicochimiques analysées.

Mots-clés : aliment fonctionnel, cinétique, écorces d'oranges, séchage, yaourt.

Abstract

This work focuses on the development and analysis of a stirred, flavored yogurt formulation enriched with dried orange peel powder (var. Enrichment, aimed at increasing the functional properties of the final yoghurt, was carried out by incorporating the powder in different doses. Physical characterization has shown that the bark powder has a tendency to fluid flow that it is a very wettable powder. Orange peel powder is a non-significant source of organic acids close to (6g / 100 gMh), ash (3%) and carotenoids (175.362 $\mu\text{g} / \text{g}$). The kinetics of drying of orange peels can be described by the kinetic model ($R^2 > 0.95$) corresponding to the first reaction order showing. Sensory analyzes revealed that the fortified products had significantly different organoleptic proportions (taste, color) than the control product and were unacceptable by the tasters for high doses ($> 3\%$). The addition of 0.5% dry orange peel in powder form to the yogurt mass has no significant impact on the physicochemical properties. **analyzed. Keywords:** functional food, kinetics, orange peels, drying, yoghurt.

Sommaire

Sommaire

Dédicace	
Remerciement	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I: Généralités sur les oranges

1. Introduction	2
2. Classification botanique de l'orange	2
3. Origine des oranges	2
4. Structure morphologique de l'orange	3
5. La composition chimique et valeur nutritive d'orange	3
6. Vertus thérapeutique de l'écorce d'orange	4

Chapitre II: Généralités sur les poudres alimentaires

1. Définition	7
2. Procédés de fabrication	7
2.1. Séchage	7
2.1.1. Introduction	8
2.1.2 . Principes physiques du séchage	8

2.2. Broyage	8
2.3. Tamisage	9

Chapitre III: Le yaourt

1. Définition	11
2. Les différents types de yaourt	11
3. Matières utilisées pour la production du yaourt	
3.1. Le lait frais	11
3.2. La poudre de lait	11
3.3. Les bactéries caractéristiques du yaourt	11
3.3.1. Caractéristiques générales des bactéries du yaourt	11
3.3.2. Les intérêts et fonction des bactéries du yaourt	12
3.3.3. Les comportement associatif des deux souches	13
4. Technologie du yaourt	13
4.1. Standardisation du mélange	14
4.2. Homogénéisation	15
4.3. Traitement thermique	15
4.4. Ensemencement.....	15
4.5. Incubation	15
4.6. Arrêt de la fermentation	
4.7. Conditionnement	15
5. Caractérisation des produits finis de type yaourt.....	16

5.1. Caractères physico-chimiques	16
5.2. Caractères microbiologiques	16
5.3. Caractères sensoriels	17
6. Intérêts nutritionnels et thérapeutiques du yaourt	17
6.1. Amélioration de l'absorption du lactose	17
6.2. Amélioration de la digestibilité des protéines	17
6.3. Amélioration de la digestibilité des matières grasses	17
6.4. Activité antimicrobienne	17
6.5. Stimulation du système immunitaire.....	17
6.6. Effet thérapeutique	17

Matériel et méthodes

1. Introduction	19
2. Présentation de l'orange	19
3. Motif d'utilisation des écorces d'oranges	20
4. préparation de la poudre d'écorces d'orange (PEO)	20
5. caractérisation de la poudre d'écorces d'oranges	22
5.1. Caractérisation physique de la poudre	22
5.1.1. Détermination de la granulométrie	22
5.1.2. Masse volumique et porosité.....	23
5.1.3. Détermination de l'indice d'écoulement (angle de repos)	24
5.1.4. Détermination de l'indice de mouillabilité	25

5.2. Caractérisation physico-chimique de la poudre	25
5.2.1. Détermination de la teneur en eau et matière sèches (AFNOR, 1982)	25
5.2.2. Détermination de pH (AFNOR R 36-16)	26
5.2.3. Détermination de l'acidité (AFNOR ? 1982)	26
5.2.4. Détermination de la teneur en cendre (AFNOR NF04-201 ,1980)	27
5.3. Étude de la cinétique de séchage de la poudre d'écorces d'orange	28
5.3.1. Modalisation de la cinétique du séchage	29
5.3.2. Vérification de l'adéquation	30
5.4. Extraction et dosage des polyphénols	30
5.4.1. Extraction des polyphénols	30
5.4.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux	30
5.5. Détermination de la teneur en caroténoïdes totaux	31
6. Mode et préparation de yaourt	32
6.1. Ingrédients utilisés	32
6.2. Mode de préparations	32
7. Proportions de la poudre incorporées	33
8. Analyses du produit fini	33
8.1. Analyses sensorielles	33
8.2. Analyse de variance	34
8.3. Analyses physico-chimiques	35
8.3.1 Détermination de pH (AFNOR 36-16-1999)	35

8.3.2. Détermination l'extrait sec total (EST) (AFNOR, 1986)	35
8.3.3. Détermination la tenure en eau (humidité)	36
8.3.4. Détermination de l'acidité	36
8.3.5. Détermination de la tenure en matière grasse (MG)	36
8.4. Analyses statistiques	37

Résultats et discussion

1. Caractérisation physique de la poudre	38
1.1. Granulométrie	38
1.2. Densités et porosité	39
1.3. Indice d'écoulement (angle de repos)	40
1.4. Indice de muabilité	40
2. Caractérisation physico-chimique de la poudre	40
2.1. Teneur en eau	41
2.2. pH et acidité titrable	41
2.3. Les cendre	42
2.4. Cinétique de séchage v.....	43
2.4.1. Modalisation de la cinétique de séchage	43
2.4.2. Effet du temps sur la vitesse de séchage	43
2.4.3. Effet du la température sur la vitesse de séchage.	43
2.5. Polyphénols et caroténoïdes	47
3. Analyses des produits préparés	48

3.1. Analyses sensorielles	49
3.2. Analyses de la variance des résultats des teste sensoriels	49
3.3. Les analyses physico-chimiques de produit préparé	51
3.3.1. pH.....	52
3.3.2. L'acidité	52
3.3.3l'extrait sec total	52
3.3.4. La matière grasse	53
Conclusion générale	54
Références bibliographiques	
Annexes.....	

*Liste des tableaux et
des figures*

Liste des figures

Chapitre I : généralité sur les oranges

Figure 1 : Les principaux constituants d'orange3

Chapitre III généralité sur le yaourt

Figure 2 : Diagramme de fabrication du yaourt14

Matériel Et Méthodes

Figure 1 : Ecorces d'orange utilisées dans la présente étude.19

Figure 2 : étapes de la réparation la poudre d'écorce d'orange21

Figure 3 : poudre d'écorce d'orange utilisée dans la présente étude22

Figure 4 : principe de la détermination le l'angle de repos24

Figure 5 : Etuvage des écorces d'orange en vue l'étude de la cinétique de séchage.29

Figure 6 : Principales étapes d'extraction des polyphénols.30

Figure 7 : Diagramme de préparation et d'enrichissement du yaourt brassé32

Figure 8 : Bulletin du teste hédonique34

Résultats Et Discussion

Figure 1 : Distribution de la taille des particules de la poudre en fonction du volume.....38

Figure 2 : Teneurs en eau et en matières sèches des écorces d'oranges.....40

Figure 3 : pH et acidité titrable des écorces d'orange.....41

Figure 4 : Teneurs en cendres et en matières organiques de la PEO42

Figure 5 : Cinétique du séchage des écorces d'oranges (v. Thomson).43

Figure 6 : Progression exponentielle de la cinétique du séchage des écorces d'oranges 44

Figure 7 : Progression linéaire de la cinétique du séchage des écorces d'oranges. 44

Figure 8 : Graphique de la détermination de l'énergie d'activation. 46

Figure 9 : Degrés d'appréciation des produits élaborés.	50
Figure 10 : pH de la formulation de yaourt préparé	51
Figure 11 : Acidité titrable du yaourt préparé	51
Figure 12 : Extrait sec total (%) contenu dans le yaourt préparé	52
Figure 13 : Matières grasses contenues dans le yaourt.	53

Liste des tableaux

Chapitre I: Généralités sur les oranges

Tableau 1 :Principaux composés de l'orange	04
--	----

Matériel et méthodes

Tableau 1 : Préparation de la dilution de l'acide gallique (AG).....	31
--	----

Tableau 2 : Ingrédients (pour 1L) de la préparation du yaourt.....	32
--	----

Tableau 3 : Proportions de la poudre incorporées dans la masse de yaourt.....	33
---	----

Tableau 4 :Echelle de l'évaluation organoleptique des différentes formulations.....	34
---	----

Résultats et discussion

Tableau 1 :Caractéristique des particules de poudre d'écorce de l'orange.....	38
---	----

Tableau 2 : Quelques propriétés physiques de la poudre d'écorces d'oranges.....	38
---	----

Tableau 3 : Constante K_s du séchage des écorces d'oranges (v.thomson).....	45
---	----

Tableau 4: Temps de réduction décimale (D_s) inhérente au séchage des écorces d'oranges.....	45
--	----

Tableau 5: Effet de la température sur le séchage des écorces d'oranges.....	47
--	----

Tableau 6: teneurs en polyphénols et caroténoïdes totaux contenus dans la PEO.....	47
--	----

Tableau7 :Evaluation sensorielle de la couleur du yaourt enrichi.....	48
---	----

Tableau 8 : Evaluation du goût de yaourt enrichi avec la poudre d'écorces d'orange.....	49
---	----

Tableau 9: Analyse des différences de couleur entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95%.....	50
--	----

Tableau 10: Analyse des différences de goût entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95%.....	50
--	----

Liste des abréviations

Liste des abréviations

T : Température

V : Volume

H : Humidité

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

ANFOR : Association française de normalisation

M : masse en gramme d'échantillon prélevé

TMG : la teneur en matière grasse

EST : l'extrait sec total

Cn : Teneur en cendre

AOAC : Association of official Analytical Chemists

M_s : matière sèche

M_h : matière humide

C° : Degré Celsius

ml : Milie litre

NaOH : Hydroxyde de sodium

W : cinétique de séchage

Introduction
générale

Introduction générale

Les activités agricoles et agro-industrielles génèrent d'importantes quantités du déchet. Ces derniers constituent une nuisance certaine pour l'environnement et un gaspillage de matières organique utiles.

Ces déchets pourraient être transformés en capitaux, si des bios produits potentiellement commercialisables tel que les écorces des agrumes dont leurs constituants impressionnants constituent des valeurs marchandes.

Les écorces d'agrumes présentent une portion pondérale assez élevée qui peut arriver jusqu'à 60 % du fruit entier et qui sont souvent rejetés dans la nature au cours de la transformation des agrumes (citrons, les mandarines, les pomelos, les cédrats, les oranges, les pamplemousses et les limes ...etc.) (FAO 2012). Comme conséquences, ces sous-produits primaires, non traitées, deviennent une source de pollution environnementale (M.E.Cuvelier et al.) (Y.C.Wang et al.,2008)

Plusieurs vertus alimentaires et thérapeutiques sont inhérentes aux écorces d'oranges. Elles peuvent lutter contre l'hyper-cholestérol grâce à la présence de l'hespéridine, contre le diabète, contre les maladies cancérogènes...

Les écorces d'oranges sont utilisées dans de nombreux domaines : en cosmétique, en cuisine, dans le domaine pharmaceutique... Les écorces sont utilisées comme mélasse pour l'alimentation des animaux et pour la production du carburant (K. Ashok kumar et al.,2011). Des études récentes ont montré que ces écorces sont une source de composés biologiquement actifs.

En cuisine, les écorces d'oranges sont utilisées sous différentes formes, confites, en poudre, sèches, fraîches.... Elles sont souvent employées comme additifs à d'autres aliments. Artisanalement, il a été constaté l'incorporation des écorces en poudre sèche dans le yaourt à raison d'une cuillère à café par boîte de 100 g de produit

D'où l'idée de réaliser cette étude qui consiste en la préparation et la caractérisation par différentes analyses d'une formulation d'un yaourt brassé, aromatisée et enrichi avec de la poudre d'écorces d'oranges (var. Thomson) séchée. L'objectif de l'enrichissement est d'augmenter les propriétés nutritives et thérapeutiques du yaourt préparé.

1. Introduction

L'orange est un fruit délicieux, rafraichissant et nutritif. C'est un trésor qui cache de nombreuses propriétés. Beaucoup de pays profitent de ses aspects variés et beaucoup de monde jouit de ses vitamines chaque matin afin de commencer la journée le mieux possible. Mais, il est très fréquent d'utiliser la pulpe et le jus d'orange aux dépens de l'écorce. Nous ignorons souvent les immenses propriétés médicinales qu'elle recouvre pour notre santé.

2. Classification botanique de l'orange

Taxonomiquement, les oranges douces appartiennent à :

Ordre : Sapindales

Sous-ordre : des geraniineae,

Classe : des dicotyledoneae

Famille : Rutaceae

Genre : *Citrus*

Espèce : *Citrus sinensis*

L'**oranger** (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck, 1765) est une espèce d'arbustes fruitiers de la famille des Rutacées. Cultivé dans les régions chaudes, comme les pays méditerranéens par exemple, cet hybride ancien est probablement un croisement entre le pamplemousse et la mandarine. Ses fruits sucrés et comestibles sont les oranges.

3. Origine des oranges

Les oranges comptent pour 75% dans tous les agrumes, et l'Algérie peut être considérée comme un producteur, d'où les grandes quantités de peaux d'orange qui en résultent. Ceci a encouragé le test de cette biomasse en tant qu'adsorbant pour l'élimination de différents polluants dans la présente étude. L'écorce d'orange se compose principalement de la cellulose, de l'hémicellulose, des substances de pectine, des colorants de chlorophylle et d'autres composés à faible poids moléculaire comme le limonène, etc.

(S. Nagy, P. Shaw, M.K. Veldhuis 1977) Dans la cellulose les groupements fonctionnels d'hydroxyle et carboxyle sont considérés comme accepteurs actifs pour les métaux. La modification chimique s'est montrée prometteuse en améliorant la capacité d'échange cationique due à l'augmentation des groupes fonctionnels (Xiaomin Li et al ., 2008)

4. Structure morphologique de l'orange

La structure morphologique de l'orange est constituée de l'extérieur vers l'intérieur de (Annadurai, R.S. Juang, D.J. Lee, 2002) figure 1 :

• L'écorce: constituée de deux parties :

1. L'épicarpe: c'est la partie colorée appelée 'flavedo' elle représente 8 à 10 % du fruit, contient des glandes à huiles essentielles, des pigments caroténoïdes, des vitamines etc.

2. Le mésocarpe: le mésocarpe interne est appelé 'albedo'. il représente 12 à 30 % du fruit, de couleur blanchâtre, il contient de la cellulose, des sucres solubles, des acides aminés, des vitamines et de la pectine.

La pulpe: c'est la partie comestible représentant 50 à 80% du fruit.

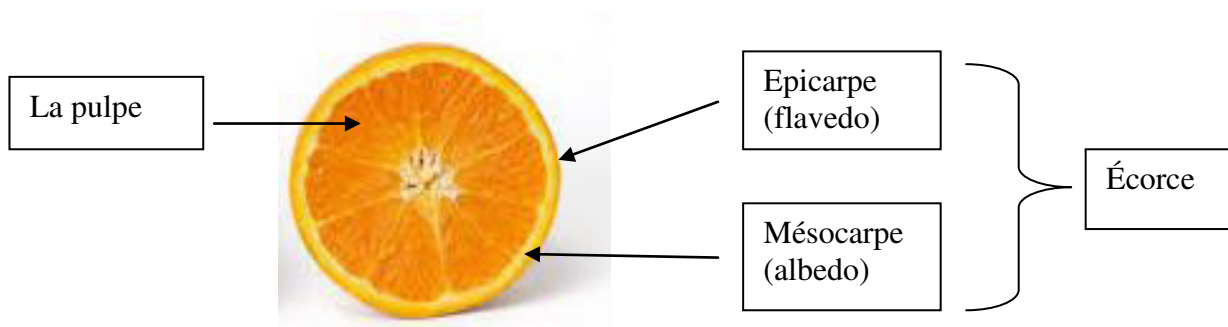


Figure 1 : Les principaux constituants d'orange

5. La composition chimique et valeur nutritive d'orange :

L'orange contient de glucides (40% de saccharose), de la vitamine C, vitamines P, B1, B9, E, provitamine A. Riche en calcium, riche en pectines, elle a un rôle de régulateur du transit intestinal. Elle contient une flore mésophile (levures et lactobacilles) indispensable pour une bonne digestion (Bousbia, 2011)

Les principaux composés de l'orange sont résumés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Principaux composés de l'orange (Anonyme, 2007)

Constituants	Teneurs
Glucides	8.5 a 12 % dans le fruit a maturité, représente par le saccharose (40 %). Fructose et glucose
Acides organiques	1.2 %, surtout de l'acide citrique et de l'acide malique
Autres composés Energétiques	Lipides concentres dans les pépins peu de protéines
Vitamines	Teneur élevée en vitamine C (40 a 80 mg pour 100g). Vitamines hydrosolubles qui sont toutes des vitamines du groupe B (B1 et B9, en particulier), vitamine A (0.05 a 0.2 mg pour 100g), vitamine E (0.24mg pour 100g).
Minéraux	Calcium, Magnésium, Potassium et Phosphore
Oligoéléments	Fer, Cuivre, Zinc, Manganèse, Nickel, Iode, trace de Bore et de Sélénium
Fibres	Une teneur de 2.4 % en moyenne, elles ont l'originalité d'être riches en pectine (environ 50 %)
Flore mésophile	Levures et lactobacilles indispensables à sa bonne digestion
Substances aromatiques	Ce sont des composés complexes caractéristiques de ce fruit (aldéhydes, esters... etc.), des essences odorantes
Pigments	Donnent à la pulpe sa couleur plus ou moins marquée jaune orange pour les flavonoïdes et les caroténoïdes, jaune pour les xanthophylles, rouge ou rouge violace pour les anthocyanes

6. Vertus thérapeutique de l'écorce d'orange

- **Action sur le cholestérol**

Avec sa teneur en hespéridine, un type de flavonoïdes (antioxydant) qui métabolise les lipides dans le sang et réduit la graisse, l'écorce d'orange permet de faire baisser le taux de mauvais cholestérol dans le sang, tout en favorisant la perte de poids.

L'écorce contient 20% de plus d'hespéridine que la pulpe du fruit. L'hespéridine est aussi une fibre naturelle qui protège la flore intestinale.

- **Action sur le diabète et la flore bactérienne :**

L'écorce d'orange est riche en pectine, une autre fibre naturelle qui aide au maintien d'un taux normal de sucre dans le sang, qui fait défaut aux diabétiques. L'écorce contient 4 fois plus de fibres que le fruit en lui-même.

Elle participe aussi à prendre soin de la flore bactérienne, entraînant une bonne santé du tube digestif, facilitant la digestion et soignant les troubles digestifs comme la constipation.

- ***Action sur la digestion :***

Avec leur taux de fibres très élevé, les pelures d'orange séchées facilitent la digestion, combattent le syndrome de l'intestin irritable et les ballonnements.

- ***Action contre les infections et maux de l'hiver :***

Parmi ses nombreux bienfaits, l'écorce d'orange est une excellente source de vitamines permettant de booster notre système immunitaire. Ainsi, elle permet de lutter et d'aider à soigner les infections et maladies comme les gripes ou les rhumes.

Elle aide à prévenir plusieurs maladies respiratoires telles que la bronchite, le rhume, l'asthme, etc.

- ***Action sur la perte de poids :***

En effet, l'écorce d'orange est l'allié des régimes de par sa composition exceptionnelle et les raisons que nous avons déjà citées. Elle accélère le métabolisme du corps, et stimule l'élimination des graisses.

- ***Action sur le stress :***

Avec sa saveur douce et sa composition exceptionnelle, le zeste de l'orange est un anti-dépresseur naturel permettant de soulager les états de stress et d'anxiété, et donc, indirectement, de soulager les insomnies, en favorisant un bon sommeil.

- ***Action préventive sur le cancer et les maladies dégénératives :***

On doit, entre autres, cette action à la pectine et l'hespéridine, ainsi qu'à la tangérotine et le nobiletin, puissants antioxydants qui permettent de prévenir l'apparition des tumeurs cancéreuses, voire de ralentir la progression et d'empêcher le développement des cellules cancéreuses.

En luttant contre l'action des radicaux libres et le vieillissement prématuré des cellules, les écorces d'orange permettent de prévenir les maladies dégénératives et cardio-vasculaires.

- ***Action sur les brûlures d'estomac :***

Elles sont efficaces pour soulager les brûlures d'estomac, il suffit de mâcher une pelure après vos repas pour ressentir un soulagement rapide, tout en facilitant la digestion

1. Définition

Les poudres alimentaires sont théoriquement fabriquées, exclusivement à partir soit des fruits parés ou non, soit de pulpe ou jus de fruit. Cependant, en vue de fixer les arômes, entraînés par la vapeur d'eau au cours du séchage. L'addition de fixateurs d'arômes tels que des dérivés de l'amidon, est autorisé sous réserve de mention sur l'étiquette.

Pour éviter l'agglomération des poudres, il est nécessaire de limiter leur humidité entre 4 et 6% mais les poudres ainsi produites sont très hygroscopiques et des précautions doivent être prises de leur production et de leur conditionnement.

2. Procèdes de fabrication

Plusieurs technologies sont applicables à la fabrication des poudres de fruits, mais toutes sont basées sur l'évaporation de l'eau des fruits.

Il est également possible de fabriquer des poudres par broyage et tamisage à partir de morceaux de fruits séchés. Le procédé comporte les phases suivantes :

- Préparation du produit à sécher.
- Séchage proprement dit, selon la technologie choisie.
- Conditionnement.

2.1. Séchage

2.1.1 Introduction

Par définition, le séchage est l'opération ayant pour but d'éliminer, par évaporation l'eau d'un corps humide. Le produit final obtenu étant toujours un solide. Cette définition peut être généralisée à l'élimination par évaporation de toute substance volatile d'un mélange.

Le séchage est un procédé de conservation extrêmement ancien, dont l'objet principal est de convertir des denrées périssables en produits stabilisés par abaissement de 'l'activité de l'eau' du produit. Les raisons du séchage sont presque aussi nombreuses que les produits à sécher. Mais elles peuvent être regroupées en trois catégories principales :

- Permettre ou faciliter la conservation des produits et amortir le caractère saisonnier de certaines activités agricoles ou industrielles.
- Diminuer la masse et le volume des aliments, pour réduire leur encombrement et faciliter leur transport.

- Donner une présentation, une structure ou une fonctionnalité particulière au produit.

2.1.2 Principes physiques du séchage

Deux mécanismes peuvent être mis en œuvre pour extraire par évaporation l'eau d'un produit : l'ébullition ou l'entraînement. L'idée la plus simple consiste sans doute à porter le produit à la température d'ébullition de l'eau, qui alors se vaporise. Mais pour obtenir une élimination poussée de l'eau sans altération excessive de la qualité des produits, on préfère bien souvent opérer à température plus basse en utilisant l'air comme gaz d'entraînement.

➤ **Séchage par entraînement** : lorsqu'un produit humide est placé dans un courant de gaz (air ou autre gaz) suffisamment chaud et sec, il s'établit un écart de température et de pression partielle tel que :

- Le gaz apporte au produit une partie de l'énergie nécessaire à la vaporisation.
- L'eau est évaporée sans ébullition sous l'effet du gradient de pression partielle d'eau.

Dans le cas où toute l'énergie est apportée au produit par convection à partir de l'air chaud et où il n'y a pas de perte de chaleur, le séchage est dit isenthalpique, l'énergie nécessaire à la vaporisation est exactement celle apportée par l'air chaud.

➤ **Séchage par ébullition** : l'ébullition a lieu lorsque la température du produit est élevée à une valeur telle que la pression de vapeur d'eau de ce produit est égale à la pression total ambiante, il découle de cette définition que :

- La température d'ébullition dépend de la pression totale et de l'activité de l'eau du produit.
- Le gaz en contact avec la surface du produit est de la vapeur d'eau pure. Cette propriété permet de sécher des produits oxydables en l'absence d'oxygène de l'air ou d'éliminer un solvant volatil, combustible en présence d'air, par ébullition dans une enceinte fermée.

2.2. Broyage

Le broyage consiste à diminuer la taille des particules d'un solide divisé. Le but peut être d'augmenter la surface d'échange entre le solide pulvérulent et le milieu extérieur, liquide ou gaz, ou bien de faciliter le mélange avec un autre solide, ou d'augmenter les transferts dans des opérations de séchage, refroidissement ou chauffage, extraction... etc. Aussi, cette opération est très répandue dans l'industrie alimentaire.

Bien qu'il existe plusieurs théories du broyage, leur application est souvent difficile et le calcul de ce type d'installation généralement empirique. Néanmoins, le bon dimensionnement d'un tel équipement est très important pour trois raisons principales :

- Le broyage est une opération consommatrice d'énergie.
- La maintenance des appareils est coûteuse.
- Les investissements sont lourds.

On peut décomposer le broyage en trois grandes familles : le broyage grossier ou concassage, le broyage fin et le broyage ultra fin.

- **Le broyage grossier** : dans cette catégorie, on part de solides de grande taille, pour obtenir des dimensions d'ordre du cm.
- **Le broyage fin** : cette catégorie donne des particules dont le diamètre moyen se situe en 1 cm et 0.1 mm.
- **Le broyage ultra fin** : ces broyeurs connaissent un développement important depuis quelques années, en industries alimentaires, pour divers produits : pigments, principe actifs, cellules de levures, épicerie, confiserie... etc. Le diamètre moyen des particules est de 100 à 10 μm .

2.3. Le tamisage

Le tamisage est l'une des plus anciennes méthodes d'analyse granulométrique, et aussi l'une des plus largement utilisées. L'opération consiste à placer un échantillon de 50 à 200 g de farine au sommet d'un empilement de 7 à 16 tamis. Dont la dimension des mailles va décroître, et auquel on applique un mouvement vibratoire durant 5 à 30 mn.

Le tamisage fait l'objet de 14 normes **AFNOR (série X11)** pour divers branches d'industrie. Dont les normes **X-11-501 et 504** définissant les toiles de tamis et tôles perforées du tamisage de référence. Cette diversité tient aux nombreux facteurs susceptibles d'influencer l'essai de tamisage liés :

- Aux caractéristiques des mailles de tamis.
- Aux propriétés physiques des produits (humidité, température, forme des particules, électrostatisme, quantité, friabilité et cohésion de la poudre).
- A l'environnement (à l'atmosphère du laboratoire, hygrométrie, température, vibrations).

- Aux paramètres du mouvement appliqué (**BURE 1965**), (trajectoire, vitesse, amplitude, durée, type de dégomme).

2.1. Définition

Le yaourt ou yoghourt est le lait fermenté le plus consommé. Il résulte de la fermentation du lait par deux bactéries lactiques thermophiles : *Streptococcus salivarius*, subsp. *thermophilus* (anciennement dénommé *Str. thermophils*), et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (anciennement dénommé *Lb. bulgaricus*). Cette fermentation conduit à la prise en masse du lait (**RENZO, 1988**).

2.2. Différents types de yaourt

Il existe différents types de yaourt :

- ❖ Yaourt ferme : à incubation et refroidissement en pot.
- ❖ Yaourt brassé : à incubation en cuve et refroidissement avant le conditionnement, c'est le cas des yaourts veloutés ou aux fruits (**MICHEL et al, 2000**).
- ❖ Yaourt à boire : similaire au type brassé mais dont le coagulum est réduit à l'état liquide avant le conditionnement.
- ❖ Yaourt glacé : à incubation en cuve et congélation comme la crème glacée.
- ❖ Yaourt concentré : à incubation en cuve, concentration et refroidissement avant le conditionnement.

2.3. Matières utilisées pour la production du yaourt

2.3.1. Lait frais

Le lait doit être recueilli proprement et ne doit pas contenir de colostrum » (**POUGHEON et al, 2005**). L'origine du lait doit être spécifiée s'il ne provient pas de l'espèce bovine (**AMELLAL, 2000**).

2.3.2. Poudre de lait

Constituée essentiellement de matière sèche du lait et d'une très faible quantité d'eau (de 2 à 5%), la poudre de lait a l'avantage de pouvoir se stocker et se transporter aisément pour être utilisée pour la recombinaison comme matière première pour la production de fromages, les laits fermentés, de crèmes glacées...ect.

2.3.3. Bactéries caractéristiques du yaourt

2.3.3.1. Caractéristiques générales des bactéries du yaourt

a- *Streptococcus thermophilus*

Streptococcus thermophilus est une cocci Gram positive, anaérobie facultative non mobile. On le trouve dans laits fermentés et les fromages (DELLAGLIO 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 la texture dans les laits fermentés. (BERGAMAIER, 2002).

b- *Lactobacillus bulgaricus*

Lb. bulgaricus est un bacille Gram positif, immobile, asporulé, microaérophile. Il est isolé sous forme de batonnets ou de chainettes. Il possède un métabolisme strictement fermentaire avec production exclusive d'acide lactique comme principal produit final fini à partir des hexoses de sucres par voie d'Embden Meyerhof. Il est incapable de fermenter les pentoses.

Cette bactérie a un rôle essentiel dans le développement des qualités organoleptiques et hygiéniques du yaourt (MARTY-TEYSSET et al, 2000).

2.3.3.2. Les intérêts et fonctions des bactéries du yaourt

a- Activité acidifiante

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

- Il aide à déstabiliser les micelles de caséines, ce qui conduit à la formation de gel.
- Il donne au yaourt son goût distinct et caractéristique, comme il contribue à la saveur et l'aromatisation du yaourt (TAMINE et al 1999. SINGH et al, 2006).
- Intervient comme inhibiteur vis-à-vis des microorganismes indésirables (LEORY et al, 2002).

b- Activité protéolytique

Cette caractéristique plus ou moins accentuée pour les divers microorganismes présente une importance différente pour la fabrication du yaourt. Des cultures trop protéolytiques provoquent une baisse de la consistance du caillé dans le temps alors qu'elles fournissent au yaourt la propriété d'être plus digestible (RENZO, 1988).

c- Activité aromatique

Divers composés volatiles et aromatiques interviennent dans la saveur et l'appétence du yaourt. C'est principalement le lactose qui intervient dans la formation de ces composés dans une fermentation de type hétéro-fermentaire. Parmi ceux-ci, l'acide lactique confère au yaourt

son gout acidulé. L'acétaldéhyde qui provient en grande partie de la thréonine, joue un rôle essentiel dans ces caractéristiques organoleptiques recherchées. La concentration optimale de ce métabolite est estimée à environ 10 ppm. Sa production due principalement au lactobacille est augmentée lorsque ce dernier est en association avec le streptocoque qui en élabore de faibles quantités (ANONYME, 1995).

d- Activité texturante

La texture et l'onctuosité constituent pour le consommateur d'importants éléments d'appréciation de la qualité du yaourt. Certaines souches bactériennes produisent à partir du glucose, des polysaccharides qui en formant des filaments limitent l'altération du gel par les traitements mécaniques et contribuent à la viscosité du yaourt.

2.3.3.3. Comportement associatif des deux souches

St. thermophilus et *Lb. bulgaricus* se développent en association (appelée proto-coopération) dans des cultures mixtes ayant un intérêt à la fois d'ordre technologique et nutritionnel.

Ces bactéries, par leur activité acidifiante ont un effet bénéfique du point de vue qualité hygiénique du produit. En parallèle, elles engendrent des produits secondaires qui contribuent à la qualité organoleptique du yaourt. D'un point de vue nutritionnel, l'activité fermentaire de ces espèces lactiques favorise une solubilisation des différents constituants du lait, améliorant ainsi leur biodisponibilité (COURTIN et al, 2002, NGOUNOU et al, 2003).

2.4. Technologie du yaourt

La fabrication du yaourt comporte plusieurs étapes :

- Préparation et traitement du lait.
- Développement de la fermentation.
- Arrêt de la fermentation.
- Conditionnement (**Figure 1.1**).

2.4.1. Standardisation du mélange

La matière première utilisée (lait frais, lait reconstitué, mélange des deux) doit être de bonne qualité microbiologique homogénéisée.

- **Standardisation en matière grasse**

Les teneurs en matières grasses des yaourts du commerce sont généralement comprises entre moins de 1% pour les yaourts maigres, et 3.5% pour les yaourts au lait entier (voir plus jusqu'à 10%) dans certains pays, par exemple le Portugal, la Grèce, la Turquie (BEAL et al, 2003).

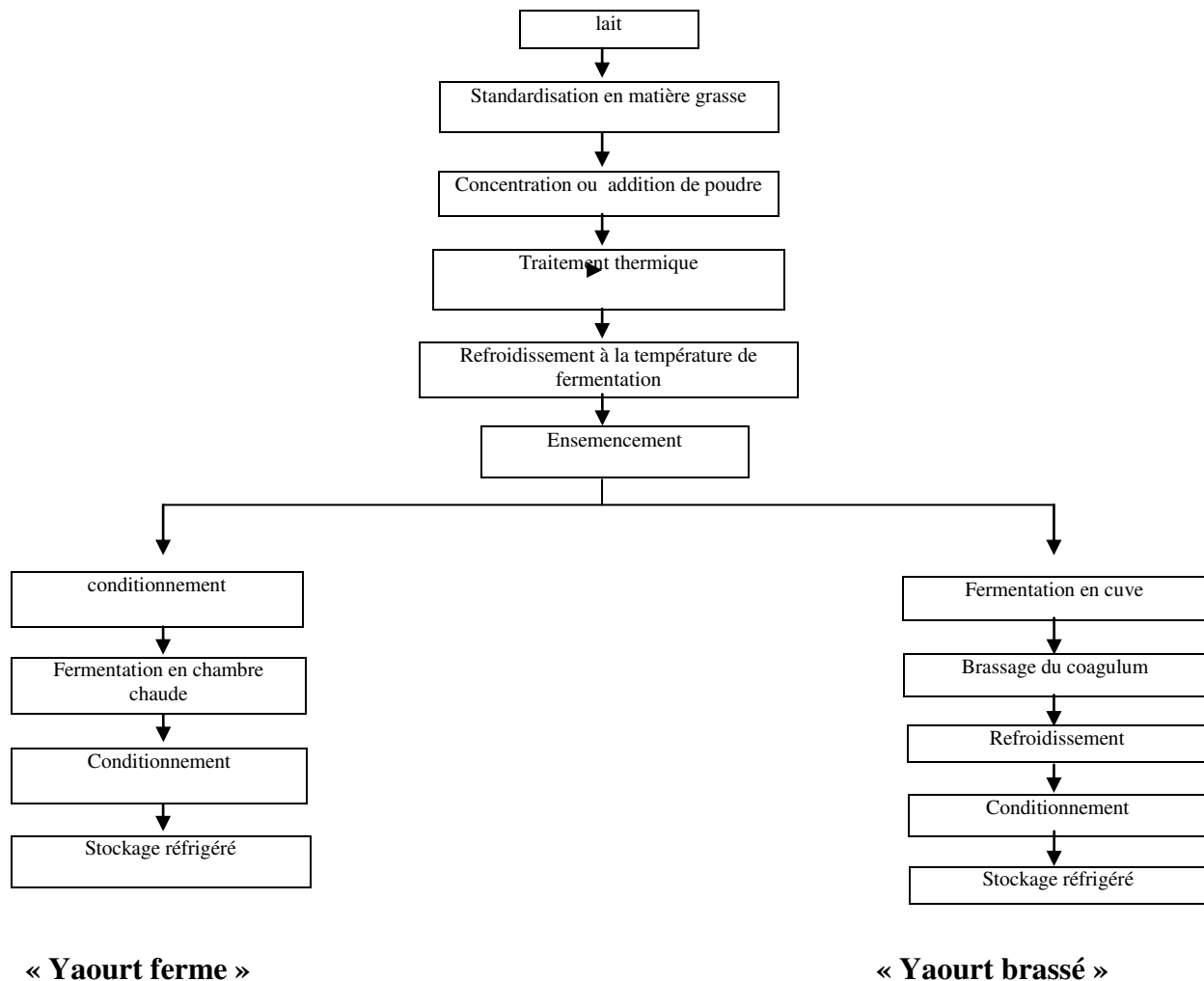


Figure 1. : Diagramme de fabrication du yaourt (ROBINSON et al, 1975)

- **Enrichissement en protéines**

Les quantités en protéines ajoutées sont variables et dépendent de la texture recherchée (yaourt à boire, yaourt ferme ou yaourt brassé). L'enrichissement est réalisé par ajout de lait concentré, de poudre de lait écrémé ou de lactoreplaceurs (retentât de lait, lactosérum, concentrés de protéines sériques, caséinates).

2.4.2. Homogénéisation

Le lait acheminé vers l'homogénéisateur où il est homogénéisé à une pression d'environ 200 à 250 atmosphères, à une température de 85 à 90°C, elle est généralement combinée avec le traitement thermique. L'opération peut se faire avant la pasteurisation (ou la stérilisation) proprement dite, dès que la température voulue est atteinte ou après le traitement thermique. Dans ce dernier cas, la consistance du yaourt meilleure, mais les risques de contamination sont à craindre (ALAIS, 1984).

2.4.3. Traitement thermique

Ce traitement peut être effectué selon deux procédés : le traitement batch (de plus en plus rare) ou le plus souvent le traitement en continu. Dans ce cas, les barèmes appliqués sont généralement de 85°C à 90°C pendant 15 à 30 min. le système continu est plus rationnel pour les unités de fabrication industrielle(CASALIS, 1975).

2.4.4. Ensemencement

L'ensemencement c'est l'inoculation de deux germes spécifiques du yaourt. : Lactobacillus bulgaricus et Streptococcus thermophilus dans le rapport Stre/Lacto 1.2 à 2/1 pour le yaourt nature, jusqu'à 10/1 pour les yaourts aux fruits (LUQUET, 1990).La quantité d'ensemencement minimum varie selon la vitalité des cultures entre 0.5 à 1% la quantité d'ensemencement maximum se situe à environ 5-7% (LUQUET, 1990).

2.4.5. Incubation

Correspond au développement de l'acidité dans le yaourt ; elle est sous la dépendance de deux facteurs : la température et la durée. On choisira une température optimale de développement de Streptococcus thermophilus soit 42-45°C plutôt qu'une température proche de l'optimum du Lactobacillus bulgaricus (47-50°C) car il est préférable que les Streptococcus assurent le départ de la fermentation lactique. Cette température voisine de 42-45°C est d'ailleurs la température symbiotique optimum (LUQUET, 1990).

2.4.6. Arrêt de la fermentation

Lorsque l'acidité atteint un certain seuil (70-80°D dans le cas des yaourts étuvés), il est nécessaire de bloquer l'acidification en inhibant le développement des bactéries lactiques. Pour cela on va abaisser considérablement la température (LUQUET, 1990).

2.4.7. Conditionnement

Les emballages devront être aptes au contact avec les denrées alimentaires et leur utilisation sur les machines de conditionnement ne doit pas en changer leurs caractéristiques.

2.5. Caractérisation des produits finis de type yaourt

2.5.1. Caractère physico-chimique

Des contrôles sur les critères physico-chimiques doivent être effectués sur les lignes de production selon un plan de contrôle bien défini.

- Le pH est mesuré sur les produits par un pH-mètre, directement par une sonde dans le pot.
- Des mesures de texture sont généralement réalisées par pénétromètre ou écoulement selon le type de produit. En général, le pénétromètre est plutôt utilisé dans le cas des yoghourts fermes alors que des mesures rhéologiques par écoulement sont utilisées dans le cas des yoghourts brassé (LUQUET et al, 2005).

2.5.2. Caractère microbiologique

La norme internationale ISO 7218 (règles générales pour les examens microbiologiques) ou la norme FIL 122C, indiquent les lignes directrices générales pour la réalisation d'examens microbiologiques effectués selon des normes spécifiques (AFNOR, 2002 a et b).

Bactéries lactiques

Des dénombrements sont réalisés sur les produits finis. Les valeurs ciblées s'adaptent aux réglementations, aux allégations et aux exigences supplémentaires que le fabricant s'impose éventuellement tel que plus de 10^7 bactéries/g à DLC (date limite de consommation). L'identification et le dénombrement des micro-organismes caractéristiques du yoghourt (Lb. **Contaminants microbiens**

La présence de micro-organismes spécifiques vivant la fermentation, *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* est une caractéristique du yaourt.

L'appréciation des ferments lactiques et de leurs caractéristiques est actuellement encore plus importante en relation à l'utilisation des technologies de production qui est de prolonger la période de commercialisation à plus de 4 semaines et pour reconnaître et distinguer les laits fermentés et soumis à traitement thermique (desserts) dans lesquels les ferments lactiques n'ont pas été détruits (RENZO, 1988).

2.5.3. Caractère sensoriels

L'analyse physico-chimique d'un yoghourt est bien évidemment incontournable, mais elle n'en suffit pas à le décrire, car elle est tout à fait insuffisante pour refléter ce que perçoit le consommateur sur la plan sensoriel. Or, ce dernier est particulièrement sensible à l'aspect, à la texture ou aux éventuels « faux goûts » d'un yoghourt et ces critères sensoriels vont largement influencer ses préférences.

2.6. Intérêts nutritionnels et thérapeutiques du yaourt

Les valeurs nutritionnelles intrinsèques du lait sont préservées pendant la fermentation lactique.

2.6.1. Amélioration de l'absorption du lactose :

Le lactose est l'élément le plus concerné par ces modifications puisque 30% du lactose est transformé en galactose et acide lactique par action des bactéries lactiques.

2.7.2. Amélioration de la digestibilité des protéines

Les yaourts et les laits fermentés sont une source intéressante de protéines : en moyenne 4g pour 100g. Ces protéines sont de bonne digestibilité et d'une excellente valeur biologique.

2.6.3. Amélioration de la digestibilité des matières grasses

Les teneurs lipidiques sont compris entre 0.1g et 3.6 g aux 100g. Ces faibles teneurs permettent de répondre aux objectifs de réduction de la consommation de lipides.

2.6.4. Activité antimicrobienne

Le yaourt a un rôle préventif contre les infections gastro-intestinales. L'intérêt du yaourt dans le traitement des diarrhées a été démontré par de nombreux auteurs. En dehors de l'acide lactique, les bactéries du yaourt produisent des substances antimicrobiennes et des probiotiques.

2.6.5. Simulation du système immunitaire

L'effet immunoémodulateur du yaourt a été démontré. Son rôle dans l'augmentation de la production d'interférons et d'immunoglobulines et de l'activation des lymphocytes B est attribué à *Lb. bulgaricus*(**ROMAIN et al, 2008**).

2.6.6. Effet thérapeutique

Le yaourt est un produit équilibré présentant une valeur énergétique relativement faible, il possède en outre plusieurs propriétés thérapeutiques :

- En dehors de l'acide lactique, les bactéries du yaourt produisent des substances antimicrobiennes et des probiotiques. Qui détruisent l'allergie chez les enfants.
- Les ferments vivants contenus dans le yaourt contribueraient à rétablir plus rapidement le fonctionnement normal du transit intestinal.
- Le yaourt pour le confort intestinal de l'adulte sain.
- Des arguments en faveur de la consommation de lait fermenté par les fumeurs.
- Anorexie : le yaourt améliore certains paramètres immunitaires.
- Le yaourt pour améliorer l'absorption des minéraux.
- Le yaourt contre les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin.
- Le yaourt assure un rôle protecteur contre les maladies cardiovasculaires en réduisant le taux de cholestérol sanguin (**QU2BEC 2002**).

1. Introduction

La présente partie porte essentiellement sur l'élaboration et l'analyse, sur différents plans, d'une formulation de yaourt (brassé) enrichi avec de la poudre d'écorces d'oranges séchée. Pour ce fait, différentes proportions de la poudre ont été incorporées dans la masse du yaourt et testées.

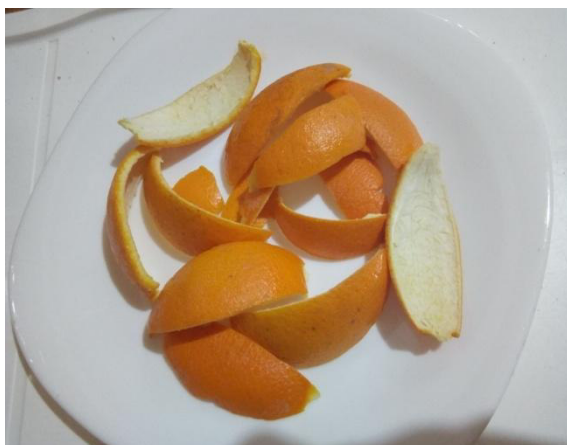
Cet enrichissement vise à améliorer les propriétés fonctionnelles du yaourt par suite des différentes vertus curatives inhérentes aux écorces d'oranges, et le yaourt ainsi obtenu pourrait être utilisé comme « alicament ».

Notons que l'élaboration du yaourt a été effectuée au laboratoire d'analyse physicochimique de l'Annexe de la Laiterie et Fromagerie de Boudouaou située à Rouïba. Un certain nombre d'analyses physicochimiques a été fait aux laboratoires pédagogiques de la Faculté des Sciences de l'Ingénieur (Université de Boumerdès).

Dans cette partie seront présentées les méthodes qui se rapportent à la préparation et la caractérisation de la poudre d'écorces d'oranges ainsi que la préparation et l'analyse du yaourt obtenu.

2. Présentation de l'orange

Les oranges utilisées dans la présente étude ont été achetées en février 2019 dans le marché de Boumerdes. Il s'agit des fruits qui appartiennent à la variété « thomson », une des variétés les plus répandues en Algérie. Arrivé au laboratoire, les oranges sont stockées au froid.



Avant séchage



Après séchage

Figure 1 : Ecorces d'orange utilisées dans la présente étude.

3. Motif d'utilisation des écorces d'oranges

L'enrichissement du yaourt avec les écorces d'oranges séchées est essentiellement justifié par les diverses propriétés curatives et nutritionnelles qui caractérisent celles-ci. On cite entre autres :

-L'écorce d'orange permet de réduire le taux du mauvais cholestérol au sein de l'organisme grâce la présence de l'hespéridine, un type de flavonoïdes qui métabolisent les lipides dans le sang et réduit la graisse. La quantité d'hespéridine présente dans l'écorce d'orange est environ de 20% supérieure à celle présente dans la pulpe.

-L'écorce d'orange contient de la pectine, fibre naturelle, qui nous protège des problèmes stomacaux en maintenant des niveaux normaux de sucre dans le sang. En plus de cela, elle nous aide à prendre soin de notre flore bactérienne en facilitant la digestion et en résolvant les épisodes de constipation.

- Elle lutte contre les infections grâce à son apport en vitamines très élevé et qui permet de soutenir notre système immunitaire lors d'épidémies de gripes ou de rhumes.

4. Préparation de la poudre d'écorces d'oranges (PEO)

Avant l'utilisation, les écorces d'orange ont subi une série de traitements préliminaires dont le but est de les préparer pour l'incorporation dans la masse du yaourt. La figure 2 montre les principales étapes de préparation.

Avant leur incorporation, les écorces sèches ont subi un triage, nettoyage manuel, découpage suivi d'un, séchage, broyage et tamisage. La poudre ainsi obtenue a été conditionnée dans une boîte en verre et stockée à l'abri de la lumière et l'humidité :

- **Triage** : Dans un premier temps, les oranges ont subi un triage manuel qui a pour but de débarrasser les fruits inappropriés.

- **Nettoyage manuel** : Avant l'épluchage des fruits, un nettoyage manuel a été procédé par un lavage à l'eau ordinaire dans le but d'éliminer toutes les impuretés visibles et les particules de poussières susceptibles d'être collées aux écorces. Un chiffon propre (en line) a été employé pour enlever l'eau collée en surface.

- **Découpage** : Les écorces séparées par épluchage (manuel) ont été réduites en petits morceaux (0,5×0,5 cm environ) par découpage au moyen d'un couteau. L'objectif de cette réduction des écorces est d'accélérer leur séchage en augmentant la surface produit/air de séchage.

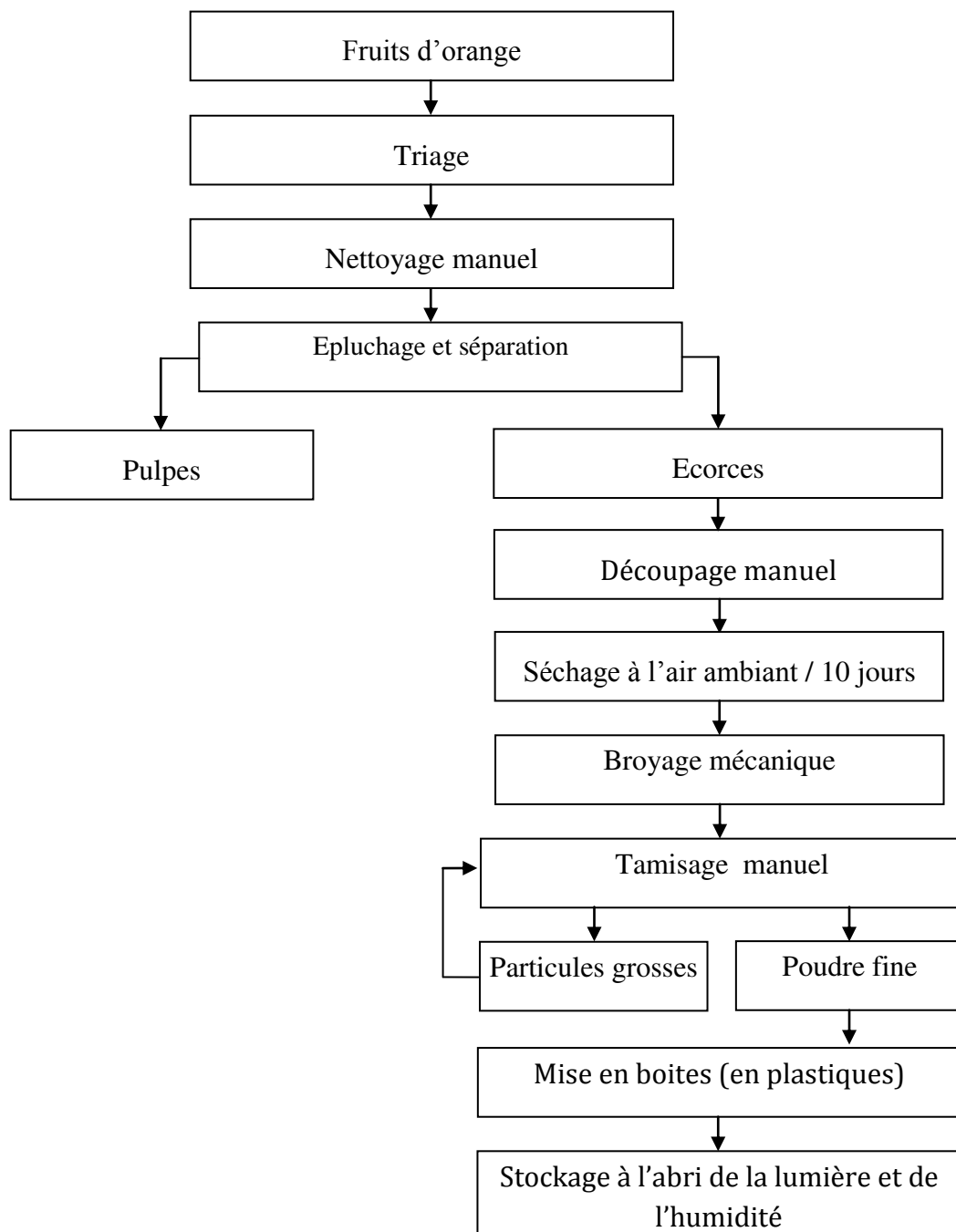


Figure 2: Etapes de la préparation la poudre d'écorces d'oranges.

- **Séchage des écorces :** Les écorces découpées en petits morceaux ont été séchées à l'air ambiant (à l'ombre) durant 10 jours de sorte que leur taux d'humidité initiale soit réduit jusqu'à environ 2 % du poids humide.

- **Broyage mécanique :** Après leur séchage, les matières solides ont été réduites au moyen d'un broyeur à café jusqu'à avoir une poudre très fine.

- **Tamisage manuel** : Une succession de tamisage manuel ont été faites dont l'objectif est d'enlever les grosse particules et ne maintenir que celles les plus fines. Le diamètre moyenne de la poudre maintenue était d'environ 2/31Cm (Figure 3).

- **Conditionnement** : La poudre d'écorces obtenue est conditionnés dans des boites en plastiques hermétiquement fermées et entreposées à froid (4°C env.) jusqu'à analyses ultérieures.

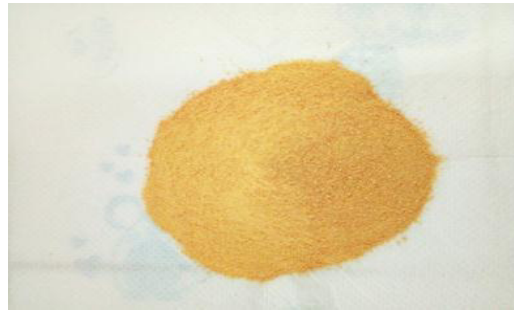


Figure 3 Poudre d'écorces d'oranges utilisée dans la présente étude

5. Caractérisation de la poudre d'écorces d'oranges

Avant son utilisation, la poudre obtenue a été caractérisée sur les deux plans physique et physicochimique.

5.1. Caractérisation physique de la poudre

Différent paramètres physiques ont été déterminés : La granulométrie de la poudre, l'indice d'écoulement (angle de repos), l'indice de mouillabilité, les masses volumiques réelle et apparente.

Les méthodes concernant la détermination des propriétés physiques se réfèrent aux protocoles communiqués par Schuck et al. (2012).

5.1.1. Détermination de la granulométrie

La granulométrie de la poudre a été déterminée par la technique du Lazer. La granulométrie LASER permet de mesurer la distribution de la taille des particules ainsi que la surface spécifique des particules du diamètre dominant. Le faisceau laser traverse la cellule d'analyse qui contient l'échantillon.

L'analyse et la comparaison de distribution granulométriques des parties s'effectuent généralement sur un nombre de grandeurs, telle que : $D(0,1)$: taille des particules pour laquelle 10% en volume de l'échantillon se trouve en-dessous de cette valeur. $D(0,5)$: taille des particules pour laquelle 50% en volume de l'échantillon se trouve en-dessous de cette

valeur. Il s'agit de diamètre médian. $D(0,9)$: taille des particules pour laquelle 90% en volume de l'échantillon se trouve en-dessous de cette valeur. Span (polydispersité) = $D(V; 0,9) - D(V; 0,1) - D(V; 0,5)$: mesure l'étalement de la distribution granulométrique en volume (**Lgerguaziz, 2007**).

La distribution granulométrique de la poudre est réalisée à l'aide d'une granulométrie LASER de marque MASTERSIZER.

5.1.2. Masses volumiques et porosité

La masse volumique apparente ρ_a d'une poudre est la masse d'un volume de poudre (m^3) considéré en l'état, en l'absence de tassement et sans considération du volume occupé par l'air. Elle s'exprime par conséquent en $kg.m^{-3}$.

La masse volumique tassée ρ_t d'une poudre est la valeur de la masse volumique obtenue après tassement, exprimée en $kg.m^{-3}$.

✓ **Principe**

Quelle que soit la masse volumique à mesurer, le principe de l'analyse consiste à mesurer la masse de poudre dans un volume donné sous différentes conditions, sans tassement pour ρ_a , avec tassement préalablement définis pour ρ_t .

✓ **Mode opératoire**

Masse volumique apparente (ρ_a) et la masse volumique tassée (ρ_t).

- Avec une balance analytique, peser un cylindre gradué dont on connaît le volume (V_1) et remplir à ras bord avec la poudre,
- Racler la poudre jusqu'à ce qu'elle soit à niveau avec le bord supérieure du cylindre, puis peser.
- Relever à l'aide de la balance la masse en g de la poudre (m) avant tassement, indiquant la masse spécifique apparente.
- A l'aide d'un objet approprié, effectuer un tassement (suffisant) sur la même masse (m),
- Relever le volume (V_2) correspondant à l'état tassé.

✓ **Expression des résultats:**

Les masses volumiques sont exprimées en $kg.m^{-3}$.

Masse volumique apparente (ρ_a) :

$$\rho_a = \frac{m}{V_1} \times 1000 \quad (1)$$

Masse volumique tassée (ρ_t)

$$\rho_t = \frac{m}{V_2} \times 1000 \quad (2)$$

Où :

ρ_t est la masse volumique tassée (kg.m^{-3}).

Porosité

La porosité (p) est déduite à partir de la relation suivante

$$P = [(\rho_t - \rho_a) / \rho_a] 100 \quad (3)$$

5.1.3. Détermination de l'indice d'écoulement (angle de repos)

Le produit s'écoule par un entonnoir et tombe sur une Platform d'une hauteur (h) déterminée où il s'accumule en un tas de forme conique. L'angle de talus, α , est l'angle compris entre l'horizontale et le sommet du tas (figure 4).

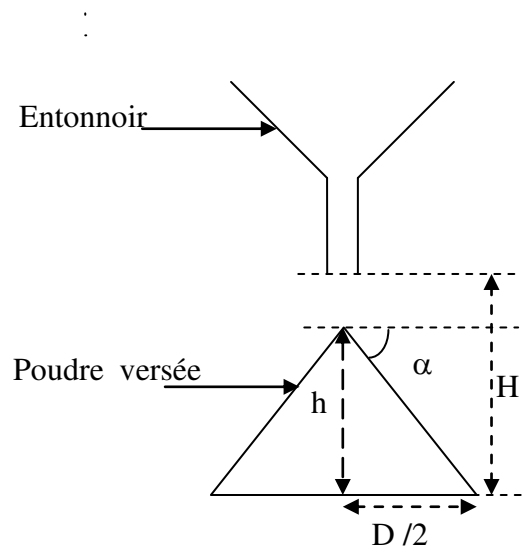


Figure 4: Principe de la détermination de l'angle de repos

H : hauteur de l'entonnoir par rapport au Platform ; D : diamètre de l'icone

L'angle de repos (α) est déterminé à partir de la formule suivante :

$$\text{Tg } \alpha = 2h/D \quad (4)$$

5.1.4. Détermination l'indice de mouillabilité

L'indice de mouillabilité est exprimé par le temps, en seconde, nécessaire à une quantité de poudre donnée pour pénétrer dans l'eau à travers sa surface libre au repos.

✓ Principe

L'indice de mouillabilité est mesuré à partir des résultats obtenus lors de la réhydratation de la poudre sans agitation.

✓ Mode opératoire

- Verser 10 ml d'eau distillée à 20°C dans le bécher et placer l'entonnoir de façon qu'il appuie sur le bord supérieur du bécher.
- Placer le pilon à l'intérieur de l'entonnoir de façon qu'il bloque son ouverture.
- Placer autour du pilon la quantité de poudre pesée (2 g),
- Soulever le pilon et mettre en marche le chronomètre,
- Arrêter le chronomètre quand toute la poudre a été mouillée,

L'indice de mouillabilité (IM) est exprimé comme la durée (en s) nécessaire pour que toute la poudre soit complètement mouillée.

5.2. Caractérisation physicochimique de la poudre

Un ensemble de paramètres physicochimiques ont été déterminés. Il s'agit de la teneur en eau, le pH, l'acidité titrable et la teneur en cendres, le taux des polyphénols totaux et la teneur en caroténoïdes.

5.2.1. Détermination des teneurs en eau et matière sèches (ANFOR, 1982)

✓ Principe

La teneur en eau de fruits est déterminée par NF t 60-305, juin 1976 normalisée, décrite par ANFOR 1982 et qui consiste en un étuvage d'un échantillon 5 grammes de matière à $105 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

✓ Mode opératoire

A 0,0001 de précision, 5 grammes de l'échantillon sont pesés dans chaque capsule avant d'être placés à l'étuvage durant 4 heures. Les capsules sont retirées de l'étuve puis placées dans le dessiccateur pour être refroidies et pesées. L'opération est répétée jusqu'à l'obtention d'un poids constant (en réduisant la durée du séchage à 30 min).

Exprimée en pourcentage (g/100 g) par rapport à la masse humide de la matière, la teneur en eau est déterminée selon la formule suivante :

$$H (\%) = [1 - (M_2 - M_1)/P] \times 100 \quad (5)$$

Où : H (%) : humidité ; M1 : masse de la capsule (g) ; M2 : masse de l'ensemble (capsule + masse sèche) après étuvage ; P : masse de la prise d'essais.

La matière sèche (Ms, %) est déduite selon la formule suivante :

$$Ms (\%) = 100 - H (\%) \quad (6)$$

5.2.2. Déterminer du pH (AFNOR 36-16.)

✓ Principe

La mesure du pH est basée sur la différence du potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence.

✓ Mode opératoire

Après avoir fait l'étalonnage du pH-mètre avec la solution d'hydrogencarbonate de potassium (6,5 à 7), on a procédé à la détermination du pH de chaque échantillon, en plongeant l'électrode (propre) dans la solution de l'échantillon à analyser et en le maintenant jusqu'à la stabilisation du pH.

Pour chaque échantillon broyé, une masse de $2 \text{ g} \pm 0.001\text{g}$ est placée dans un bécher contenant 20 ml d'eau distillée chaude récemment bouillie et refroidie. Le mélange est agité jusqu'à obtenir un liquide homogène et le pH est mesuré par immersion direct de l'électrode du pH-mètre dans celui-ci.

La lecture est faite directement sur le pH-mètre à une température de 20°C

5.2.3. Détermination de l'acidité titrable (AFNOR.1982)

✓ Principe

Cette méthode est basée sur le titrage de l'acidité d'une solution aqueuse avec solution d'hydroxyde de sodium en présence de phénolphaléine comme indicateur.

✓ Mode opératoire

L'acidité titrable est déterminée la méthode NF V 05-101(1974) décrite par AFNOR 1982 et relative au produit d'origine végétale.

Pour chaque échantillon broyé, une masse de 1g est placée dans une fiole conique contenant 20 ml d'eau distillée chaude récemment bouillie et refroidie.

Le mélange est agité jusqu'à obtenir un liquide homogène. La fiole conique est adaptée à un réfrigérant à reflux afin de chauffer (à 70°C env.) le contenu au bain-marie pendant 1h avec agitation (de temps en temps). Après refroidissement, le contenu de la fiole conique est transvasé quantitativement dans une fiole jaugée de 25 ml et complété jusqu' au trait de jauge avec l'eau distillée récemment bouillie et refroidie. Ensuite, il est mélangé puis filtré. Dix ml de filtrat sont versés dans un Becher et titrés avec une solution d'hydroxyde de sodium 0,1N en présence de 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine, jusqu' à l'obtention d'une couleur rose persistante pendant 30 secondes.

Exprimée en pourcentage (g /100 g du poids humide), l'acidité titrable (A), est déterminée selon la formule suivante :

$$A = (25 \times V_1 \times 100) / (10 \times M \times V_0) \quad (7)$$

Où :

M : masse en gramme d'échantillon prélevé ;

V₀ : volume (10 ml) en millilitres de la prise d'essai ;

V₁ : volume versé, en millilitre de la solution d'hydroxyde de sodium à 0,1N utilisé.

5.2.4. Détermination de la teneur en cendres (AFNOR NF 04-201,1980)

✓ Principe

La méthode est basée sur la calcination de la poudre à 600° dans un four à moufle jusqu' à obtention de cendres blanchâtres de poids constant.

✓ Mode opératoire

La teneur en cendres est déterminée selon la méthode AOAC (2000).

Une masse de 1g de l'échantillon est placée dans une capsule en porcelaine et introduite dans un four réglé à 600°C ±15°C durant 4 heures jusqu'à l'obtention d'une couleur gris-claire ou blanchâtre.

Les capsules sont ensuite refroidies dans un dessiccateur puis pesées.

La teneur en cendres (Cn, g/100 g M_h) est déterminée selon la formule suivante :

$$Cn (\%) = [(M_2 - M_1)/P] \times 100 \quad (8)$$

Où :

M_1 : masse de la capsule vide (en g) ; M_2 : masse de l'ensemble (capsule + cendres) (en g) ;

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

Le taux de matières organiques (M_o , g/100 g M_h) est déduit à partir de la relation suivante :

$$M_o(\%) = 100 - Cn(\%) \quad (9)$$

5.3. Etude de la cinétique de séchage de la poudre d'écorces

L'objectif principal de l'étude cinétique est d'optimiser les paramètres de séchage temps et température et donner un modèle mathématique théorique permettant de décrire l'évolution de la teneur en eau du produit lors de la période du séchage.

La cinétique de séchage a été étudiée en suivant la teneur en eau des écorces en fonction du temps à différentes températures (50 et 60 et 70°C). Pour cela, une masse de 5 g d'écorces découpées en petits morceaux a été utilisée et la détermination de la cinétique est déterminée selon le protocole suivant :

Après avoir nettoyé les surfaces d'oranges par lavage à l'eau ordinaire (l'excès d'eau a été enlevé par un chiffon propre puis par maintenir les fruits quelques minutes à l'air ambiant), les écorces sont maintenues après épluchage manuel et découpées en petits morceaux dont la dimension moyenne était d'environ 2 à 3 mm de la largeur et/ou de longueur.

Des échantillons de 5 g d'écorces d'orange ont été séchés par étuvage au moyen d'une étuve de marque Memert (Figure 5) à trois températures 50, 60 et 70°C. Un intervalle de temps de 5 min a été maintenu régulièrement. La perte du poids (suite à l'évaporation) est calculée par la différence de pesée avant et après séchage. Pour chaque essai, trois reprises ont été procédées. La teneur en eau (g/100 g M_h) pour chaque poids a été déterminée selon la formule suivante :

$$W = [P_1 - (p_0 + M_s)] \times 100/P \quad (10)$$



Figure 5: Etuvage des écorces d'orange en vue l'étude de la cinétique de séchage.

5.3.1. Modélisation de la cinétique de séchage

Contrairement à ce qu'on fait souvent pour la modélisation du séchage où des modèles classiques sont utilisés, une approche de modélisation du séchage a été adoptée dans cette étude. Dans cette approche on vérifie l'ordre réactionnelle de l'évolution de la teneur en eau en fonction du temps (lors du séchage) supposée, dans la littérature comme, une réaction d'ordre un (Binbinet et al., 2008).

Le séchage est donc une fonction exponentielle du temps et à une température donnée, la vitesse de déshydratation peut être exprimée par la relation suivante:

$$dW/dt = - K_s W \quad (11)$$

W : Teneur en eau (g/100 g Mh) à t quelconque;

K_s : Constanta de vitesse de séchage ((g/100 g).min⁻¹) ;

t : Temps en min.

Par intégration de l'équation (11), la teneur en eau présente dans le produit en fonction du temps s'écrit :

$$\text{Ln} (W/W_0) = - K_s \times t \quad (12)$$

Ainsi

$$\text{Ln} W = - K_s \times t + \text{Ln} W_0 \quad (13)$$

W_0 : Teneur en (g/100 g) à t initial.

Soit encore, en logarithmes décimaux :

$$\text{Log} (W/W_0) = (- K_s/2,3) \times t \quad (14)$$

5.3.2. Vérification de l'adéquation

L'adéquation du modèle proposé aux résultats obtenus a été vérifiée par le biais du coefficient de corrélation (R^2), paramètre statistique déterminé pour la forme linéaire de l'équation (12) au moyen du logiciel Excel (2010).

5.4. Extraction et dosage des Polyphénols

5.4.1. Extraction des polyphénols

La figure 6 montre le procédé d'extraction des composés phénoliques.

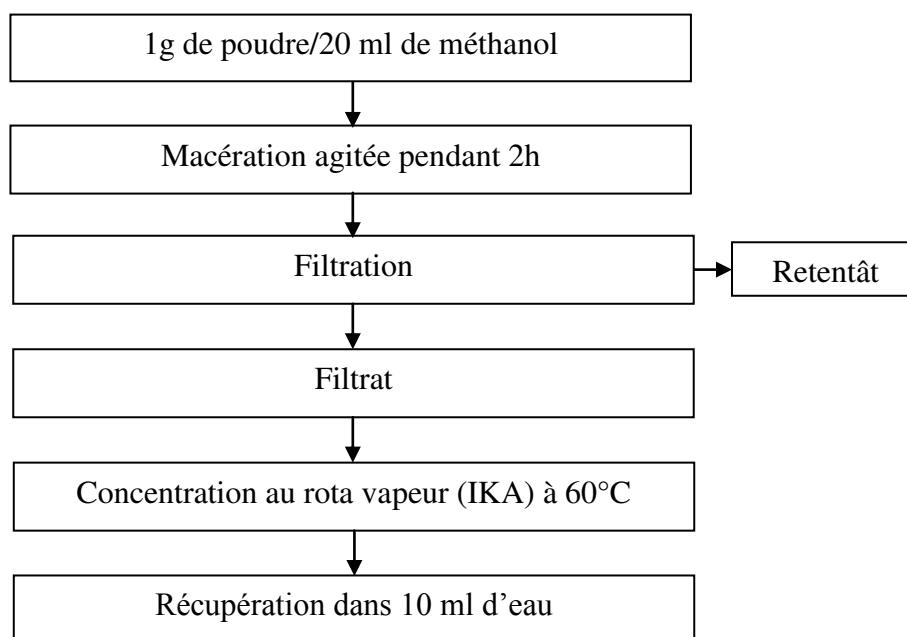


Figure 6 : Principales étapes d'extraction des polyphénols.

5.4.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux

- **Principe**

En présence de phénol, le mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et phosphomolibdique ($H_3PMO_{12}O_{40}$) est réduit en oxydes bleus de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (MO_8O_{23}), que l'on détermine par colorimétrie.

- **Mode opératoire**

Le dosage des polyphénols totaux est réalisé par la méthode décrite dans la littérature (Kamazawa et al., 2002 ; Singleton et al., 1999) avec quelques modifications mineures.

- **Préparation de la gamme d'étalonnage**

- Peser 2,5 mg d'acide gallique (AG).
- Les dissoudre dans 25 ml d'eau, soit une solution (S_1) avec une concentration de 0,1 mg /ml.

- Diluer la solution mère comme suit :
- Prélever 1ml de la solution mère puis ajouter 1 ml d'eau distillée et l'en obtient la dilution S/2 ;
- Prélever 1 ml de la solution S/2 puis ajouté 1ml d'eau distillée la dilution S/4 ;
- Refaire la même procédure pour les autres dilutions.

Le tableau 2 montre la gamme de dilution de l'acide gallique.

Tableau 1 : Préparation de la dilution de l'acide gallique (AG).

Dilution	S	S/2	S/4	S/8	S/16	S/32	S/64
AG, mg/ml	0,1	0,05	0,025	0,013	0,001	0,003	0,002

• **Traçage de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique**

- ✓ Prélever 1 ml de chaque dilution dans des tubes à essais.
- ✓ Ajouter 1 ml du réactif de Folin-ciocalteu dilué à 1/10.
- ✓ Après 3 mm, ajouter 1 ml de carbonate de sodium à 10%
- ✓ Incuber pendant une heure à température ambiante et à l'abri de la lumière.

Le blanc est représenté par 1 ml d'eau distillée additionné de 1 ml de Folin-ciocateu et 1 ml de carbonate de sodium à 10%. La lecture des absorbances est faite à 760 nm, après agitation et repos une heure. La concentration en composés phénoliques totaux est déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant l'acide gallique comme standard d'étalonnage. Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique par 100 g (mg EAG/100g) de poudre des matières premières.

5.5. Détermination de la teneur en caroténoïdes totaux

La teneur en caroténoïdes totaux est déterminée par la méthode de Lee (2001) avec quelques modifications. En bref, dans un tube à essai on met 1 g de la poudre puis on ajoute 10 ml de mixture hexane-acétone-éthanol (v/v/v; 50:25:25) préparée préalablement, le tube est agité au vortex à 200 t/mn pendant 30 mn à la température ambiante, puis centrifugé à 6500 t/mn pendant 5 minutes, le surnageant a été récupéré. L'absorbance a été mesurée à 450 nm. Le contenu de caroténoïdes a été exprimé comme équivalent de β-carotène selon la formule suivante :

$$C (\mu\text{g/g}) = \frac{\text{Abs}_{450} \cdot Fd \cdot 10^6 \cdot V}{3450 \cdot 100 \cdot P} \quad (15)$$

F_d : est le facteur de dilution ; V : est le volume de solvant d'extraction ; 3450 : est le coefficient d'extinction de l'hexane ; P : est le poids de la prise d'essai.

6. Mode et préparation de yaourt

La préparation de la formulation de yaourt a été faite au sein du laboratoire d'analyses physicochimiques de Laiterie-Fromagerie de Boudouaou (LFB), annexe de Rouïba.

Le mode d'élaboration est effectué manuellement conformément à la recette et au mode de préparation proposée par l'unité de production (LFB) avec certaines modifications imposés par les impératifs prescrits par les objectifs de l'étude.

6.1. Ingrédients utilisés

Les différents ingrédients utilisés pour élaborer un litre de yaourt sont rassemblés dans le tableau 2.

Tableau 2: Ingrédients (pour 1L) de la préparation du yaourt.

Ingrédient	Eau	Lait 0% ^(*)	Lait 26% ^(*)	Ferments ^(*)	Sucrose	PEO
Quantité	750 ml	80 g	60 g	1%	100 g	Variable

^(*)Lait en poudre à 0% de MG ; Lait en poudre à 26% de MG ; Ferments lactiques.

6.2. Mode et préparation

La préparation du yaourt brassé et aromatisé à bases de la poudre d'écorces d'orange a été réalisée en respectant le diagramme de fabrication montré en figure 7.

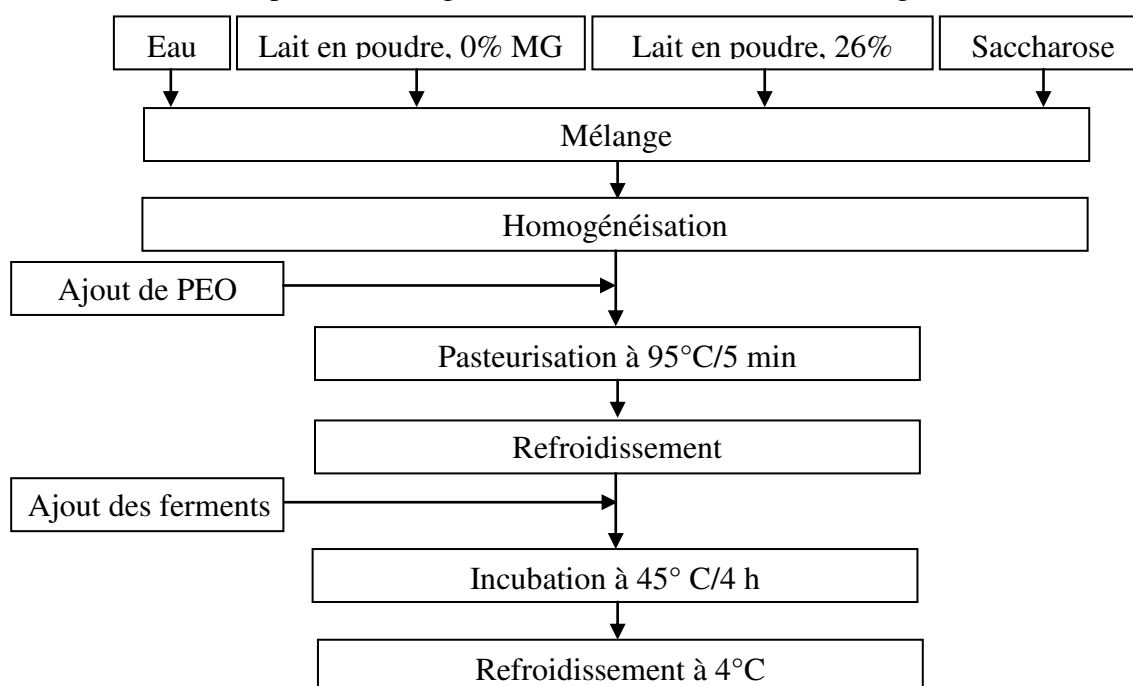


Figure 7 : Diagramme de préparation et d'enrichissement du yaourt brassé

7. Proportions de la poudre incorporées

Afin de vérifier l'effet des proportions de la poudre sur les propriétés physicochimique et sensorielles, un témoin a été préparé dans les mêmes conditions d'élaboration. Le Tableau 3 présente les différentes proportions de la poudre ajoutée.

Tableau 3 : Proportions de la poudre incorporées dans la masse de yaourt.

Dénomination	F0	F0,5	F1	F1,5	F2	F3	F4	F5
Proportion (% :g/100 g de mélange)	0	0,5	1	1,5	2	3	4	5
PEO (g)	0	0,5	1	1,5	2	3	4	5
Yaourt (g)	100	99,5	99	98,5	98	97	96	95
Mélange : yaourt + PEO (g)	100	100	100	100	100	100	100	100

(*)F0: formulation à 0%, F0,5: formulation à 0,5%, F1: formulation à 1%, F1,5: formulation à 1,5%, F2: formulation à 2%, F3: formulation à 3%, F5: formulation à 5%, F10: formulation à 10%.

8. Analyses des produits finis

Afin d'étudier l'impact de la poudre ajoutée sur les produits préparés, ces derniers ont été analysés sur les deux plans sensoriel et physicochimique.

8.1. Analyses sensorielles

L'analyse sensorielle est un test sensoriel qui pour but de vérifier l'acceptabilité des différentes préparations de yaourt par le consommateur au moyen d'un test hédonique.

Celui-ci a été réalisé dans le souci de mesurer le degré d'appréciation de deux critères organoleptiques des produits ; il s'agit du goût et de la couleur.

Dans ce test, on s'est servi d'une échelle de 9 niveaux allant de 1 à 9. Chaque niveau correspond à une catégorie bien définie comme la montre le Tableau 4. Pour cela, les échantillons préparés sont présentés au panel de dégustation constitué de 20 sujets amateurs dont l'âge est compris entre 24 et 50 ans. Il s'agit des étudiants et des enseignants de la faculté des sciences de l'ingénieur, université de Boumerdes ainsi que des employés de l'unité de production.

Tableau 4 : Echelle de l'évaluation organoleptique des différentes formulations.

Catégorie	Note
Extrêmement désagréable	1
Très désagréable	2
Désagréable	3
Assez désagréable	4
Ni désagréable Ni agréable	5
Assez agréable	6
Agréable	7
Très agréable	8
Extrêmement agréable	9

Le panel de dégustation est appelé à évaluer les échantillons codés en indiquant leur degré d'appréciation sur l'échelle de 9 niveaux. Les échantillons sont présents dans des contenants identiques, codés avec des codes de trois chiffres. Tous les échantillons sont présentés simultanément à chaque dégustateur. A la figure 7 est présenté le bulletin d'évaluation du degré d'appréciation par les dégustateurs.

<u>FICHE DU TESTE HEDONIQUE</u>			
NOM :		AGE :	
Veuillez évaluer chaque échantillon en donnant une note de 1 à 9			
<u>Goût</u>			
325	231	332	113
<u>Couleur</u>			
025	231	332	113
<u>Texteur</u>			
325	231	332	113

Figure 8 : Bulletin du teste hédonique

8.2. Analyse de la variance

Une Anova a été procédée pour mettre en exergue la signification des différences entre les résultats de l'analyse hédonique concernant les différentes préparations testées. L'analyse de la variance a été réalisée par le logiciel XL-Stat, 2009 en choisissant le test de Tukey dans la comparaison par paire avec un seuil de confiance de 95% (ou p de 0,5).

8.3. Analyses physicochimiques

Dans le but d'évaluer l'impact des matières ajoutées sur le produit fini et caractériser ce dernier, différents paramètres physicochimiques ont été analysés : le pH, l'extrait sec total (EST) et l'acidité.

8.3.1. Détermination du pH (AFNOR 36-16,1999)

- **Principe**

La mesure du pH est basée sur la différence du potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence.

- **Mode opératoire**

Pour déterminer le pH, une masse de 5 g de produit a été utilisé. Après l'étalonnage de l'appareil, nous avons procédé à la mesure de pH. Celle-ci a été effectuée en prolongeant directement l'électrode dans la masse du produit à la stabilisation de la valeur est notée directement à partir de l'écran de l'appareil.

8.3.2. Détermination de l'extrait sec total (EST) (AFNOR, 1986)

- ✓ **Principe**

L'EST est déterminé par la méthode d'étuvage qui est basée sur l'élimination de la totalité de l'eau dans l'échantillon.

- ✓ **Mode opératoire**

Dans une capsule séchée, une masse de 3 g de yaourt est placée dans une étuve à 105°C, pendant 2 heures. Ensuite, la capsule a été refroidie dans un dessiccateur jusqu'à température ambiante puis pesée. L'opération a été reprise plusieurs fois jusqu'au poids constant (différence entre deux pesées successives ne dépassent pas 0.005g). La teneur en matière sèche (en %) est égale à :

$$\text{EST}(\%) = (M_2 - M_0) / (M_1 - M_0) \times 100 \quad (16)$$

Où

M_0 : poids de la capsule vide ; M_1 : poids de la capsule + l'échantillon (g) ; M_2 : poids de la capsule + l'échantillon après dessiccation (g).

8.3.3. Détermination de la teneur en eau (l'humidité)

La teneur en eau du yaourt est calculée comme suite :

$$H = 100 - EST \quad (17)$$

H : Humidité :

EST : Extrait sec total (Matière sèche totale).

8.3.4. Détermination de l'acidité :

✓ Principe

Le principe consiste à mesurer la teneur en acides, elle est déterminée par titrage volumique à l'aide d'une solution alcaline en présence d'un indicateur coloré qui est la phénophtaléine. Elle est exprimée conventionnellement en gramme d'acide lactique par litre de l'échantillon ou en degré Doronic (D°).

✓ Mode opératoire

Dans un Bechar de 100 ml, d'échantillon, on ajoute 3 gouttes de phénophtaléine (rose en milieu basique et incolore en milieu acide), on place le bécher sous la burette graduée et on ajoute doucement à la burette une solution d'hydroxyde de sodium de normalité N/9, on titre jusqu'apparition persistante d'une couleur rose.

Expression des résultats

L'acidité renseigne sur le taux d'acides contenus dans le yaourt et est exprimée en degré Doronic (D°) (1°D correspond à 0,1 g d'acide lactique par litre de l'échantillon). Elle est déterminée selon la relation suivante :

$$\text{Acidité} = V * 10 \text{ (}^\circ\text{D)} \quad (18)$$

8.3.5. Détermination de la teneur en matières grasses (MG)

La détermination de la teneur en matières grasses a été effectuée par la méthode de Gerber. Cette dernière, dite acido-butyrometrique de Gerber, est basée sur la dissolution des protéines par addition d'acide sulfurique et la séparation de la matière grasse dans un butyromètre est favorisée par addition d'une petite quantité d'alcool iso-amylitique et par centrifugation.

✓ **Mode opératoire**

Un volume de 10 ml d'acide sulfurique ($d=1,82$) sont versés dans butyromètre au moyen d'un distributeur en évitant de mouiller le col, on ajoute 11 ml de yaourt à l'aide d'une pipette, puis on verse 1 ml d'alcool iso-amylitique ($d=1,52$) sur la surface de l'échantillon ; le butyromètre est bien fermé par un bouchon ; afin de favoriser la dissolution des protéines par l'acide sulfurique, des agitation et des retournements de haut en bas sont effectués soigneusement jusqu'à ce qu'un mélange homogène, soit obtenu ; sans laisser refroidir, on procède à une centrifugation par la centrifugeuse Funk Gerber pendant 10 mn et à 60°C .

✓ **Expression des résultats**

On tient le butyromètre bien vertical, l'ampoule vers le haut et on fixe le niveau inférieure de la phase lipidique avec une graduation (N_1), en tirant légèrement sur le bouchon, on lit ensuite la valeur (N_2) de la graduation qui correspond au point le plus bas ; la teneur en matière grasse (TMG) est exprimée en pourcentage (%) et donnée par la formule suivante :

$$\text{TMG} = (N_2 - N_1) \times 100 \quad (19)$$

Où

TMG : Teneur en matières grasses ; N_1 : valeur atteinte par le niveau inférieure de la colonne ; N_2 : valeur atteinte par le niveau supérieur de la colonne.

8.4. Analyse statistiques

Les analyses statistique des donnés ont été effectuées par le biais du logiciel Excel 2010. Les résultats sont présentés comme étant la moyenne d'au moins trois répétitions.

Pour rappel, l'objectif principal du présent expérimental est la préparation et la caractérisation par différentes analyses d'une formulation d'un yaourt brassé, aromatisée et enrichi avec de la poudre d'écorces d'oranges (var. Thomson) séchée. L'objectif de l'enrichissement est d'augmenter les propriétés nutritives et thérapeutiques du yaourt préparé.

Dans la présente partie seront présentés et discutés les résultats relatifs aux différentes analyses effectuées.

1. Caractérisation physique de la poudre

1.1. Granulométrie

La courbe montrées en figure 1 montrent la variation de la taille des particules constituant les poudres en fonction du pourcentage de son volume

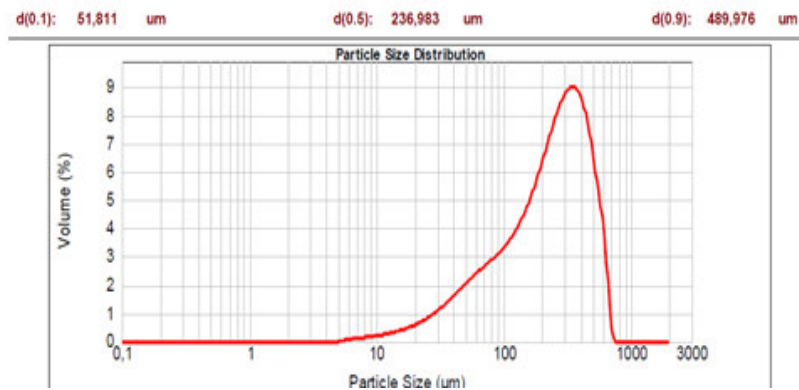


Figure 1 Distribution de la taille des particules de la poudre en fonction du volume.

L'analyse de courbe a révélé ce qui suit :

La valeur moyenne de la taille des particules contenues dans 10% du volume de l'échantillon est inférieure à 51,881 µm. La taille des particules du 50% du même volume est au-dessous de 236,98 µm, tandis que 90% de ce volume a une taille moyenne inférieure à 489,976 µm. La courbe de l'évolution de la taille des particules de poudre montre que la poudre d'orange est homogène, et la distribution de taille des ses particules montre une forme gaussienne. D'autre part, notre poudre montre une surface spécifique de l'ordre de 0,0531 m²/g.

Tableau 1 : Caractéristique des particules de poudre d'écorce d'oranges

% de volume	Taille des particules (μm)	Uniformité (%)	Surface spécifique (m^2/g)
10%	51,811	0,575	0,0531
50%	236,983		
90%	489,976		

Pour le reste des propriétés physiques de la poudre analysée, les résultats trouvés sont regroupés dans le tableau 2.

Tableau 2 Quelques propriétés physiques de la poudre d'écorces d'oranges.

Paramètre		Moyenne
Masse volumique apparente (kg/m^3)		0,42
Masse volumique réelle (kg/m^3)		0,616
porosité (%)		31,80
Indice d'écoulement	Tang α	0,575
	α ($^\circ$)	29,89
Indice de mouillabilité (S)		5,4

1.2. Densités et porosité

On rappelle que la densité et la porosité sont des propriétés qui peuvent trouver leur importance dans différentes phases de au sein de la chaîne de production, particulièrement au niveau de la phase de conditionnement, stockage et aération (séchage) des poudres.

La densité apparente et la porosité sont affectées principalement par la taille et la forme des particules d'une masse quand elle est réduite en particules de petite taille.

Les particules constituant la poudre analysée dans notre étude présentent une densité apparente et densité réelle voisinant respectivement $0,42 \text{ kg}/\text{m}^3$ et $0,616 \text{ kg}/\text{m}^3$, cela donne par

conséquent un taux de porosité de 32%. Ceci explique que 32 % de la masse apparente des particules est sous forme de vide inter-particules.

1.3. Indice d'écoulement (angle de repos)

Cet angle indique directement la fluidité potentielle d'un produit : plus l'angle d'un produit sec est faible, plus le produit est fluide et plus l'indice de fluidité est élevé (et réciproquement). La forme des particules, leur distribution granulométrique, la porosité et la capacité de cohésion, etc. influent sur l'angle de repos.

1.4. Indice de mouillabilité

L'indice de mouillabilité est le temps, en seconds, nécessaire pour atteindre le mouillage complet.

La poudre analysée dans cette étude présente un indice de mouillabilité de 5,7 secondes. Cette valeur indique que la poudre est très mouillable. Selon la littérature (**Schuck et al., 2012**). Différentes classes peuvent être distinguées selon la valeur du IM :

- IM < 30 s : Poudre est très mouillable ; -IM <60 s : Poudre est mouillable ; -IM <120 s : mouillabilité possible ; -IM > 120 s : Poudre non mouillable.

2. Caractérisation physicochimique de la poudre

2.1. Teneur en eau

La figure 2 montre les teneurs en eau et en matières sèches de la poudre d'écorces d'oranges utilisée dans la présente étude.

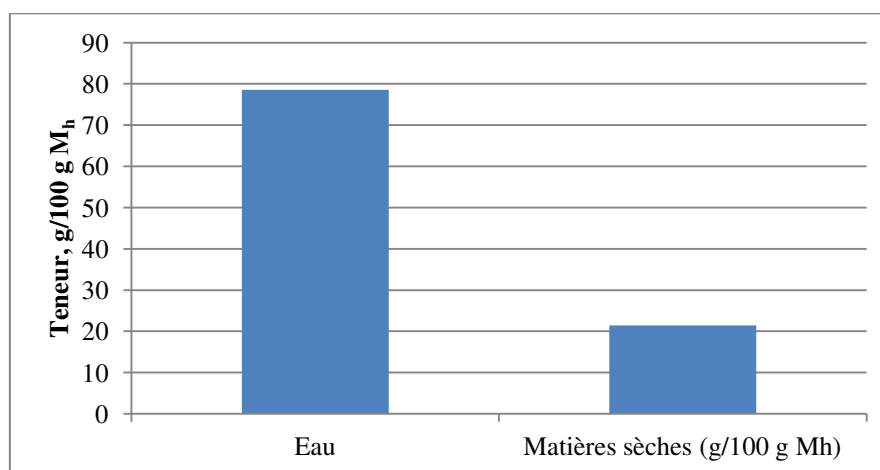


Figure 2 Teneurs en eau et en matières sèches des écorces d'oranges.

Comme l'indique la figure 1, les écorces fraîches analysées dans notre étude se caractérisent par une teneur en eau dépassant les 78 g/100 g M_h, valeur semble très élevée comparativement aux limites exigée pour une bonne conservation des aliments, ce qui constitue un facteur favorable au déclenchement des différents mécanismes d'altération telles que le développement des microorganismes, l'activité enzymatique. De ce fait, une stabilité des écorces fraîches par déshydratation semble nécessaire.

Les résultats obtenus dans cette étude sont comparables à ceux rapportés par (Fiagnerola *et al.*, 2005 ; Marin *et al.*, 2007).

La masse sèche constitue la partie qui renferme des différentes substances responsables des propriétés nutritionnelles et/ou fonctionnelles indispensables dans notre alimentation telles que les vitamines, les matières grasses, les protéines, les minéraux et les composants bioactifs. Ce qui fait que celle-ci soit une part capitale dans le processus d'enrichissement.

2.2. pH et acidité titrable

Comme l'indique la figure 3, la poudre d'écorces d'oranges possède un pH acide dont la valeur moyenne est proche de 5,4. La valeur du pH obtenue dans cette étude et qui caractérise la poudre d'orange est comparable à celle trouvée par (Kammoun *et al.*, 2011).

Le pH c'est un paramètre qui exprime l'acidité potentielle des matières c'est-à-dire la présence des éléments chimiques à caractère acide.

Selon la littérature, ces acides se trouvent diversifiés en quantité et qualité dans la poudre d'écorce d'orange.

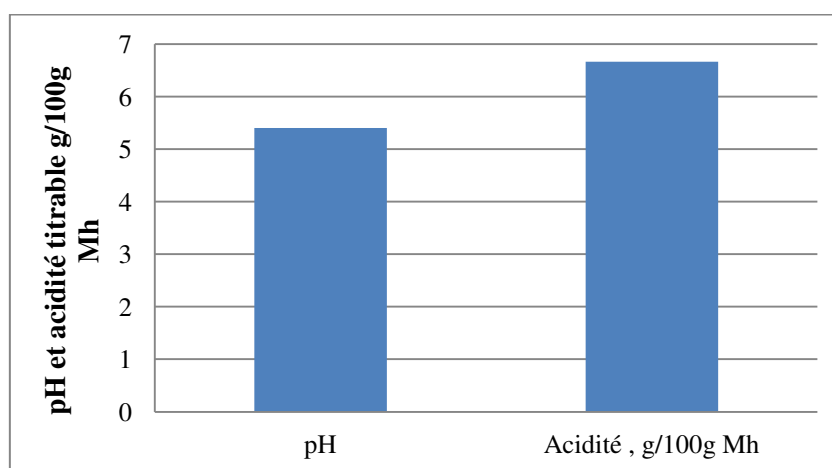


Figure 3 : pH et acidité titrable des écorces d'oranges.

Quant à l'acidité titrable, ce paramètre a révélé que la poudre analysée constitue une source non négligeable d'acides organiques, en présentant un taux d'acides qui voisine 6 g/100 g M_h .

L'acidité trouvée dans notre étude semble supérieure à celle communiquée par (Cheynier et al., 2006 ; Ghasemi et al., 2009)

La composition en acides organiques peut être influencée par divers facteurs comme la variété, les conditions de croissance, la maturité, l'origine géographique, la fertilisation, le type de sol, la condition de stockage, le taux d'exposition au soleil et la période récolte.

Selon la littérature, ces acides se trouvent diversifiés en quantité et qualité dans le type de fruit.

2.3. Les cendres

La figure 4 montre la teneur en cendres et celle en matières organiques contenues dans la poudre utilisée dans la présente étude.

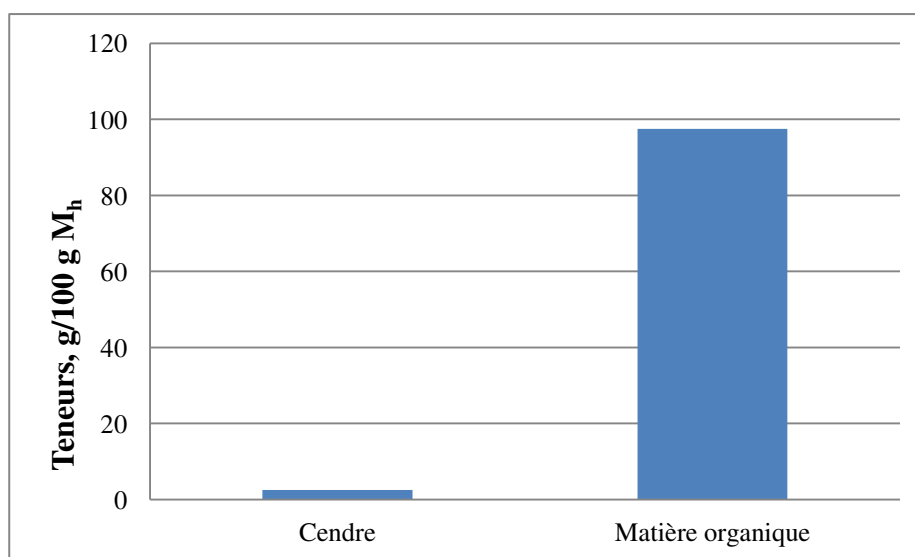


Figure 4 Teneurs en cendres et en matières organiques de la PEO

Il est connu que le taux de cendres est la quantité totale en sels minéraux présents dans un échantillon et qui reste après incinération à température élevée. La teneur moyenne trouvée dans la présente étude et qui caractérise la poudre analysées est l'ordre de 3 % du poids humide.

Notons que le taux en cendres contenues dans la poudre d'écorces d'oranges semble inférieure à celui rapporté par (Ghanem et al., 2012).

2.4. Cinétique du séchage

La figure 5 montre la variation de la teneur en eau résiduelle (W , g/100 g M_h) des écorces d'orange à différentes températures.

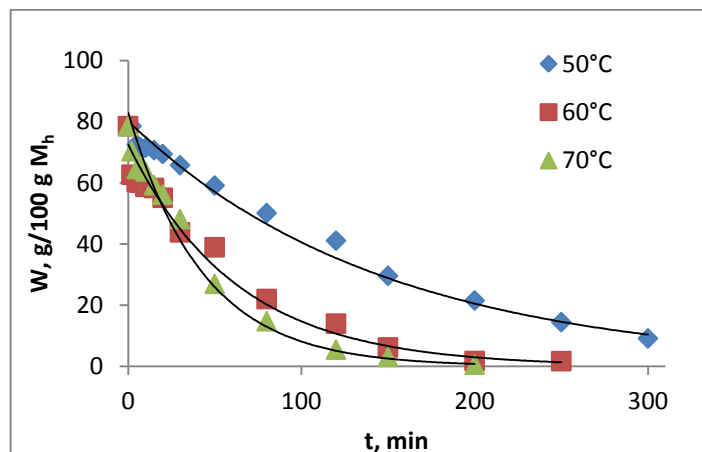


Figure 5 Cinétique de séchage des écorces d'oranges (v. Thomson).

Comme le montre la figure 5, il est clair de constater, pour les différentes températures, l'allure parabolique de l'évolution de la teneur en eau résiduelle lors des séchages des écorces. En effet, la teneur en eau est passée d'une valeur initiale ($W_0 = 4,364$ g / 100 g M_h) à des valeurs finales ($W_{50^\circ C} = 4,511$ g /100g M_h ; à $W_{60^\circ C} = 1,741$ g/100g M_h , désignant ainsi les valeurs limites (d'équilibre) signifiant qu'au-delà de ces valeurs, on ne peut plus éliminer l'eau.

Il faut rappeler que l'allure de la courbe de séchage est influencée particulièrement par la surface de contact produit/air et l'épaisseur du produit à sécher plus la surface est élevée et l'épaisseur est faible, plus on aura une forme parabolique définissant décrite mathématiquement par une fonction exponentielle.

2.4.1. Modélisation de la cinétique de séchage

La modélisation de la cinétique du séchage c'est de décrire les données obtenues expérimentalement avec un modèle mathématique. L'approche, ici, consiste à décrire l'évolution de la teneur en eau résiduelle dans les écorces en fonction du temps suivant l'équation (10) citée dans le chapitre précédent 5.3.

Les figures 6 illustrent la modélisation de la cinétique du séchage aux différentes températures appliquées.

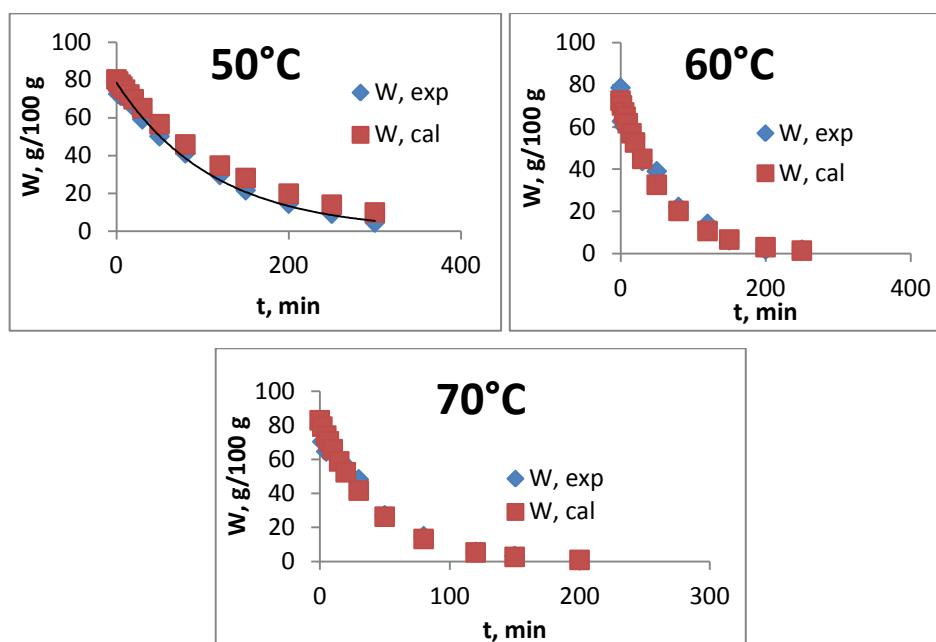


Figure 6 Progression exponentielle de la cinétique du séchage des écorces d'oranges
(W, exp. : valeur expérimental ; W, cal. : valeur calculée)

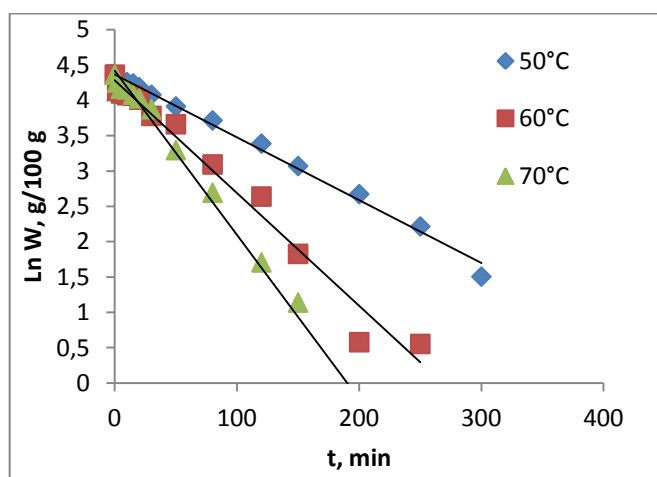


Figure 7 Progression linéaire de la cinétique du séchage des écorces d'oranges.

Le tableau 3 regroupe les valeurs de la constante de vitesse de séchage et du coefficient de corrélation (R^2) déterminées aux différentes températures appliquées. L'évolution de la teneur en eau en fonction du temps semble bien décrite par le modèle proposé, vu les valeurs élevées du coefficient de corrélation ($R^2 > 0,95$). Ceci est confirmé par la superposition quasi parfaite constatée entre les résultats prédits et ceux expérimentaux (figure 7).

Tableau 3 Constante K_s du séchage des écorces d'oranges (V.Thomson)

T, °C	Progression linéaire	K_s , g/100 g. S ⁻¹	R ²
50	$\text{Ln } w = -0,0089 + 4,364$	0,0089	0,9935
60	$\text{Ln } w = -0,0159 + 4,364$	0,0159	0,9773
70	$\text{Ln } w = -0,0233 + 4,364$	0,0233	0,9917

2.4.2. Effet du temps sur la vitesse de séchage

L'effet du temps de séchage s'exprime par le paramètre D_s signifiant le temps de réduction décimale ou le temps nécessaire à réduire la teneur en eau de 90%. D_s est déterminée à partir de la relation suivante :

$$D_s = 2,303/K_s \quad (18)$$

Les valeurs du D_s sont regroupées dans le tableau 4.

Tableau 4 Temps de réduction décimale (D_s) inhérente au séchage des écorces d'oranges.

T, °C	D_s (min)
50	258,764
60	144,842
70	98,841

Le paramètre D_s exprime la sensibilité des aliments au séchage (à la température) : plus D_s est faible plus l'aliment est très sensible et vice-versa. Dans la présente étude, la valeur du D_s évolue inversement à la température en variant de 258,764 min (50°C) à 98,841 min (70°C).

2.4.3. Effet de la température sur la vitesse de séchage

L'effet de la température sur le séchage est exprimé dans la présente étude par trois paramètres :

a / Le coefficient de température

Le coefficient de température (Q_{10}) est le rapport entre la vitesse de séchage à $T+10\text{ °C}$ et T . Il peut être déterminé par la formule suivante :

$$Q_{10} = K_{s2}/K_{s1} \tag{19}$$

Où : K_{s1} : Constante de vitesse à la température T ; K_{s2} : Constante de vitesse à la température $T+10\text{°C}$.

Dans cette étude, Q_{10} était la moyenne entre Q_1 et Q_2 tel que :

$$Q_1 = K_{60\text{°C}}/K_{50\text{°C}} \tag{20}$$

$$Q_2 = K_{70\text{°C}}/K_{60\text{°C}} \tag{21}$$

b/ Le concept Z

C'est l'augmentation de température qui permet de réduire le temps de 90%. Il est déterminé à partir de la relation suivante :

$$Z = 10/\text{Log}_{10}(Q_{10}) \tag{22}$$

c/ L'énergie d'activation

L'énergie d'activation (E) est déterminée par la relation d'Arrhenius suivante :

$$\text{Ln } K_s = \text{Ln } K_{s0} - (E/R) (1/T) \tag{23}$$

Où : K_{s0} : Constante pré-exponentielle correspond ; R : Constante des gaz parfaits ($R=8,314\text{ l.atm/K.mol}$) ; T : la température en Kelvin.

L'énergie E est déterminée graphiquement en traçant $\text{Ln } K$ en fonction de l'inverse de température (T, K) (Figure 8)

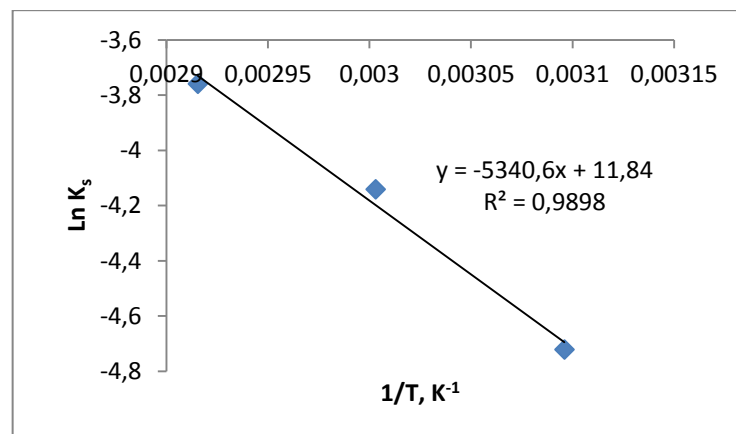


Figure 8 Graphique de la détermination de l'énergie d'activation.

Les résultats qui correspondent aux paramètres de l'effet de la température appliquée sur le séchage des écorces d'oranges sont regroupés dans le tableau 5

Tableau 5 Effet de la température sur le séchage des écorces d'oranges.

E (Kcal)	Q₁₀	Z (°C)
44,402	1,625	47,368

Rappelons que l'énergie d'activation est la quantité d'énergie nécessaire (minimale) à initier l'enlèvement de l'eau depuis les écorces.

L'énergie d'activation, le coefficient de température et le concept Z sont tous des paramètres qui expriment la sensibilité à la température.

Comme l'indique le tableau 5, pour que l'élimination de l'eau contenue dans les écorces d'oranges (v. Thomson) par étuvage initie, elle a besoin d'une énergie d'activation de 44,402. Cette élimination d'eau se caractérise par un Q₁₀ de 1,625 et un Z de 47,368.

2.5. Polyphénols et caroténoïdes

La quantité des polyphénols et caroténoïdes totaux contenus dans la PEO est présentés dans le tableau 6

Tableau 6 teneurs en polyphénols et caroténoïdes totaux contenus dans la PEO.

Paramètre	Résultats
Polyphénols (mg EAG/g Mh)	35
Caroténoïdes (µg/g)	175,362

La poudre analysée présentent une concentration en composés phénoliques et qui avoisine les 35 mg/g la valeur indique que l'écorce utilisée constituent une source non négligeable des polyphénols.

Notons que les polyphénols est un ensemble de métabolites secondaires des végétaux appartenant à la même famille dont la structure de bases est le phénol. Ils sont au nombre très élevé de substances hétérogènes regroupant des flavonoïdes, des esters et acides phénoliques....

Selon la littérature, les polyphénols sont doués d'une multitude de propriétés biologiques tels que l'activité antioxydante, l'activité antimicrobienne, l'activité antidiabétique....

Quant aux caroténoïdes, les écorces analysées comportent un taux de caroténoïdes très élevé en dépassant les 9 valeurs qui proche à celle communiquée par (**Meléndez-Martinez, 2007**)

Pour rappel, les caroténoïdes regroupent les molécules des carotènes et des xanthophylles. Ils sont des pigments (Liposolubles) plutôt orange et jaunes répandus chez de très nombreux organismes vivants (plantes, algues, quelques bactéries, champignons). Ils sont doués de plusieurs activités biologiques telles que l'anti-oxydation due au fait qu'ils sont polyinsaturés et hautement conjugués, et ils absorbent facilement la lumière, dans le bleu en général.

3. Analyses des produits préparés

3.1. Analyses sensorielles

Les résultats concernant la notation du degré d'appréciation donnée par le panel d'évaluation des différentes formulations sont regroupés dans les tableaux 7 et 8.

Tableau 7 Evaluation sensorielle de la couleur du yaourt enrichi.

Panel	F0 ^(*)	F0,5	F1	F1,5	F2	F3	F4
1	9	5	7	6	6	5	5
2	9	4	6	7	8	9	7
3	9	7	6	5	5	4	3
4	8	4	4	5	6	7	8
5	9	5	5	6	4	4	4
6	8	4	4	4	5	5	3
7	8	3	4	6	4	4	6
8	8	2	3	4	5	6	3
9	8	2	2	2	4	5	6
10	8	2	4	5	6	6	6
11	8	2	2	2	4	8	5
12	8	9	8	8	8	3	8
13	8	8	7	4	3	6	5
14	8	5	7	7	6	7	8
15	8	5	5	6	6	6	8
16	8	3	4	6	6	6	5
17	8	5	5	5	6	6	7
18	7	4	4	5	6	6	7
19	8	3	4	5	8	7	6
20	8	5	5	4	6	7	7

F0^(*): Formulation à 0%, F0,5 :la formulation à 0.5%, F1 : formulation à 1%, F1,5 : formulation 1,5%, F2 formulation à 2%.

Tableau 8 Evaluation du goût de yaourt enrichi avec la poudre d'écorces d'orange.

Panel	F0 ^(*)	F0,5	F1	F1,5	F2	F3	F4
1	9	7	7	6	6	6	2
2	9	8	9	7	7	6	5
3	9	9	9	8	8	7	7
4	9	3	2	8	5	7	6
5	9	2	4	7	4	3	2
6	9	6	6	7	4	3	4
7	9	2	5	6	5	3	2
8	9	3	5	7	5	2	3
9	9	3	4	6	5	3	2
10	9	7	6	8	5	2	2
11	9	6	6	6	4	4	4
12	9	9	9	8	2	7	5
13	9	7	7	7	6	3	5
14	9	6	4	8	5	1	1
15	9	7,5	7	7	8	3	3
16	9	2	3	7	4	4	5
17	9	7	7	8	1	3	2
18	9	7	7	8	6	4	3
19	9	8	8	6	4	4	4
20	9	6	6	8	4	3	3

(*)F0 : Formulation à 0% ; F0,5 :la formulation à 0.5% ; F1 : formulation à 1%, F1,5 : formulation 1,5% ; F2 formulation à 2% ; F3 : formulation à 3% ; F4 : formulation à 4% .

3.2. Analyse de la variance des résultats des tests sensoriels

Pour rappel, afin de mettre en exergue la signification des différences entre les scores donnés par le panel d'appréciation du goût et la couleur des différentes formulations, une Anova a été procédée au biais du logiciel XL-Stat (2009) et qui consiste à comparer par pair les produits enrichis à celui non enrichi (témoin).

Selon l'Anova (Tableau 7,8) seule la différence entre la formulation témoin (F0) et la formulation (F0, 5) qui est non significative et ce aussi bien pour la couleur que pour le goût, les autres comparaisons ont révélé des différences significatives. Cela explique que l'ajout d'au-delà de 0,5 % de poudre affecte significativement le goût et l'aspect du produit fini qui, par conséquent, devient moins apprécié par le jury d'évaluation. D'autre part, et selon la figure 10, le produit enrichi semble agréablement apprécié par le panel.

Tableau 9 Analyse des différences de couleur entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95%.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
F0vs F0, 5	0,195	0,438	3,074	1,000	Non
F0 vs F1	3,305	7,426	3,074	< 0,0001	Oui
F0 vs F1,5	3,005	6,752	3,074	< 0,0001	Oui
F0 vs F2	2,505	5,629	3,074	< 0,0001	Oui
F0vs F3	2,255	5,067	3,074	< 0,0001	Oui
F0 vs F4	2,255	5,067	3,074	< 0,0001	Oui
F0 vs F5	2,255	5,067	3,074	< 0,0001	Oui

Tableau 10 Analyse des différences de goût entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95%.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
F0 vs F5	6,200	12,915	3,074	< 0,0001	Oui
F0 vs F4	5,500	11,457	3,074	< 0,0001	Oui
F0 vs F3	5,100	10,624	3,074	< 0,0001	Oui
F0 vs F2	4,100	8,541	3,074	< 0,0001	Oui
F0 vs F1	2,950	6,145	3,074	< 0,0001	Oui
F0vs F1,5	1,850	3,854	3,074	0,004	Oui
F0 vs F0,5	1,250	2,604	3,074	0,163	Non

(*)F0 :formulation à 0% , F0,5 :formulation à 0, 5% , F1 :formulation à 1%, F1,5 :formulation à 1,5% , F2 : formulation à 2% , F3 :formulation à 3% , F4 : formulation à 4%, F5 : formulation à 5%.

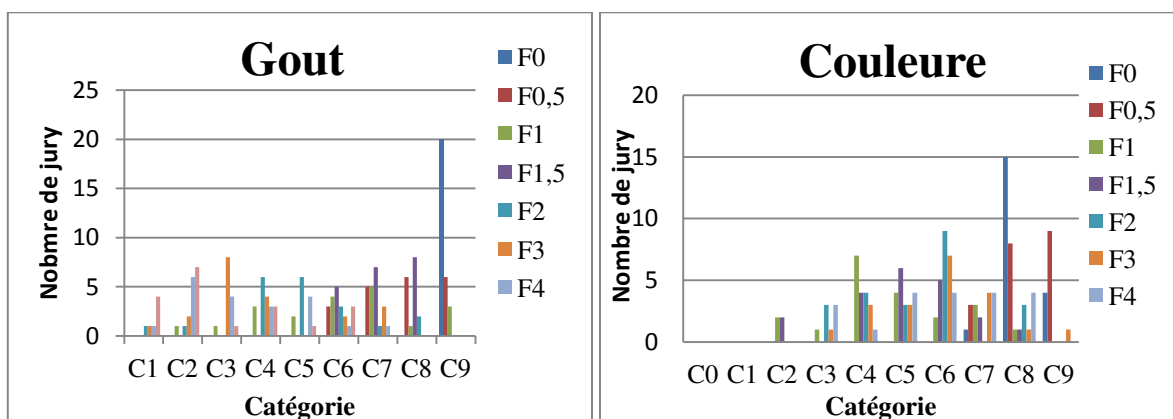


Figure 9 Degrés d'appréciation des produits élaborés.

3.3. Analyses physicochimiques du produit préparé

3.3.1. Le pH

La figure 10 illustre les résultats du pH des différentes formulations préparées.

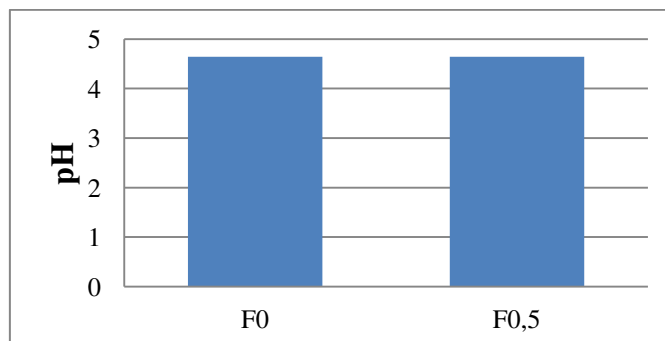


Figure 10 : pH de la formulation de yaourt préparé

D'après la figure 10 et selon le test d'Anova, l'ajout de 0,5 % est sans effet significatif ($p < 0,05$) sur le pH du yaourt. De ce fait, la quantité de poudre ajoutée semble insuffisante pour changer le pH du produit fini et ce bien que cette matière se caractérise par une légère acidité potentielle traduite par un pH faiblement acide.

D'autre part, le yaourt préparé semble avoir un pH qui concorde avec la norme (4,4 à 4,7) tolérée par l'entreprise.

3.3.2. L'acidité

La figure 11 montre les résultats de l'évaluation de l'acidité titrable caractéristique aux différentes formulations préparées

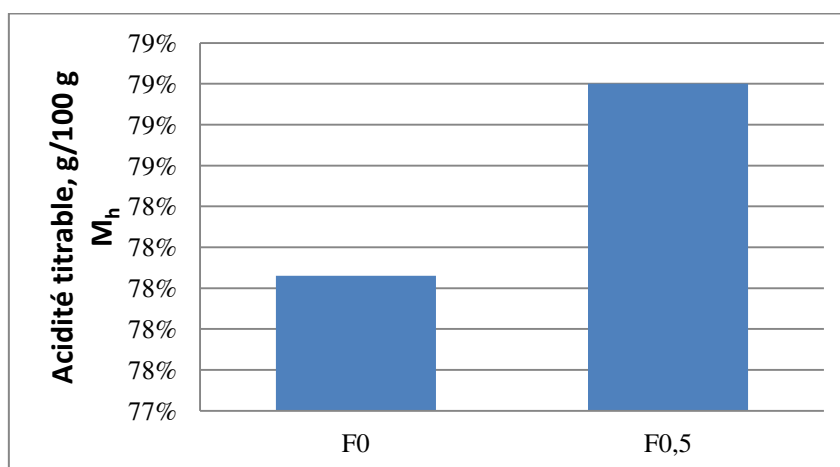


Figure 11 Acidité titrable du yaourt préparé

Comme on le constate sur la figure 11, l'enrichissement du yaourt avec 0,5 % de poudre n'a pas d'impact significatif sur le taux d'acides organiques contenus dans le yaourt, selon l'Anova. Ceci peut être expliqué par la faible quantité de poudre incorporée bien qu'elle en contienne une valeur non négligeable.

3.3.3. L'extrait sec total

Les résultats de la quantification de l'extrait sec total EST caractérisant la différente formulation de la crème préparé sont présentées par la figure 12.

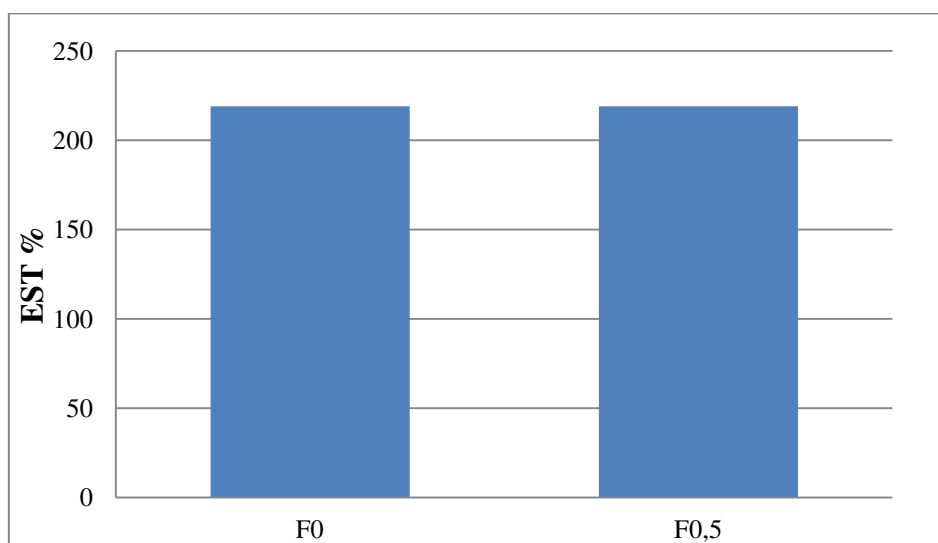


Figure 12 Extrait sec total (%) contenu dans le yaourt préparé.

A l'instar des paramètres précédents, l'EST du yaourt reste sans changement significatif après l'incorporation de la poudre. Bien que la poudre d'écorces d'orange soit composée d'un taux élevé en matières solides provoqué par l'opération de déshydratation, toutefois la teneur en ces matières solides dans le yaourt reste constante. Ceci est dû à la faible proportion de la poudre ajoutée.

Il faut souligner que lors de l'enrichissement, les particules solides se diffusent depuis la matrice du végétal vers le milieu du yaourt par phénomène d'osmose qui tient en compte la différence des concentration en substances entre les deux milieux ; il est connu que les matières solubles passent d'un milieu plus concentré à un milieu moins concentré.

D'autre part, et de point de vu extrait sec total, le yaourt élaboré s'avère concorde avec la norme (218%) tolérée par l'entreprise (FLB).

Rappelons que l'extrait sec total représente la fraction solide qui renferme des substances diversifiées responsables de la valeur alimentaire et thérapeutique des aliments

fonctionnels. L'addition de la poudre au yaourt pourrait accroître le taux de sa fraction solide, et par conséquent, ses propriétés fonctionnelles.

3.3.4. Matières grasses

Les résultats de la quantification des matières grasses sont montrés en figure 13.

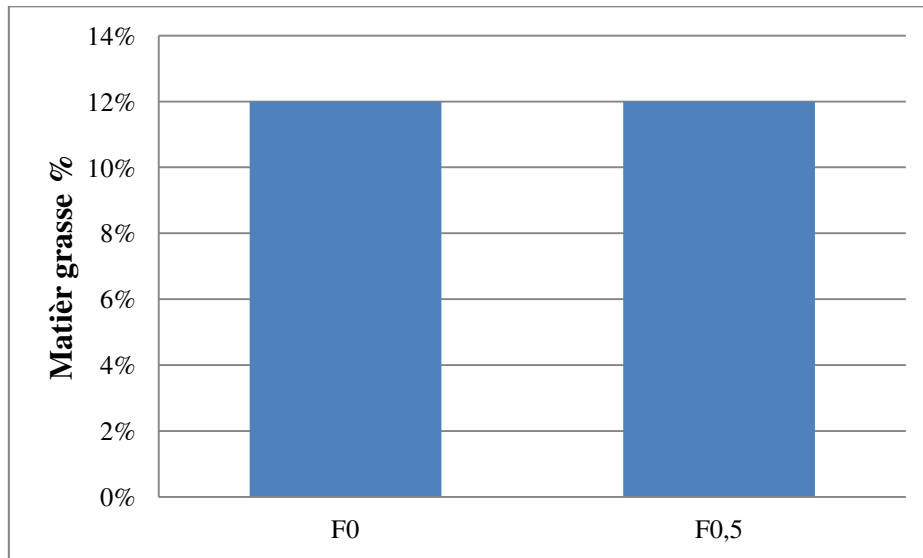


Figure 13 Matières grasses contenues dans le yaourt.

Comme l'indique la figure 14 le yaourt préparé possède une teneur en matières grasses voisinant les 10% et que l'ajout de la poudre ne provoque aucun effet significatif sur cette valeur. Cela peut revenir d'une part à la quantité faible de poudre ajoutée, d'autre part à la pauvreté en matières grasses des écorces d'oranges ; les matières grasses contenues dans la crème proviennent essentiellement du lait utilisé.

Conclusion générale

Pour rappel, le présent travail porte essentiellement sur l'élaboration et l'analyse, d'une formulation d'un yaourt brassé, aromatisée et enrichi avec la poudre d'écorces d'oranges (var. Thomson) sèches.

Il a été conclu ce qui suit :

- La caractérisation physique a mis en évidence que la poudre d'écorces d'oranges a une tendance d'un écoulement fluide selon ce qu'a indiqué la détermination de l'indice d'écoulement ($29,89^\circ$) et qu'elle est une poudre très mouillable selon son indice de mouillabilité inférieure à 30 secondes.

D'après les résultats d'analyses physicochimiques, la poudre d'écorces d'oranges est une source non significatif d'acides organiques (6g/100 g Mh), de minéraux, exprimés sous forme de cendres (3%) et de caroténoïdes ($175,3623\mu\text{g/g}$).

- Pour les différentes températures appliquées, la cinétique de séchage des écorces d'oranges peut être décrite par le modèle cinétique qui correspond au premier ordre réactionnel selon les valeurs élevées du R^2 ($>0,977$) montrant ainsi la fonction exponentielle de l'évolution du séchage dans le temps.

- Le séchage des écorces se caractérise par un temps de réduction décimale variant, selon la température, de 258,7 min (à 50°C) à 98,84 min (à 70°C). Elle est caractérisée également par 1,625 comme coefficient de température, par $47,368^\circ\text{C}$ comme paramètre Z et par 44,402 Kcal comme énergie d'activation.

- Les analyses sensorielles ont révélé qu'au de-là de certaine quantité ajoutée ($> 0,5\%$) d'écorces d'oranges sèches, les produits enrichis peuvent présenter des propriétés organoleptiques (goût, couleur) significativement différentes que le produit témoin : le produit enrichi devient moins apprécié. D'autre part, le yaourt élaboré est inacceptable par les dégustateurs pour des proportions élevées ($> 3\%$).

- L'ajout de 0,5 % d'écorces d'oranges sèches sous forme de poudre dans la masse du yaourt est sans impacts significatifs sur les propriétés physicochimiques analysées. L'effet sur ces paramètres physicochimiques étant indétectable pour cette quantité.

En terme de perspectives, il serait intéressant de compléter cette étude, notamment, par :

- Elaboration de la formulation de la présente étude à l'échelle pilote ;
- Approfondir la recherche en élargissant la détermination d'autres paramètres physicochimiques pour mieux caractériser et évaluer l'effet de l'incorporation sur le produit fini ;

Conclusion

- Vérifier les propriétés fonctionnelles susceptibles d'être associées au produit enrichi à travers des essais *in vivo* ou cliniques, notamment la formulation correspondante à l'addition de 0,5% de poudre d'écorces.

*Références
bibliographique*

AFNOR 1982 : recueil des normes Françaises des produits dérivés des fruits et légumes, jus de fruit Ed . AFNOR

AFNOR-1986 : contrôle de qualité des produits laitiers. Analyse physique-chimique

AFNOR , 2002 a et b : Recueil normes et réglementation agroalimentaires. Microbiologie alimentaire 8^{ème} édition. Impression Brochage. S'-Just-La-Pendue.

A.Jawad and T. A. G. Langrish., 2012: Optimisation of total phenolic acids extraction from mandarin peels using microwave energy: The importance of the Maillard reaction, J. Food Eng. **109.162-174**

ALAIS. C (1984) : Physique et physico-chimique du lait. Les effets des traitements technologiques. In : science du lait principes des techniques laitières. Edition SEPAIC. Paris. Page 247-310.

AMELLAL.R(2000) : La filière lait dans l'Algérie : entre l'objectif de la sécurité alimentaire et la réalité de la dépendance. Département économique. Rurale INA EL Harrach. Alger.

ANONYME (1995) : Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Collection FAO alimentation et nutrition.

B. B. Li, B. Smith, M. D. M. Hossain., 2006 Extraction of phenolics from citrus peels I. Solvent extraction method, Sep. Purif. Technol.48.182-188

Bocco, M. E. Cuvelier, H. Richard, C. Berset., 1998 : Antioxidant activity and phenolic composition of citrus peel and seed extracts, J. Agric. Food Chem.46.2123-2129

BEAL. C, SODINI. I(2003) : Fabrication des yaourts et des laits fermentés. Technique de l'ingénieur. F. Article F6315.

BERGAMAIER. D (2002) Production d'exopolysaccharides par fermentation avec des cellules immobilisées de lactobacillus rhamnosus RW- 959M dans un milieu à base de permeat de lactosérum. Thèse de doctorat. Université de laval. Canada.

Bimbenet, Jean-jaques, Duquenoy.albert , Trystram.Gilles,Guinot.François 2007 génie des procédés alimentaire : des bases aux applications.644

CACALIS. J (1975) : Facteurs technologiques influencent la consistance, la texture, l'arôme et le goût du yaourt. Industries alimentaires et agricoles, 92(11).Page 126-128.

COURTIN. P,MONNET. M, RUL .F (2000): Cell-wall proteinases prt_s and prt_β have a different role in Streptococcus thermophilus /Lactobacillus bulgaricus mixed cultures in milk. Microbiology, 148. Page 3413-3421.

Cheyrier, V., Sarni-Manchado, P., 2006 : Les polyphénols en agroalimentaire. 50-59. Lavoisier-Tec & Doc, Paris.

FAO: Food and Agriculture Organization. Statistical Databasesm 2012. (www.FAO.org Accessed 19.07.13).

Figuerola, F., Hurtado, M.L., Estevez, A.M., Chiffelle, I., Asenjo, F., 2005. Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*. 91, 395-401.

Ghasemi, K., Ghasemi, Y., EbrahimZadeh, M.A., 2009. Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of 13 citrus species peels and tissues. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*. 22, 3, 277-281.

Ghanem, N., Mihoubi, D., Kechaoua, N., Boudhrioua Mihoubi, N., 2012. Microwave dehydration of three citrus peel cultivars: Effect on water and oil retention capacities, color, shrinkage and total phenols content. *Industrial Crops and Products*. 40, 167-177.

K. Ashok kumar, M. Narayani, A. Subanthini, M. Jayakumar., 2011 Antimicrobial Activity and Phytochemical Analysis of Citrus Fruit Peels -Utilization of Fruit Waste, Inter. J. Eng. Sci. Technol.,3.5417-5421

K. Hosni, N. Zahed, R. Chrif, I. Abid, W. Medfei, M. Kallel, N. Ben Brahim, H. Sebei., 2010. Composition of peel essential oils from four selected Tunisian Citrus species: Evidence for the genotypie influence, *Food Chem* **123**. 1098–1104

.Kammoun Bejar, A., Ghanem, N., Mihoubi, D., Kechaou, N., Boudhrioua Mihoubi, N., 2011. Effect of Infrared Drying on Drying Kinetics, Color, Total Phenols and Water and Oil Holding Capacities of Orange (*Citrus Sinensis*) Peel and Leaves.

LEORY. F, DEGEEST. B, DE VUYST. L (2002) : a Novel area of predictive modeling describing the functionally of beneficial micro-organism in foods. *International journal of Food Microbiology*, 73. Page 251-259.

LUQUET.F.M,GEORGERS. C (2005): Bactéries lactique et pro-biotiques. Technique et documentation lavoisier. Londres, Paris, New york. Page 27, 43, 45, 57, 63, 64, 66.

Moulehi, S. Bourgou, I. Ourghemmi, T. M. Saidani, ., 2012, Variety and ripening impact on phenolic composition and antioxidant activity of mandarin (*Citrus reticulate* Blanco) and bitter orange (*Citrusaurantium* L.) seeds extracts, *Ind. Crops Prod.* ;39.74-80

Meléndez-Martinez, A.J., Vicario, I.M., Heredia, F.J., 2007. . Critical Review Review: Analysis of carotenoids in orange juice, *Journal of Food Composition and Analysis*. **20**, 638-649

Marin, F.A., Soler-Rivas, C., Benavente-Garcio., Castillo, J., Perez-Alvarez, J.E., 2007. By-products from different citrus processes as a source of customized functional fibres.

MICHE. M ET al, (2000 ;) : Les produits industriels laitiers. Technique et documentation Lavoisier.Paris.Page 34-45.

MARTY-TEYSSAT et al,(2000) : Increased production of hydrogen peroxide by *Lactobacillus delbrueckii* ssp *bulgaricus* upon aeration in volvement. *Applied and environmental microbiology*, 66 (1) .Page 262-267.

Pierre Schuck, Amme Dolivet, Romain Jeantet.,(2012).les poudres laitières et alimentaire, *Techniques d'analyse*. Editions TEC et soc, lavoisier-paris

POUGHEON.S, GOURSAUD. J(2005): Le lait et ses constituants, caractéristique physicochimique dans : *Lait nutrition et santé*. Par coordinateur DEBRY.G.

RENZO.M (1988) : Yaourt. Manuel de technologie pour la fabrication. Stage de formation du personnel algérien. Bologna.

ROBINSON.R.K ? TAMIN. A Y (1975) :Yoghourt areview of the product and its manufacture.*J.Soc. Dairy Techn*, 28 (3). Page 149-163.

ROMAIN. J, THOMAS. G, MICHEL. M, PIERRE. S, BRULE. G (2008) : Les produits laitiers. 2^{eme} édition. *Technique et documentation Lavoisier*. Paris. Page 31, 32, 33.

S. Gorinstein, O. Martin-Belloso, Y. S. Parck, R. Haruenkit, A. Logek, M. Ciz, I. Libman, S. Traktenberg ., 2001, Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits, *Food Chem.*,74(3).309-315

TAMIME. A. Y, ROBINSN. R. K (1999) : **Yoghourt science and technologie**. 2^{eme} édition NIZO Annual Report.

Teuscher, E., Anton, R., Lobstein, A., 2005. *Plantes aromatiques*. Ed. Tec et Doc-Lavoisier, Paris. Pp: 60: 79.

Y. C. Wang, Y. C. Chuang, Y. H. Ku., 2007, Quantitation of bioactive compounds in citrus fruits cultivated in Taiwan, *Food Chem.*,102 ,1163-1171

Y. C. Wang, Y. C. Chuang, H. W. Hsu, 2008.The flavonoid, carotenoid and pectin content in peels of citrus cultivated in Taiwan, *Food Chem*,106 277-284

Y. S. Huang, S. C. Ho., 2010. Polymethoxy flavones are responsible for the anti-inflammatory activity of citrus fruit peel, *Food Chem.*,119,868-873

Annexes

Annexe 01 : Extrait méthanolique



Annexe 02 Dosage des polyphénols



Annexe 3 Quelques échantillons de yaourt préparé



Annexe 4 Courbe d'étalonnage de l'acide gallique

