

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
Université A. MIRA-Béjaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Science Alimentaire
Spécialité Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

Elaboration de deux yaourts brassés, l'un à base de jus de betterave et l'autre enrichi à la purée de pomme de terre

Présenté par :
TAHAR Laldja & ZAKANE Katia
Soutenu le : **30 septembre 2021**

Devant le jury composé de :

Mme OUCHEMOUKH N.	MCA	Présidente
Mme GUENDOUZE N.	MCA	Encadreur
Mme DJELLILI F.	MAA	Examinatrice

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Dieu, le tout puissant de nous avoir accordé santé, courage, patience et foi pour accomplir ce modeste travail.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à la participation de plusieurs personnes à qui nous voudrions adresser toute notre reconnaissance.

*Nous voudrions tout d'abord adresser toute notre gratitude à notre promotrice, **Mme GUENDOUZE N.** pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils et ses encouragements qui nous ont beaucoup aidé et assisté lors de ce modeste travail.*

Nos remerciements vont également à :

***Mme OUCHEMOUKH N.** pour l'honneur qu'elle nous fait de présider notre jury et à **Mme DJELLILI** d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Nous tenons à remercier **Mlle Brahmi, Mme Galloul Saadia** et **Mlle Kerrour Nesrine Sana** et tout le personnel du laboratoire d'analyse instrumental et sans oublier bien sûr les membres du laboratoire 3BS.*

Nous tenons à formuler notre gratitude et nos profondes reconnaissances à l'égard de nos parents pour leurs indéfectibles soutiens durant tout notre cursus.

Afin de n'oublier personne, nos vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui nous ont aidé à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

*Après avoir rendu grace au bon dieu le tout puissant qui nous a
donné la force de résister et la volonté de travailler et la puissance
pour accomplir ce modeste travail que je dédie*

❖ *A ceux qui m'ont tout donné sans rien en retour*

❖ *A ceux qui m'ont encouragée et soutenue dans les
moments les plus difficiles*

❖ *A mes chers parents, source de tendresse, de noble et
d'affection pour Toutes les scarifications qu'ils ont faites à
mon égard Que ce travail soit le témoignage sincère et
affectueux de ma profonde reconnaissance pour tout ce que
vous avez fait pour moi.*

*Que ceci leur soit une récompense et un témoignage de ma
profonde gratitude*

❖ *A ma sœur Nawel et a mes deux freres (Hamid et Wassim) pour leurs Comprehensions et leurs encouragements, qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère amitié.*

❖ *A ma chère sœur wahiba qui m'a toujours soutenu dans les moments de joie comme dans les moments de peines et a son mari berabez lounis.*

❖ *A ma source de bonheur mes cheries Sintia et Sidra*

❖ *A mon cher ahmed et sa famille pour leur appui et leur encouragement,*

❖ *A ma chère binome laldja et sa famille*

❖ *A tous mes proches et mes amis sans exeption*

❖ *A tous ceux qui m'ont setenue de loin et de prés*

Katia

Dédicace

Après avoir rendu grâce au bon dieu le tout puissant qui nous a donné la force de résister et la volonté de travailler et la puissance pour accomplir ce modeste travail que je dédie à :

❖ *Mes chers parents pour leur soutien moral et leur amour. Je leur remercie d'autant que ne remercie personne.*

Mes chaleureux dédicaces sont aussi destinés à :

❖ *Mes frères (Farid et Idir) et mes sœurs (Hanane et Assia).*

❖ *Mon cher Kaci qui a su m'épauler, et qui m'encourage toujours à aller plus loin, quoique cela nous coûte. Ta patience m'a toujours égayé même dans les moments les plus durs.*

❖ *Tous mes proche et mes amis sans exception.*

❖ *Ceux qui m'ont soutenu de loin et de près.*

❖ *Ma chère binôme Katia et sa famille.*

Laldja

Table de matière

Liste des abréviations

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Introduction 1

Synthèse bibliographique

Généralités sur la betterave et la pomme de terre

I.1. La Betterave 2

I.1.1. Description botanique 2

I.1.2. Origine et production 2

I.1.3. Classification 3

I.1.4. Composition chimique et valeur nutritionnelle 3

I.1.5. Intérêts et rôles 4

I.2. La Pomme de terre 5

I.2.1. Description botanique 5

I.2.2. Origine et production 5

I.2.3. Classification 6

I.2.4. Composition et valeur nutritionnelle 6

I.2.5. Intérêts et rôles 7

Activité antioxydante

I.1. Définition d'un antioxydant 8

I.2. Radicaux libres..... 8

I.3. Espèces réactives de l'oxygène..... 8

I.4. Mécanisme de l'oxydation 8

I.5. Système antioxydant 9

I.5.1. Système antioxydant enzymatique..... 9

I.5.2. Système antioxydant non enzymatique..... 9

I.5.2.1. Vitamines antioxydants..... 9

I.5.2.2. Caroténoïdes 10

I.5.2.3. Composés phénoliques..... 10

Généralités sur le yaourt

I.1. Historique.....	12
I.2. Définition	12
I.3. Composition du yaourt	12
I.4. Bactéries caractéristiques du yaourt.....	13
I.4.1. <i>Streptococcus</i>	13
I.4.2. <i>Lactobacillus bulgaricus</i>	13
I.4.3. Protocoopération des bactéries du yaourt	13
I.5. Intérêt nutritionnel et thérapeutiques du yaourt	14
I.6. Technologie de fabrication du yaourt	14

Partie expérimentale

Matériel et méthodes

I. Matériel	16
I.1. Description du matériel végétale.....	16
I.2. Récolte des échantillons.....	16
II. Méthodes	16
II.1. Fabrication des yaourts	17
II.2 Analyses physico-chimiques	19
II.2.1. Mesure du pH	19
II.2.2. Détermination de la teneur en eau	19
II.2.3. Mesure de l'acidité titrable	20
II.2.4. Détermination de la teneur en cendres.....	21
II.2.5. Détermination du degré Brix	21
II.3. Analyses phytochimiques	22
II.3.1. Extraction.....	22
II.3.2. Dosage des polyphénols totaux	22
II.3.3. Dosage des flavonoïdes	23
II.3.4. Dosage des bétalains.....	23
II.3.5. Dosage des tanins condensés	24
II.3.6. Activité antioxydant	25
II.4. Analyses sensorielles	27
II.5. Analyses statistique	28

Résultats et discussion

I. Analyses physico-chimiques.....	29
I.1. Détermination du pH.....	29
I.2. Détermination de la teneur en eau.....	30
I.3. Détermination de l'acidité titrable	31
I.4. Taux de cendres	32
I.5. Taux de Brix	33
II. Analyses phytochimiques	34
II.1. Teneurs en polyphénols totaux	34
II.2. Teneurs en flavonoïdes	35
II.3. Teneurs en bétalains	37
II.4. Teneurs en proanthocyanidines	38
I.5. Activité antioxydante	39
II.5.1. Test du pouvoir réducteur.....	39
II.5.2. Test utilisant le radical au ABTS	40
II.5.3. Test utilisant le radical au DPPH.....	41
III. Analyses sensorielles	42
III.1. Test du plant d'expérience	42
III.2. Caractérisation du produit	42
III.3. Pouvoir discriminant par descripteur	42
III.4. Moyennes ajustées par produit	43
III.5 Analyse en composantes principales (ACP)	44
Conclusion et Perspectives	46
Références bibliographique	48

Annexes

Résumé

Liste des figures

Figure 1 : Photographie de la betterave rouge.....	2
Figure 2 : Photographie de la pomme de terre	5
Figure 3 : Origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène impliquées dans les systèmes biologiques	9
Figure 4 : Structure chimique des acides phénoliques	10
Figure 5 : Structure chimique de base d'une molécule de flavonoïde	11
Figure 6 : Structure chimique d'un tanin hydrolysable (a) et d'un tanin condensé (b)	11
Figure 7 : Photographie de la betterave (A) et de la pomme terre(B)	16
Figure 8 : Diagramme de fabrication de différents yaourts brassés	18
Figure 9 : Formation de l'ABTS ^{•+} par le persulfate de potassium	26
Figure 10 : Mécanisme réactionnel de réduction du radical DPPH•	27
Figure 11 : pH des différents échantillons analysés	29
Figure 12 : Taux d'humidité des échantillons analysés	30
Figure 13 : Acidité titrable des différents échantillons analysés.....	31
Figure 14 : le taux de cendres des différents échantillons analysés	32
Figure 15 : Taux de Brix	33
Figure 16 : Teneurs en polyphénols totaux des différents échantillons analysés.....	34
Figure 17 : Teneurs en flavonoides des différents échantillons analysés	36
Figure 18 : Teneurs en bétalains des différents échantillons analysés.	37
Figure 19 : Teneurs en proanthocyanidines des différentes échantillons analysés	38
Figure 20 : IC 50 des différents échantillons analysés	39
Figure 21 : IC50 du ABTS pour les différents échantillons analysés	40
Figure 22 :IC50 du DPPH pour les différents échantillons analysés	41
Figure 23 : Pouvoir discriminant par descripteur	43
Figure 24 : Corrélation entre les variables (a) et les factures (b).	45

Liste des Tableau

Tableau I : Composition chimique de la betterave rouge.....	4
Tableau II : Composition et de la pomme terre	7
Tableau III : Composition du yaourt	13
Tableau IV : Evaluation du plant d'expériences	42
Tableau V : moyennes ajustées par produit.	44

Abréviations

ABTS : acide 2,2-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonique

AFNOR : Association Française de Normalisation

D.S.A.S.I : Direction des Statistiques Agricoles et des systèmes d'information.

D.S.A.S.I : Statistiques agricoles et des systèmes d'information

DPPH: 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl

EAG: Equivalent acide gallique.

ERO :

FAO: Food and Agricultural Organization.

I.T.C.M.I : Institut technique des cultures maraichères et industrielles

IC50 : Concentration d'Extrait inhibant 50% d e radicaux

JB : Jus de Betterave

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne

Kcal : Kilocalorie

MS : Matière sèche

PTC: Pomme de terre cuite

YB : Yaourt Betterave

YPT : Yaourt pomme de terre

YT : Yaourt témoin

Introduction

Les produits laitiers fermentés frais comme le yaourt sont des produits de grande consommation (Nakasaki *et al.*, 2008). Le yaourt est consommé la plupart du temps comme un dessert. Il convient à toutes les tranches d'âge, même aux sujets intolérants au lactose (Nagai *et al.*, 2011) car il est très digeste, possède une grande valeur nutritionnelle, et il est apprécié pour son goût et sa texture (Rohmain *et al.*, 2010 ; Syndifrais, 1997). Ces propriétés sont liées aux souches bactériennes spécifiques qu'il contient (Syndifrais, 1997).

La production de yaourt et d'autres laits fermentés ne cesse de croître. La dynamique de ce marché oblige les industriels à formuler sans cesse de nombreux produits laitiers fermentés frais (Enkeljda, 2004). Différents types de yaourts sont présents dans le marché, dont certains sont supplémentés de différents ingrédients repartis en fruits et légumes (Vahedi *et al.*, 2008). Ces derniers apportent aux yaourts des nutriments de grandes valeurs nutritionnelles et diététiques comme les antioxydants qui jouent un rôle préventif vis-à-vis du stress oxydatif. Ce dernier est lié à l'apparition de nombreuses pathologies telles que les cancers, les maladies cardiovasculaires et les maladies dégénératives (Girardet, 2011).

C'est dans cette optique que s'inscrit notre travail qui vise à élaborer deux yaourts brassés, l'un à base de jus de betterave et l'autre enrichi à la purée de pomme de terre. Le choix de ces deux légumes revient à leurs richesses en éléments nutritifs (fibres, minéraux, etc.) et antioxydants. De plus, l'industrie alimentaire utilise les pigments de la betterave comme colorant naturel, évitant ainsi l'ajout de colorants de synthèse qui portent préjudice à la santé du consommateur. L'utilisation de la pomme de terre améliore la texture et évite l'ajout d'amidon au yaourt.

Cette étude est divisée en deux parties :

- Une synthèse bibliographique comportant des généralités sur la betterave, la pomme de terre, l'activité antioxydante et le yaourt ;
- Une étude expérimentale visant tout d'abord à formuler deux yaourts enrichis, l'un avec le jus de betterave et l'autre avec la purée de pomme de terre. Ensuite la caractérisation physico-chimique, phytochimique des matrices végétales utilisées et des deux yaourts formulés, suivi par une évaluation sensorielle de ces derniers.

I. Généralités sur la betterave et la pomme de terre

I.1. Betterave

I.1.1. Description botanique

La betterave rouge (*Beta vulgaris* L.) est une plante herbacée bisannuelle de la famille des Chenopodiaceae. Elle possède plusieurs variétés de couleurs allant du jaune au rouge; la betterave rouge étant la plus consommée par l'Homme (Chhikara et al., 2019). Elle développe en sa première année de culture une racine épaisse, le plus souvent à chair pourpre foncé. Selon les variétés, cette racine est ronde, aplatie ou conique (Kakade et al., 2015). Ses feuilles sont pétiolées, lisses, de forme allongées, disposées en rosette à la base et se répartissent le long de la tige. Ses fleurs, de couleur verdâtres ou mauves, sont rassemblées en épis longs, étroits et feuillés (Clifford et al., 2015) (figure 1).



Figure 1: Photographie de la betterave rouge (Arvy et Galouin, 2007).

I.1.2. Origine et production

La betterave rouge est originaire du bassin méditerranéen et d'Asie Centrale. Cependant, ce n'est qu'au 19^{ème} siècle qu'elle s'est répandue dans toute l'Europe (Manoharan et al., 2012). Elle est cultivée dans les régions à climat tempéré : pays européens, Afrique, Asie et Amérique du sud. La production mondiale est de 241 millions de tonnes en 2005 (FAO, 2017).

En Algérie, la betterave potagère trouve des conditions extrêmement favorables pour son développement, mais n'a pas reçu l'étendue et la consommation qu'elle mérite. Sa culture est pratiquée sur de petites superficies (**Benachour, 2008**). Elle est cultivée principalement dans les régions suivantes : Alger (Htatba), Boumerdès (Khmis El Khechna), Sétif (Ain Oulman), Blida, M'scila et Boussaâda.

I.1.3. Classification

Selon **Reveal et al. (2009)**, la betterave rouge est classée comme suite :

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Super-division : Spermatophyta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Caryophyllidae

Ordre : Caryophyllales

Famille : Chenopodiaceae

Genre : *Beta*

Espèce : *Beta vulgaris*

I.1.4. Composition chimique et valeur nutritionnelle

La betterave rouge est une source d'énergie grâce à sa richesse en glucides (**Medkour et al., 2017**). Elle présente une valeur énergétique de 43 Kcal pour 100 g de betterave (**Gajanan et al., 2018**). Elle est plus ou moins riche en eau et contient une faible quantité de lipides et de protéines. Ses fibres, moyennement abondantes, sont constituées à la fois de cellulose et d'hémicellulose. Cette plante contient aussi de nombreuses vitamines particulièrement du groupe B et C. La betterave est aussi pourvue en minéraux et oligo-éléments : potassium, magnésium, calcium, fer et phosphore (**Medkour et al., 2017**) (**tableau I**). Elle est riche en composés actifs tels que les caroténoïdes (**Dias et al., 2009**), la glycine bétaine (**Zwart et al., 2003**), les saponines (**Atamanova et al., 2005**), les bétacyanines (**Patkai et al., 1997**), les folates (**Jastrebova et al., 2003**), la bétanine, les polyphénols et les flavonoïdes (**Vali et al., 2007**).

Beta vulgaris est classée parmi les légumes ayant un pouvoir antioxydant élevé grâce à sa teneur en polyphénols totaux (50-60µmol/g) (**Vinson et al., 1998 ; Kähkönen et al., 1999**) et

ses pigments azotés. Ces pigments, appelés les bétalaines, sont hydrosolubles et comprennent deux groupes principaux: les bétacyanines de couleur rouge et les bétaxanthines de couleur jaune (Vergara *et al.*, 2014 ; Pedreno et Escribano, 2001).

Tableau I : Composition chimique de la betterave dans (g/100g) (Gajanan *et al.*, 2018).

Constituant	Teneur (g/100 g)
Eau	87.5
Protéines	1.61
Glucides	9.56
Lipides	0.17
Fibres	0.0028
Potassium	0.325
Calcium	0.016

I.1.5. Intérêts et rôles

La betterave a gagné en popularité en tant que "super aliment" en raison de ses bienfaits pour la santé (Pinki *et al.*, 2014). Les principaux bienfaits de la betterave sont:

- Réduction de la pression artérielle et augmentation du flux sanguin (Gajanan *et al.*, 2018).
- Contribution à la réduction des tumeurs (Gajanan *et al.*, 2018) et peut être considérée comme un facteur de prévention du cancer (Kapadia *et al.*, 1996).
- Diminution du risque d'obésité, de diabète et des maladies cardiaques ; et renforce la santé des cheveux (Gajanan *et al.*, 2018).
- Sa richesse en antioxydants préserve contre le vieillissement des cellules, tandis que celle en fibres diététiques luttent contre la maladie des coronaires, les calculs biliaires, l'appendicite et les hémorroïdes (Leontowicz *et al.*, 2001).
- L'utilisation des bétalaines comme colorant alimentaire est approuvée par l'Union européenne et sont assignés par le code E-162 (Kavitkar *et al.*, 2017).

I.2. Pomme de terre

I.2.1. Description botanique

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) est une plante vivace, dicotylédone, tubéreuse et herbacée. Elle appartient à la famille des solanacées qui sont des plantes à fleurs (**Rousselle- Bourgeois et Rousselle, 1992**) et au genre *Solanum*. Ce dernier regroupe environ 2000 espèces dont plus de 200 sont tubéreuses (**Kechid, 2005**).

Solanum tuberosum peut être de forme sphérique, allongée ou ovoïde. Son diamètre varie généralement de 1 à 3 cm et sa couleur peut aller du vert au jaunâtre, ou du marron rougeâtre à violet (**Rousselle- Bourgeois et Rousselle, 1992**) (**figure 2**).

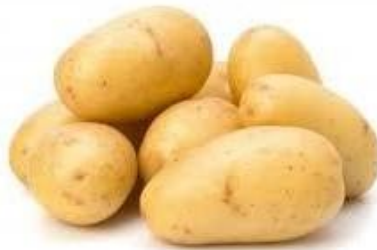


Figure 2 : Photographie de la pomme de terre (**Arvy et Galouin, 2007**).

I.2.2. Origine et production

La pomme de terre, connue en dehors des Andes (Amérique du sud) il y a quatre siècles, est devenue un ingrédient nécessaire dans la plupart des cuisines du monde. Après le riz, le blé, et le maïs, c'est la quatrième plus grande culture vivrière au monde (**Mahgoub et al., 2015**). Elle s'adapte aux différentes zones climatiques tropicales et extra tropicales (**Hawkes, 1990**).

Selon la **FAO**, la Chine est le premier producteur mondial de pommes de terre. En 2013, la production mondiale de pommes de terre est estimée à 368.1 millions de tonnes pour une superficie de 19.4 millions d'hectares (**FAOSTAT, 2015**).

En 2014, l'Algérie a occupé la deuxième place, après l'Égypte, dans la production de la pomme de terre en Afrique. La production nationale a dépassé le seuil de 4,5 millions de tonnes pour une superficie estimée à 170 000 hectares (**Alilat, 2017**). Elle est cultivée à: Sétif, Tizi-Ouzou, Tipaza, Tiaret, Batna, Chlef, Bouira, El-Oued, Mostaganem et Boumerdes (**ITCMI, 2012**).

Pour la campagne 2016/2017, la production de la pomme de terre au niveau de la wilaya de Bejaia a atteint 57 780 quintaux, cultivée sur une superficie de 295 hectares (**D.S.A.S.I., 2017**).

I.2.3. Classification

Selon **Hawkes (1990)**, la classification de la pomme de terre est la suivante :

Règne : Métaphytes (Végétaux supérieurs)

Embranchement : Spermatophytes

Classe : Dicotylédone

Ordre : Polemoniales

Famille : Solanaceae

Genre : *Solanum*

Sous -Genre : Potatoe

Série : Tuberosa

Espèce : *Solanum tuberosum*

I.2.4. Composition chimique et valeur nutritionnelle

La pomme de terre est une source d'énergie grâce à sa richesse en glucides. Elle contient de faibles quantités de lipides et de protéines. Elle est notamment riche en oligonutriments comme la vitamine C, la vitamine B et des minéraux tels que le potassium, le magnésium, le calcium, le fer et le phosphore (**Bergthaller et al., 1999**) (**tableau II**). Un ensemble de composés phytochimiques comme les acides phénoliques, les flavonoïdes, les coumarines, les caroténoïdes et les terpènes sont présents dans la pomme de terre (**Shahidi et al., 2004**). Ce légume est considéré comme une bonne source de polyphénols (**Chun et al., 2005 ; Ezekiel et al., 2013**). Environ 40% des composés phénoliques de la pomme de terre sont sous la forme liée principalement en β -glycoside qui résistent à la digestion gastro-intestinale, et sont absorbés dans le colon (**Shahidi et al., 2004**).

Tableau II: Composition chimique de la pomme de terre (g/100) (USDA, 2008).

Constituant	Teneur (g/100)
Eau	83.29
Protéines	2.57
Lipides	0.1
Glucides	19.4
Fibres	0.0025
Cendres	0.00161
Vitamine B3	0.0012
Vitamine B6	0.0002
Vitamine C	0.013

I.2.5. Intérêts et rôles

La consommation d'un féculent est recommandée à chaque repas. La pomme de terre, disponible toute l'année, est recommandée dans un régime acido-basique et agirait sur l'hypertension (**Auroi, 1987**). Sa richesse en vitamines et antioxydants protège les cellules du corps des dommages causés par les radicaux libres, tandis que celle en fibres prévient la constipation, diminue le risque de cancer du côlon (**Rousselle et al., 1996**) et peut contribuer à la prévention des maladies cardiovasculaires, ainsi qu'au contrôle du diabète de type 2 (**Ducreux et al., 1986**).

II. Activité antioxydante

II.1. Définition d'un antioxydant

Un antioxydant est une substance qui inhibe ou retarde significativement l'oxydation d'un substrat (Berger, 2006 ; Tachakittirungrod et al., 2007). Il capte les radicaux libres et les rendent inoffensifs en interagissant directement avec les composés réactifs de l'oxygène (Fu et al., 2014 ; Léophonte, 2006), complexe les ions métalliques pro-oxydants et empêche la formation de l'oxygène singulet (Amarowicz et al., 2004 ; Fu et al., 2014).

II.2. Radicaux libres

Un radical libre est une molécule indépendante contenant un ou plusieurs électrons non appariés (Cadenas et Packer, 2002). Ces électrons offrent une très grande réactivité chimique aux radicaux libres (Poortsman et Boisseau, 2003). Ces espèces chimiques instables cherchent à récupérer un électron dans leur environnement pour retrouver un état plus stable (Rolland, 2004).

II.3. Espèces réactives de l'oxygène

Les radicaux libres issus de la réduction monovalente de l'oxygène constituent les espèces réactives de l'oxygène (ERO). Ces dernières sont des molécules contenant de l'oxygène dont la réactivité est supérieure à celle de la molécule de dioxygène (O_2) (Fontaine et al., 2002; Morel et Barouki, 1999). Les ERO comprennent des espèces radicalaires telles que le superoxyde (O_2^{\cdot}), l'hydroxyle (OH^{\cdot}), l'oxyde nitrique (NO^{\cdot}), et des espèces non radicalaires comme le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), l'oxygène singulet (1O_2) et le nitroperoxyde (ONOOH) (Amarowicz et al., 2004 ; Tachakittirungrod et al., 2007).

II.4. Mécanisme de l'oxydation

L'oxydation est un phénomène complexe qui met en jeu des espèces moléculaires très réactives qui se traduit par le rancissement de graisses, la rouille des métaux et la flétrissure des fruits et légumes (Judde, 2004 ; Rolland, 2004). Elle est initiée par la lumière, la chaleur, ou les traces de métaux lourds (Cu^{2+} et Fe^{3+}). Les réactions radicalaires sont d'autant plus destructrices qu'elles se propagent en chaîne: les molécules déstabilisées par un électron célibataire deviennent à leur tour des radicaux libres (Manach et al., 2004) (figure 3).

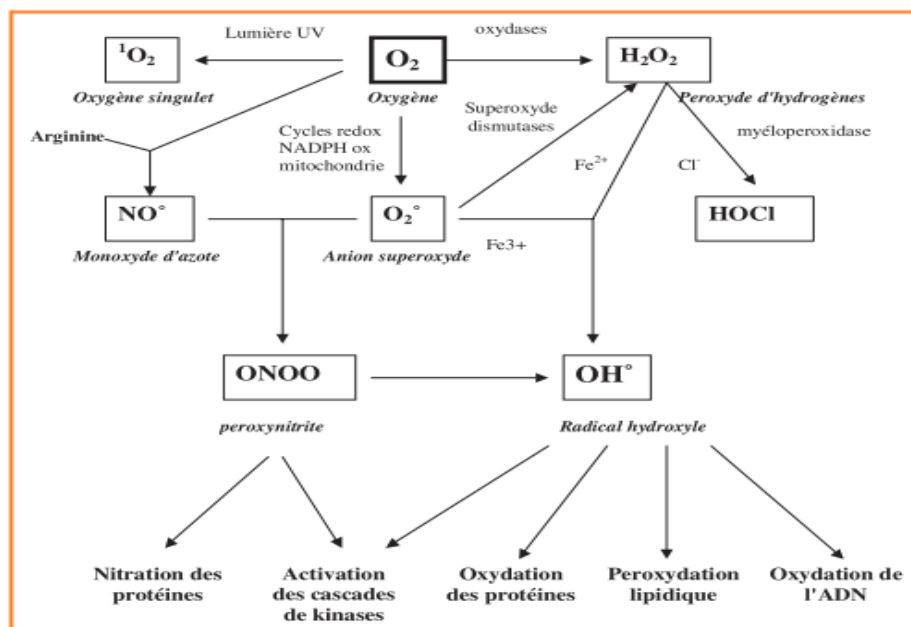


Figure 3: Origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène impliquées en biologie (Favier, 2003).

II.5. Système antioxydant

Les cellules disposent de systèmes complexes de défense anti-oxydants, enzymatique et non enzymatique localisé dans les compartiments intra- et extracellulaires (Amarowicz *et al.*, 2004 ; Berger, 2006).

II.5.1. Système antioxydant enzymatique

L'organisme se défend contre les radicaux libres en synthétisant des enzymes qui les neutralisent. Les principales enzymes antioxydantes sont la superoxyde dismutase, la glutathion peroxydase et la catalase (Li *et al.*, 2009 ; Vincent *et al.*, 2004).

II.5.2. Système antioxydant non enzymatique

Le système antioxydant non enzymatique fait appel à des molécules non enzymatiques telles que les vitamines antioxydantes (vitamine C et vitamine E), les oligoéléments (Cu, Zn et Se), les caroténoïdes et les composés phénoliques .

II.5.2.1. Vitamines antioxydantes

La vitamine E (α -tocophérol) neutralise les radicaux libres et stoppe la chaîne de réactions de peroxydation des lipides. Elle devient par la suite un radical moins réactif. Alors que la vitamine C ou l'ascorbate agit principalement en piégeant directement les ERO ou en régénérant la vitamine E (Ré *et al.*, 2005).

II.5.2.2. Caroténoïdes

Les caroténoïdes font partie des micronutriments qui participent aux défenses de l'organisme contre les espèces oxygénées (**Barizão et al., 2016**). Ils réagissent avec l'oxygène singulet, les radicaux peroxy et alkoxy en les capturant (**Bossokpi, 2003**).

II.5.2.3. Composés phénoliques

Plusieurs études ont montré que les composés phénoliques présentent une activité antioxydante plus élevée que celle des vitamines antioxydantes et des caroténoïdes (**Podsedek, 2005**). Ces composés présentent un point commun dans leur structure qui est la présence d'au moins un cycle aromatique à 6 carbones, lui-même porteur d'un nombre variable de fonction hydroxyle, libre ou engagé dans une autre fonction (**Bruneton, 1999; Marouf et Reynaud, 2007; Sarni-Manchado et Cheynier, 2006**). Les principaux composés phénoliques sont : les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tanins.

➤ Acides phénoliques

Un acide phénolique est tout composé organique qui présente au moins une fonction carboxylique et un hydroxyle phénolique (**Bruneton, 1999**). Ces composés sont répartis en deux groupes: les acides hydroxycinnamiques et les acides hydroxybenzoïques (**Liu, 2004**) (**figure 4**).

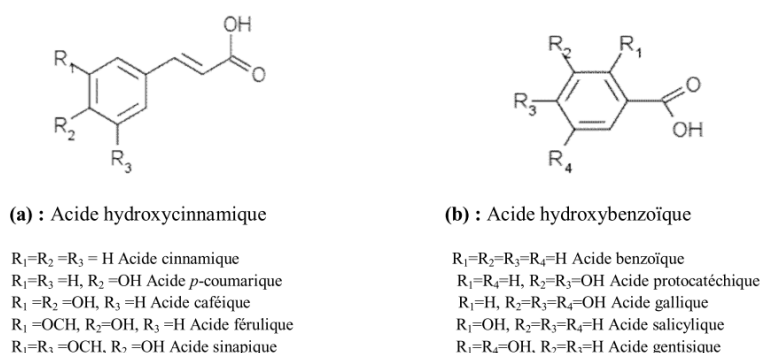


Figure 4: Structure chimique des acides phénoliques (**Liu, 2004**).

➤ Flavonoïdes

Les flavonoïdes constituent des pigments responsables des colorations jaune, orange et rouge des différents organes végétaux (**Ghedira, 2005**). Leur structure de base comprend un squelette composé de deux cycles aromatiques, porteurs de plusieurs fonctions phénol, reliés par un hétérocycle oxygéné à trois atomes de carbone (**Balasundram et al., 2006**) (**figure 5**).

Ils présentent de nombreuses activités: antioxydante, anti-inflammatoire, antimicrobienne, antiulcéreuse, etc. (Bahorun, 1997 ; Wichtl et Anton, 2003). Les flavonoïdes peuvent empêcher les dommages oxydatifs par différents mécanismes d'actions, soit par capture des OH, O₂, ROO[•] (Hodek et al., 2002), ou par chélation des métaux, ou bien par l'inhibition d'enzymes responsables de la génération des radicaux libres (Van Acker et al., 1996).

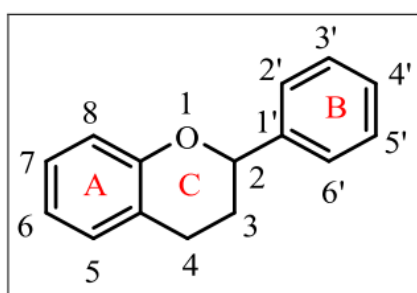


Figure 5: Structure chimique de base d'une molécule de flavonoïde (Balasundram et al., 2006).

➤ Tanins

Les tanins sont des composés solubles dans l'eau dont le poids moléculaire varie de 500 à 3000 Da. Ils sont classés en deux grands groupes : les tanins hydrolysables et les tanins condensés (Balasundram et al., 2006; Bruneton, 1999) (figure 6).

Ces composés ont un rôle contre la diarrhée et les tumeurs de l'estomac et du duodénum. Ils agissent également comme anti-inflammatoire, antiseptique, antioxydant, hémostatique et diurétique. Les tanins doivent leur pouvoir antioxydant à leurs noyaux phénols (Balasundram et al., 2006; Bruneton, 1999).

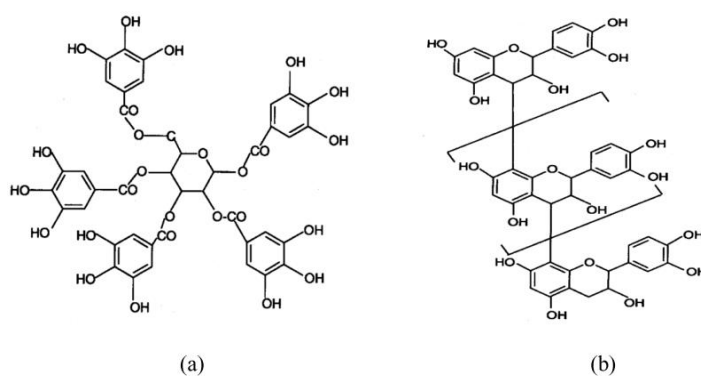


Figure 6: Structure d'un tanin hydrolysable (a) et d'un tanin condensé (b) (Ribereau-Gayon, 1968).

III. Généralités sur le Yaourt

III.1. Historique

Originaire d'Asie, le mot yaourt (yoghourt ou yogourt) vient de yoghurmark, un mot turc signifiant « épaissir » (**Tamime et Deeth, 1980**).

Dans le sillage des découvertes de Luis Pasteur sur la fermentation lactique, de nombreux chercheurs s'intéressent aux micro-organismes présents dans le lait. En 1902, Ris et Khoury, deux médecins isolent la bactérie spécifique du yaourt « le bacille bulgare », analysent l'action acidifiante du lait caillé et suggèrent une méthode de production sûre et régulière (**Rousseau, 2005**).

III.2. Définition

Selon le **Codex Alimentarius (A- 11 (a), 1975)**, le yaourt est un produit laitier coagulé obtenu par fermentation lactique grâce à l'action de *Lactobacillus Bulgaricus* et de *Streptococcus thermophilus* à partir du lait frais, ainsi que du lait pasteurisé (ou concentré, partiellement écrémé, enrichi en extrait sec) avec ou sans addition (lait en poudre, poudre de lait écrémé, etc.). Les micro-organismes du produit final doivent être viables et abondants.

La législation de nombreux pays exige que les bactéries du yaourt soient vivantes dans le produit mis en vente. D'autres pays admettent qu'à la suite d'un traitement thermique destiné à améliorer la durée de conservation, le produit ne contient plus de bactéries vivantes. Cette pratique n'est pas recommandable, car elle modifie les propriétés du yaourt (**Mahaut et al., 2000**).

III.3. Composition du yaourt

La principale matière première pour la fabrication des yaourts est le lait, notamment le lait de vache. Ce dernier est constitué d'environ 88% d'eau et de 12% de matière sèche totale contenant des glucides, des protéines et des lipides (**Tamime et Robinson, 1985**) (**tableau III**).

Les yaourts possèdent des qualités nutritionnelles reconnues grâce à leurs richesses en calcium, en vitamines D et B, en minéraux et oligoéléments (**Syndifrais, 1997**) (**annexe I**).

Tableau III : Composition du yaourt dans 100g (Syndifrais, 1997).

Composant	Teneur (/100g)
Eau	80-90 g
Glucides	4 à 18 g
Protéines	4,3 g
Lipides	0 à 3,5 g
Apport calorique	42 à 115 kcals

III.4. Bactéries caractéristiques du yaourt

Les deux bactéries utilisées dans la préparation du yaourt sont *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*, qui ont pour rôle principale d'abaisser le pH du lait de façon à former un gel. Outre le goût acidulé qu'elles donnent au gel, elles assurent une saveur caractéristique due à la production de composés aromatiques et de polysaccharides (Sodini et Beal, 2012).

III.4.1. *Streptococcus thermophilus*

Streptococcus thermophilus (*S. thermophilus*) est un cocci Gram positif, anaérobie facultatif et non mobile, qui se trouve dans les laits fermentés et les fromages (Dellaglio et al., 1993 ; Roussel et al., 1994). Son rôle principal est la fermentation du lactose du lait en acide lactique. En plus de son pouvoir acidifiant, elle est responsable de la texture des laits fermentés car elle augmente la viscosité par la production de polysaccharides (Bergamairer, 2002). Sa température optimale de croissance varie entre 40 et 50°C (Lamoureux, 2000).

III.4.2. *Lactobacillus bulgaricus*

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

III.4.3. Protocoopération des bactéries du yaourt

Au cours de la fabrication du yaourt, les deux espèces *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* vivent ensemble en symbiose dans le yaourt. Bien que les deux souches puissent se développer indépendamment, le taux de production d'acide lactique est beaucoup plus élevé une fois utilisé ensemble que si l'une ou l'autre des deux se développe

individuellement. *S. thermophilus* se développe plus rapidement et produit de l'acide formique et du CO₂, ce qui stimulent la croissance de *L. bulgaricus*. D'autre part, cette dernière produit des peptides stimulateurs et des acides aminés pour qu'ils soient utilisés par *S. thermophilus* (Jeantet et al., 2008) (annexe II).

III.5. Intérêts nutritionnel et thérapeutique

En plus des avantages technologiques (amélioration du goût, de l'arôme, de la texture et de la stabilité du produit), de nombreux effets bénéfiques sont attribués aux bactéries lactiques notamment des effets nutritionnels et thérapeutiques (Serra et al., 2009 ; Sodini et Béal, 2012).

Au cours de la fermentation, la composition du lait subit un certain nombre de modifications. Certaines de ces modifications en font un produit de meilleure valeur nutritionnelle que le lait tels que : l'amélioration de l'absorption du lactose et l'amélioration de la digestibilité de la matière grasse et des protéines (Jeantet et al., 2008).

Outre les qualités nutritionnelles et organoleptiques, les yaourts peuvent avoir des effets bénéfiques sur la santé humaine (Xanthopoulos et al., 2001). Ces effets dépendent à la fois des souches utilisées et des métabolites produits. Les bienfaits des yaourts sont: une activité antimicrobienne (Schmidt et al., 1994), stimule le système immunitaire, une action anticholestérolémiant, une activité anti-carcinogène (Mahaut et al., 2000) et une action sur les vitamines (Martin, 2004).

III.6. Technologie de fabrication du yaourt

En fonction de la technologie de fabrication, les yaourts sont divisés en deux groupes :

- Yaourt fermes, dont la fermentation a lieu en pots : ce sont généralement les yaourts nature et aromatisés.
- Yaourt brassés, dont la fermentation a lieu en cuve avant le brassage et le conditionnement : c'est le cas des yaourts veloutés nature ou aux fruits.

Les étapes de fabrication du yaourt sont brièvement les suivantes :

- Préparation du lait standardisé (ajustement du taux de matières grasses et de protéines, enrichissement en matière sèche sous forme de lait en poudre), suivi d'une homogénéisation (Pelletier et al., 2007) ;

- application d'un traitement thermique à une température comprise entre 90 et 95°C pendant 3 à 5 minutes (**Mahaut et al., 2000**), suivi d'un refroidissement immédiat du lait à la température de 42 à 45°C ;
- ensemercer avec deux bactéries lactiques spécifiques qui sont *Streptococcus salivarius thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii bulgaricus*, et laisser fermenté à 45°C pendant 2 à 4 h (**Nizami et al., 1996**) ;
- application d'un refroidissement rapide à la température de 4 à 5°C ; ce qui inhibe l'activité des bactéries lactiques (**Keddar et Koubich, 2009**) ;
- conditionner dans des pots en verre ou en plastique, puis stocker à 4-6°C. Cette température est maintenue jusqu'au rayon du distributeur. Les yaourts retiennent généralement une date limite de consommation de 30 jours (**Bourlioux et al., 2011**)(annexe III).

Matériel et méthodes

I. Matériel

I.1. Description du matériel végétal

La betterave et la pomme de terre sont des légumes-racines. Le premier est de couleur rouge-violette, de forme ronde et ayant un pivot long et fin. Le second possède une forme sphérique, allongée mesurant environ 4 à 5 centimètre de long et de couleur marron au jaune (**figure 7**).

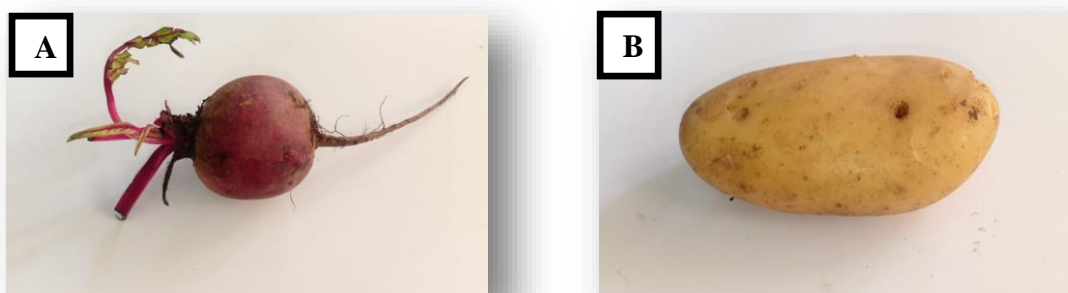


Figure 7: Photographies de la betterave (A) et de la pomme de terre (B).

I.2. Récolte des échantillons

Les échantillons de betterave et de pomme de terre fournis deux fois dans la semaine, ont été achetés au magasin. La betterave provenait de la wilaya de Tipaza, tandis que la pomme de terre est originaire de la wilaya de Tbesa d'après le marchand. Ces deux wilayas sont situées respectivement à 238,69 et 347,41 Km du chef-lieu de la wilaya de Bejaia.

II. Méthodes

Ce travail a porté tout d'abord sur l'élaboration de deux types de yaourts brassés, l'un à base de jus de betterave et l'autre enrichie à la purée de pomme de terre, ensuite sur l'étude des caractéristiques physico-chimiques et sensorielles de ces deux yaourts. En parallèle, la teneur en différents composés phénoliques et l'activité antioxydante des matrices végétales et des yaourts formulés à base de ces derniers ont été déterminées.

Les échantillons analysés sont : le jus de betterave (J.B), la pomme de terre cuite (P.C), le yaourt à base de jus de betterave (Y.B), le yaourt enrichie à la purée de pomme de terre (Y.P) et le yaourt témoin (Y.T).

II.1. Fabrication des yaourts brassés

La préparation des yaourts a été réalisée au niveau du laboratoire d'analyse sensorielle de l'université de Bejaia, tout en respectant le diagramme de fabrication d'un yaourt standard avec l'ajout du jus de betterave et de la purée de pomme de terre.

Les ingrédients utilisés pour la préparation des yaourts sont :

- Le lait en poudre
- Le jus de betterave
- La pomme de terre cuite
- Le sucre cristallisé
- Les ferments lactiques

Avant de trouver la bonne recette, plusieurs essais et séances de dégustation ont été réalisés au préalable par le personnel du laboratoire d'analyse instrumentale de l'université de Bejaia.

Les étapes de fabrication des différents yaourts sont résumées dans la **figure 8**.

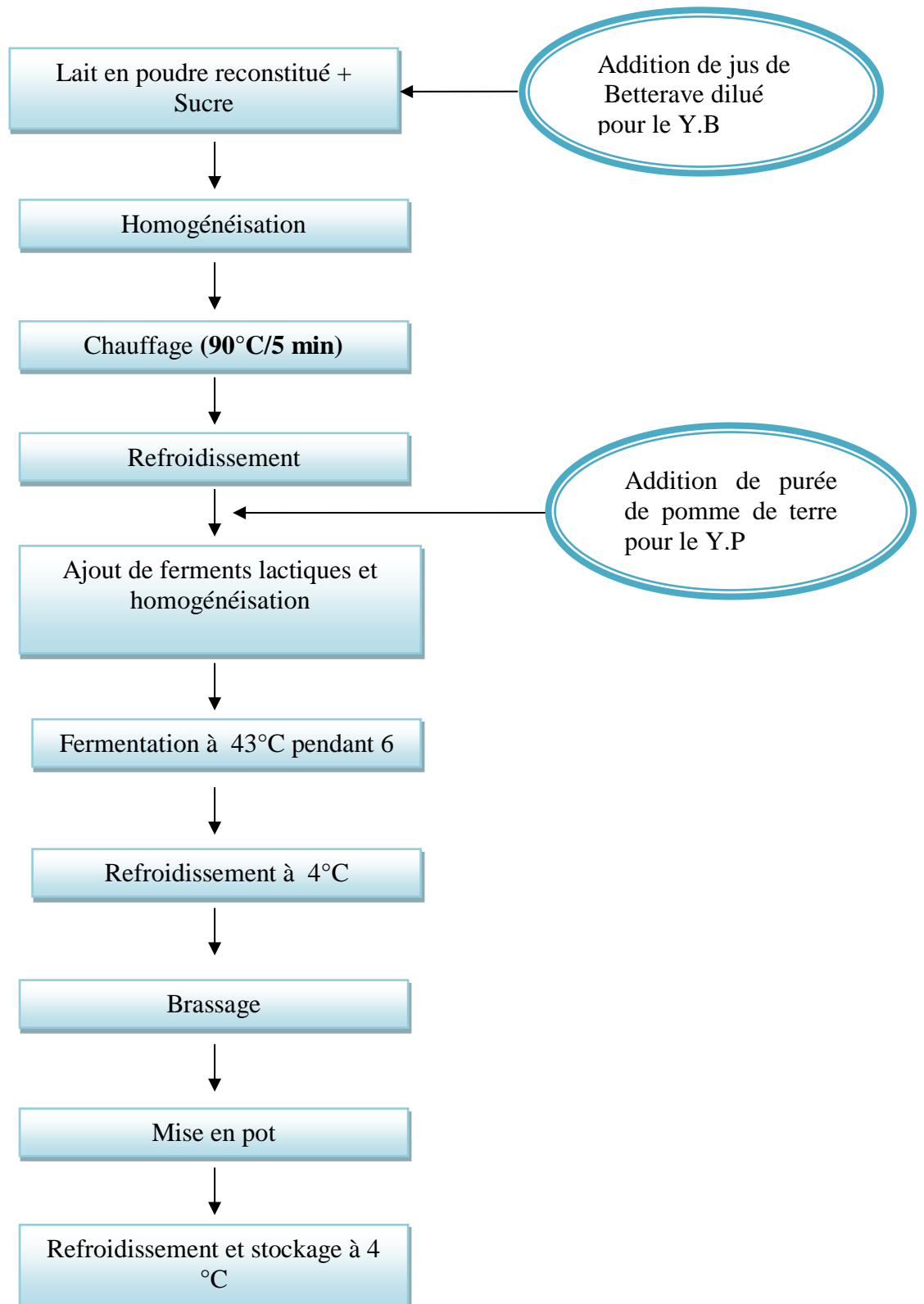


Figure 8: Diagramme de fabrication des différents yaourts brassés.

II.2. Analyses physico-chimiques

II.2.1. Mesure du pH

➤ **Principe**

La détermination de la différence de potentiel existant entre deux électrodes en verre plongées dans un échantillon est la base pour déterminer le pH de ce dernier. Cette analyse est réalisée dans le but de déterminer l'aptitude de quelques aliments à la conservation (**Norme AFNOR V 05-108**).

➤ **Mode opératoire**

La sonde du pH-mètre est immergée directement dans chaque échantillon (le jus de betterave, le yaourt à base de jus de betterave, la pomme de terre crue, la purée de pomme de terre, le yaourt enrichi à la purée de pomme de terre et le yaourt témoin), ensuite la valeur du pH est directement affichée sur l'écran du pH-mètre.

II.2.2. Détermination de la teneur en eau

➤ **Principe**

Le principe de la détermination de la teneur en eau est basé sur l'élimination de l'eau contenue dans un échantillon donné par chauffage dans une étuve ventilée à 105°C jusqu'à ce que le poids de l'échantillon devient constant (**NF V 18-109, 1982**).

➤ **Mode opératoire**

La teneur en eau présente dans les différents échantillons (jus de betterave, betterave cuite, pomme de terre fraîche, pomme de terre cuite, yaourt à base de jus de betterave, yaourt enrichie à la purée de pomme de terre) a été déterminée comme suit : 1 g de chaque échantillon a été pesé dans des béchers en verre, puis placés à l'étuve à 105°C jusqu'à ce que le poids soit stable (**NF V 18-109, 1982**).

La teneur en eau est déterminée selon la formule suivante :

$$H \% = \frac{(M1 - M2)}{P} \times 100$$

Soit,

H: Humidité (%).

M1 : Masse du bécher + échantillon avant séchage (g).

M2 : Masse du bécher + échantillon après séchage (g).

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

II.2.3. Mesure de l'acidité titrable

➤ **Principe**

L'acidité titrable correspond à la quantité d'acide lactique contenu dans un yaourt, ou à la quantité d'acide citrique contenu dans un jus. Pour la déterminer, un titrage acido-basique des yaourts et des jus a été réalisé en utilisant une solution basique d'hydroxyde de sodium (NaOH) (NF V 04-385, 1971).

➤ **Mode opératoire**

10 mL d'eau distillée ont été ajoutées à 5 g de chaque échantillon (jus de betterave, yaourt à base de jus de betterave, pomme de terre fraîche, pomme de terre cuite, yaourt enrichi à la purée de pomme de terre et yaourt témoin). Deux à trois gouttes de phénolphaléine ont été également ajoutées au mélange, qui est par la suite titré avec une solution de NaOH (1N) jusqu'au virage de la couleur vers un rose qui persiste quelques secondes (NF V 04-206, 1969).

L'expression des résultats diffère selon la nature de l'échantillon.

Pour les yaourts, la formule utilisée est la suivante :

$$Ac D^{\circ} = (N \times V \times 100 / 20) \times 10 \times 0.9$$

Avec,

Ac D° : Acidité titrable en degré Dornic (°D) ;

V : Chute de burette (mL);

N : Normalité de la solution de NaOH (1N).

Pour le jus et les matrices végétales, les résultats sont exprimés selon la formule suivante :

$$AT (g/100 mL) = (Cb) (N) (meq.wt) (100) / (1000) (v)$$

Soit,

AT : Acidité titrable (%);

Cb : Chute de burette de la solution NaOH (mL) ;

N : Normalité de la solution de NaOH (1 N) ;

meq.wt : Coefficient du standard (64) pour l'acide citrique.

II.2.4. Détermination du taux de cendres

➤ Principe

La détermination du taux de cendres consiste à faire calciner les échantillons dans un four à moufle à 900°C jusqu'à l'obtention d'une poudre blanche à grise (NF V05-113, 1972).

➤ Mode opératoire

Le taux de cendres a été déterminé comme suite : 1 g de chaque échantillon a été pesé dans des creusets en porcelaine, qui sont ensuite placés dans un four à moufle réglé à 900°C pendant une heure et 30 minutes. Le taux de minéraux est calculé selon la formule suivante:

$$\text{Cd}\% = \frac{(M1 - M2)}{P} \times 100$$

Tels que,

Cd: Teneur en cendres (%).

M1 : Masse du creuset + cendres (g).

M2 : Masse du creuset vide (g).

P : Masse de la prise d'essai (1 g).

II.2.5. Détermination du degré Brix

➤ Principe

Le degré Brix est traduit comme étant la teneur en sucres, exprimé en gramme (g), dans 100 g d'échantillon (Smati et al., 2017), par conséquent le taux de matière sèche soluble que contient une solution. Ce paramètre est déterminé par un réfractomètre qui mesure l'indice de réfraction (Reid, 2003).

➤ Mode opératoire

Une goutte de jus ou de yaourt a été déposée sur la surface du premier prisme du réfractomètre, puis le deuxième prisme est placé sur le premier. Face à une source de lumière, la valeur est directement lue à travers l'œil de l'appareil (Witherspoon et Jackson, 1995).

II.3. Analyses phyto-chimiques

II.3.1. Extraction

L'extraction des antioxydants est réalisée selon la méthode modifiée de **Soares et al. (2009)**. Elle consiste à ajuster 5 g de chaque matériel végétal (la betterave fraîche, la betterave cuite, la pomme de terre fraîche et la pomme de terre cuite) à 100 mL d'eau distillée. Après homogénéisation au moyen d'une agitation magnétique pendant une heure à la température ambiante et à l'obscurité, le mélange est filtré, puis conservé dans des flacons en verre au réfrigérateur à 4°C.

Concernant les yaourts enrichis, la méthode d'extraction utilisée est celle de **Zainoldin (2009)** avec quelques modifications. 2.5 mL d'eau distillée ont été ajoutées à 10 g de chaque échantillon de yaourt. Afin de bien les homogénéiser, ces solutions ont été soumises à une agitation magnétique. Ensuite, le pH de la solution est ajusté à 4 avec une solution d'HCl (1N), suivie d'une incubation à 45°C pendant 10 minutes, le mélange est centrifugé à 3000 tour/min pendant 40 minutes à 4°C. Le pH du surnageant récupéré est ajusté à 7 avec une solution de NaOH (1N), suivie d'une deuxième centrifugation à 3000 tour/min pendant 40 minutes à 4°C, le surnageant récupéré sera utilisé pour d'éventuelles analyses.

II.3.2. Dosage des polyphénols totaux

➤ Principe

Le dosage des polyphénols totaux est réalisé par une méthode colorimétrique basée sur les réactions d'oxydo-réduction du réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dernier est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$). En milieu alcalin et en présence des composés phénoliques, ces derniers sont réduits en un mélange d'oxydes bleu de tungstène (W_8O_3) et de molybdène (MO_8O_3) (**Talbi et al., 2015**).

➤ Mode opératoire

La teneur en composés phénoliques totaux a été déterminée selon la méthode décrite par **Singleton et Rossi (1965)**. 0,5 mL du réactif de Folin-Ciocalteu ont été ajoutés à 0,1 mL de chaque extrait dilué. Après trois minutes, 1,5 mL du monocarbonate de sodium (20%) ont été additionnés. Ce mélange est ajusté avec de l'eau distillée jusqu'à 10 mL, puis il a été incubé à l'obscurité. Après 2 heures d'incubation, la lecture des absorbances est faite à 760 nm.

La concentration en composés phénoliques totaux est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide gallique (**annexe IV.1**). Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent acide gallique par 100 gramme de matière sèche (mg EAG/100 g MS).

II.3.3. Dosage des flavonoïdes

➤ Principe

Le contenu en flavonoïdes peut être facilement déterminé à l'aide du chlorure d'aluminium (AlCl_3). Cette méthode est basée sur la formation d'un complexe jaune. Ce dernier absorbe la lumière visible à une longueur d'onde de 430 nm (**Chang et al., 2002**).

➤ Mode opératoire

La teneur en flavonoïdes a été déterminée par la méthode de AlCl_3 de **Ghafar et al. (2010)** qui est décrite comme suit : Un volume de 1 mL de chaque extrait a été ajouté à 1 mL d'une solution d' AlCl_3 (2%). Après 15 minutes d'incubation à l'obscurité, la lecture des absorbances est réalisée à 430 nm.

La teneur en flavonoïdes des différents extraits est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec la quercétine (**annexe IV.2**). Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent quercétine par 100 gramme de matière sèche (mg EQ/100 g MS).

II.3.4. Dosage des bétalaines

➤ Principe

Les bétalaines sont constitués de deux grandes familles à savoir : les bétacyanines et les bétaxanthines. Leurs teneurs sont mesurés respectivement à des longueurs d'ondes de 532 et 482 nm (**Stintzing et al., 2003**).

➤ Mode opératoire

La teneur en bétalaines a été déterminée selon la méthode de **Khatabi et al. (2013)** qui est décrite comme suite : 1 mL de chaque échantillon a été ajouté à 4 mL de méthanol, puis le mélange est filtré. Ensuite, la lecture des absorbances a été réalisée à 532 nm pour les bétacyanines. Pour les bétaxanthines, une dilution ($\frac{1}{4}$) a été d'abord réalisée avant de faire la lecture à 482 nm.

L'expression des résultats est faite selon la loi de Beer-Lambert :

$$A = \varepsilon . L . C$$

Où,

C : Concentration en bétalaines (mol/L) ;

A : Absorbance de l'échantillon ;

L : Chemin optique parcourue (1cm) ;

ε : Coefficient d'extinction molaire (62 000 L. mol⁻¹.cm⁻¹ pour les bétacyanines et 48 000 L. mol⁻¹.cm⁻¹ pour les betaxanthines).

Ensuite les concentrations massiques sont déterminées à partir des concentrations molaires calculées.

II.3.5. Dosage des tanins condensés

➤ Principe

Les proanthocyanidines ou les tanins condensés sont des polymères difficiles à caractériser. Pour les doser, les échantillons doivent être d'abord hydrolysés en milieu acide et à chaud. Cette hydrolyse est une dépolymérisation oxydative des proanthocyanidines qui forment des anthocyanidines colorées, ceci va permettre de les quantifier par spectrophotométrie (**Wilfred et Nicholson, 2006**).

➤ Mode opératoire

La méthode butanol-HCl de **Terrill et al. (1992)** est très recommandée pour l'évaluation de la teneur en tanins condensés qui est décrite comme suit : 500 µL de l'extrait est ajouté à 500 µL de butanol/HCl (95-5). Le mélange est agité à l'aide d'un vortex, puis incubé dans un bain marie à 95°C pendant 15 minutes. Ensuite, la lecture des absorbances est faite à 530 nm.

La teneur en proanthocyanidines est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec la catéchine (**annexe IV.3**). Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent catéchine par 100 gramme de matière sèche (mg EC/100 g MS).

II.3.6. Activité antioxydante

Dans le but d'évaluer l'activité antioxydante des différents échantillons, trois tests différents ont été réalisés : le pouvoir réducteur au phosphomolybdate d'ammonium, le test de l'ion radicalaire ABTS^{•+} et le test au DPPH[•].

a. Test du pouvoir réducteur au phosphomolybdate d'ammonium

➤ Principe

Le test du pouvoir réducteur au phosphomolybdate d'ammonium est basé sur la réduction du molybdate sous la forme Mo⁺⁶ vers la forme Mo⁺⁵ par des substances antioxydantes présentes dans le jus, les légumes ou les yaourts. Une coloration verte apparaît en milieu acide et dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en antioxydants, cela est dû au complexe phosphate-Mo⁺⁵formé (Bougatef et al., 2009).

➤ Mode opératoire

La détermination du pouvoir réducteur a été menée selon la méthode de Silici et al. (2010) qui est décrite comme suit: 0.2 mL de chaque extrait a été mélangé avec 2 mL d'un solvant réactif composé de phosphate de sodium, de phosphomolybdate d'ammonium et d'acide sulfurique. Les solutions ont été ensuite agitées au vortex et incubées dans un bain marie à 90°C pendant 90 minutes. La lecture des absorbances est réalisée à 695 nm après refroidissement des tubes.

b. Test utilisant le cation radical ABTS^{•+}

➤ Principe

Dans la méthode ABTS^{•+} (sel d'ammonium de l'acide 2,2'-azinobis-(3-éthylbenzothiazoline- 6-sulfonique), l'activité antioxydante totale d'une molécule est déduite de sa capacité à inhiber le radical ABTS^{•+}. L'obtention du radical cation ABTS^{•+} résulte du contact de l'ABTS avec la peroxydase metmyoglobine (Miller et Rice Evans, 1997) en présence de H₂O₂, ou d'un oxydant, le dioxyde de manganèse (Benavente-Garcia et al., 2000 ; Miller et al., 1996), ou encore le persulfate de potassium (figure 9) (Moon et Shibamoto, 2009). Cette formation se traduit par l'apparition d'une coloration verte bleue intense. En présence d'un donneur d'hydrogène (agent antioxydant), le passage du radical ABTS^{•+} à la forme non radicalaire s'accompagne de la disparition de cette coloration mesurée à une longueur d'onde de 734 nm (Lien et al., 1999 ; Re et al., 1999).

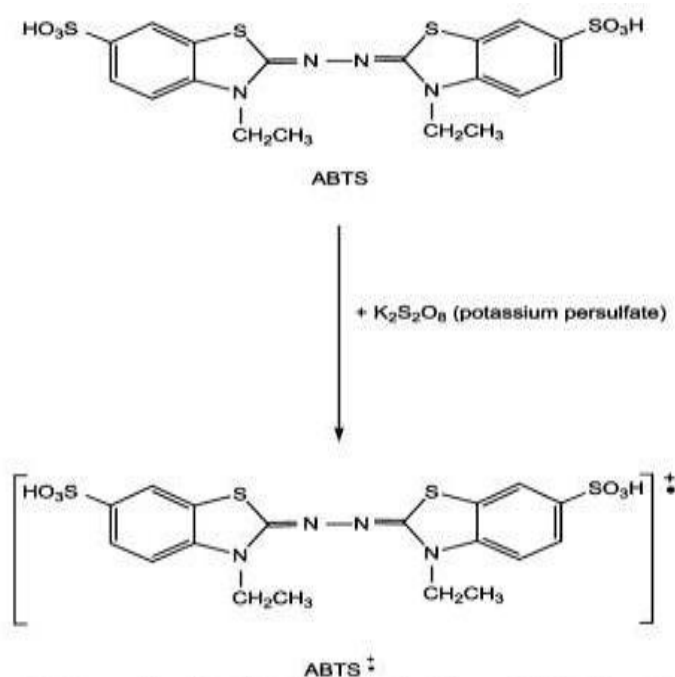


Figure 9 : Formation de l'ABTS^{•+} par le persulfate de potassium (Moon et Shibamoto, 2009).

➤ Mode opératoire

D'après le protocole d'Aazza *et al.* (2011), le radical ABTS^{•+} est produit par réaction entre une solution aqueuse d'ABTS (7 mM) et une solution de persulfate de potassium (K₂S₂O₈, 45 mM), utilisé comme oxydant. Ce mélange est agité pendant 16 heures à l'obscurité puis dilué par l'éthanol jusqu'à obtenir une absorbance de $0.70 \pm 0,02$ à 734 nm.

Un volume de 990 μ L de cette solution d'ABTS^{•+} est ensuite mélangé avec 10 μ L des différents extraits étudiés à différentes concentrations, puis incubés dans l'obscurité à la température ambiante pendant 30 minutes. Par la suite, les absorbances ont été mesurées à 734 nm.

c. Test utilisant le radical DPPH[•]

L'activité de piégeage des radicaux libres a été mesurée en employant le radical libre stable DPPH[•] (C₁₈H₁₂N₅O₆) qui est l'un des principaux tests employés pour explorer l'utilisation des extraits d'herbes comme antioxydants (Markowicz-Bastos *et al.*, 2007).

• Principe

Le DPPH[•] (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) de couleur violette se réduit en DPPH-H (2,2-diphényl-1-picrylhydrazine) de couleur jaune en présence des piégeurs de radicaux libres

(Maataoui *et al.*, 2006). Ce radical est un oxydant qui peut être réduit par l'antioxydant (AH) selon la réaction présentée dans la **figure 10**.

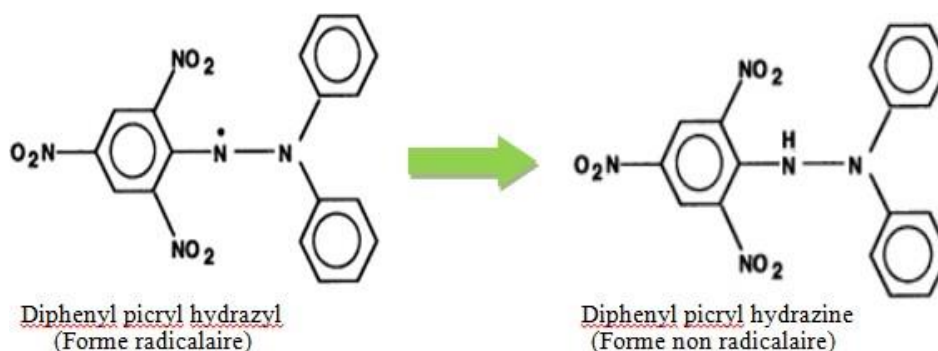


Figure 10: Mécanisme réactionnel de réduction du radical DPPH• (Molyneux, 2004).

- **Mode opératoire**

Pour chaque extrait, cinq dilutions ont été préparées. 2 mL de chaque dilution ont été ajoutés à 0,15 mL d'une solution méthanolique de DPPH• (10^{-3} M). Puis, ce mélange est maintenu dans l'obscurité à la température ambiante pendant une heure. Ensuite, l'absorbance a été mesurée à 517 nm par rapport à un témoin préparé sans l'extrait (Blois, 1958).

II.4. Analyses sensorielles

L'analyse sensorielle est une science multidisciplinaire qui fait appel à des dégustateurs et à leur sens de la vue, de l'odorat, du goût, du toucher et de l'ouïe pour mesurer les caractéristiques sensorielles et l'acceptabilité de produits alimentaires, ainsi que de nombreux autres produits. L'instrument de vérification pour l'analyse sensorielle est le panel de personnes qui ont été recrutées et formées pour réaliser des tâches précises d'évaluation sensorielle (Watts *et al.*, 1991).

Afin d'évaluer la qualité organoleptique des yaourts élaborés à base de jus de betterave et enrichie à la purée de pomme de terre, nous avons procédé à une analyse sensorielle. Une analyse a été effectuée pour trois échantillons de yaourts qui ont été préparés au niveau du laboratoire d'analyse sensorielle de l'université de Bejaia :

- Une analyse sensorielle qui consiste à la description des produits. Cette analyse est réalisée par un groupe de dégustateurs plus qualifié (jury expert) qui sont entraînés et sélectionnés pour effectuer les tests sensoriels. La dégustation a eu lieu au laboratoire d'analyse sensorielle. Les trois produits à déguster étaient codés et anonymes, et accompagné d'un questionnaire que les dégustateurs devaient remplir (**annexe III**) ;

Les résultats des groupes sont récupérés, ensuite analysés de manière fiable grâce au logiciel **XLSTAT version 2014** qui est un logiciel d'analyse de données et de statistiques pour Microsoft Excel.

II.5. Analyses statistique

Les écarts types et les moyennes des tests ont été calculés par **Microsoft Excel 2010**. Une analyse de la variance (ANOVA) a été effectuée pour comparer les résultats des différents échantillons avec le logiciel **Statistica 7.1** et les valeurs P inférieures à 0,01 ont été considérées comme significatives.

Résultats et discussion

I. Analyses physico-chimiques

I.1. Détermination du pH

Le pH est un paramètre déterminant de l'aptitude des aliments à la conservation, il constitue l'un des principaux obstacles que la flore microbienne doit franchir pour assurer sa prolifération (Giddey, 1982).

Les résultats de la détermination du pH sont présentés dans la **figure 11**.

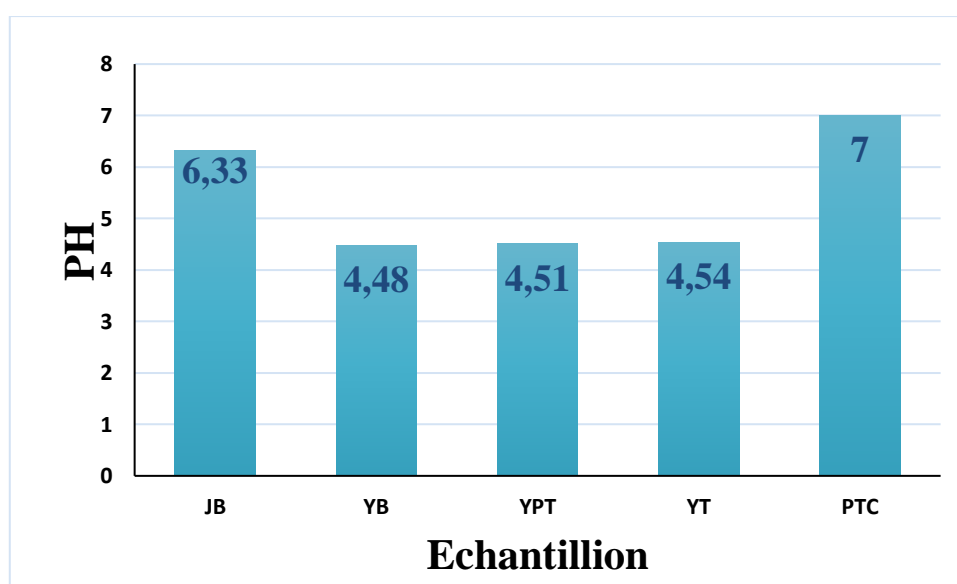


Figure 11 : pH des différents échantillons analysés (**JB** : Jus de betterave, **PTC**: Pomme de terre cuite, **YB**. : Yaourt au jus de betterave, **YPT** : Yaourt à la purée de pomme de terre, **YT**: Yaourt témoin).

La **figure 11** montre que les valeurs de pH les plus élevées sont celles du JB (6,33) et du PTC (7). Ces résultats sont différents de ceux obtenus par **Emelike et al. (2015)**, qui ont trouvé une valeur de pH de 7,1 pour le jus de betterave et aussi celles de **Vinson et al. (2012)**, qui ont rapporté une valeur de 6.1 pour la pomme de terre cuite.

En ce qui concerne les yaourts, la **figure 11** montre que les valeurs de pH des trois yaourts analysés sont très proches. Le pH du YB (4,48) et celui du YPT (4,51) sont inférieurs à celui

du yaourt témoin. Cela est probablement dû à l'enrichissement du Y.B par le jus de la betterave et du YPT par la pomme de terre cuite. Ces résultats s'accordent bien avec ceux rapportés par **Jimoh et al. (2007)** qui varient entre 3,39 et 5,68.

I.2. Détermination de la teneur en eau

L'eau, constituant alimentaire fondamental, intervient sur la valeur nutritive, les propriétés sensorielles (texture, arôme, saveur) et dans la conduite des procédés de conservation et de transformation des aliments (**Ribereau-Gayon, 1968**).

La teneur en eau contenue dans les légumes et les fruits est généralement comprise entre 75 et 95 % du poids total. L'eau a une grande importance car elle contribue à l'apport hydrique du corps humain (**Lecerf, 2018**). Les résultats du test d'humidité sont portés dans la **figure 12**.

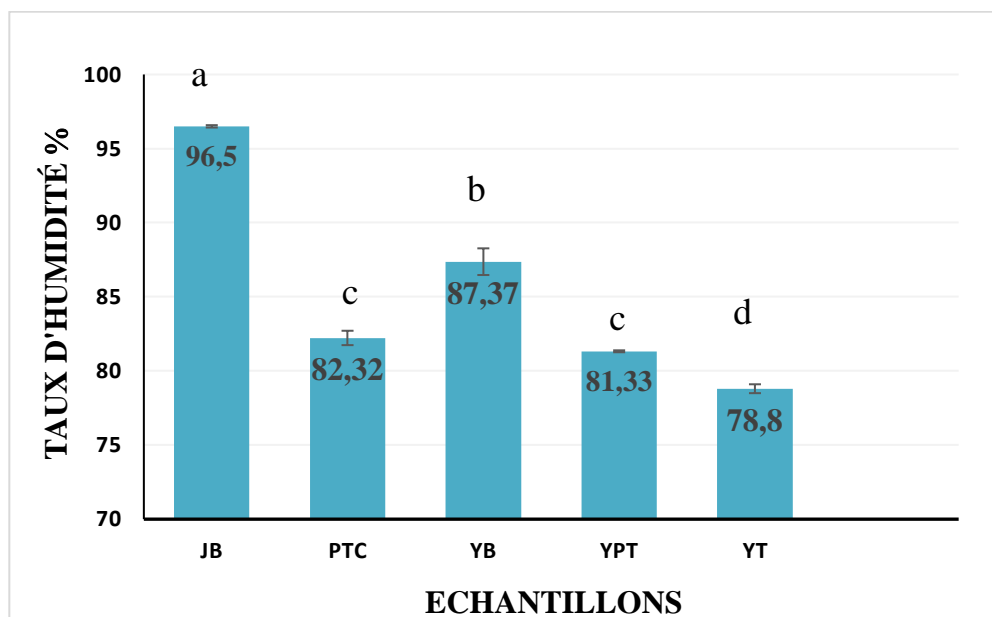


Figure 12 : Taux d'humidité des échantillons analysés (**JB** : Jus de betterave, **PTC**: Pomme de terre cuite, **YB** : Yaourt de la betterave, **YPT** : Yaourt de la pomme de terre, **YT** : Yaourt témoin). Les lettres ont, b, c, d indiquent des différences très significatives ($p < 0,01$).

La **figure 12** montre que le jus de betterave présente la teneur en eau la plus élevée avec une valeur de 96,5 %. Ces résultats ne sont pas loin de ceux rapportés par **Emelike et al. (2015)** qui ont trouvé un taux de 91% d'eau dans le jus de betterave. Il faut également noter que la teneur en eau de la pomme de terre cuite est de 82,23%. Cette valeur est proche de celle trouvée dans une étude réalisée par **Arapoglou et al. (2009)** sur les pelures de pomme de terre (85%).

La **figure 12** montre également que le taux d’humidité du yaourt à base de jus de betterave est de 87.37%. Cette valeur est incluse dans l’intervalle rapporté par **Dhineshkumar et Ramasamy (2016)**, qui est situé entre $62,09 \pm 0.4$ et 91.08 ± 1.6 %, dans leur étude sur des échantillons de yaourt à base de jus de betterave préparés à différentes concentrations.

Dans une autre étude menée par **Bourlioux et al. (2011)**, la teneur en eau des yaourts et des laits fermentés varie de 80 à 90%. Ces valeurs sont proches de celles trouvées dans ce présent travail pour le yaourt à la purée de pomme de terre et le yaourt témoin qui sont respectivement de 81,33 et 78,8%.

I.3. Détermination de l’acidité titrable

L’acidité titrable représente la somme des acides minéraux et organiques présents dans un produit. Elle est exprimée en fonction de l’acide dominant. L’acidité du yaourt est due à l’acide lactique **figure 13**.

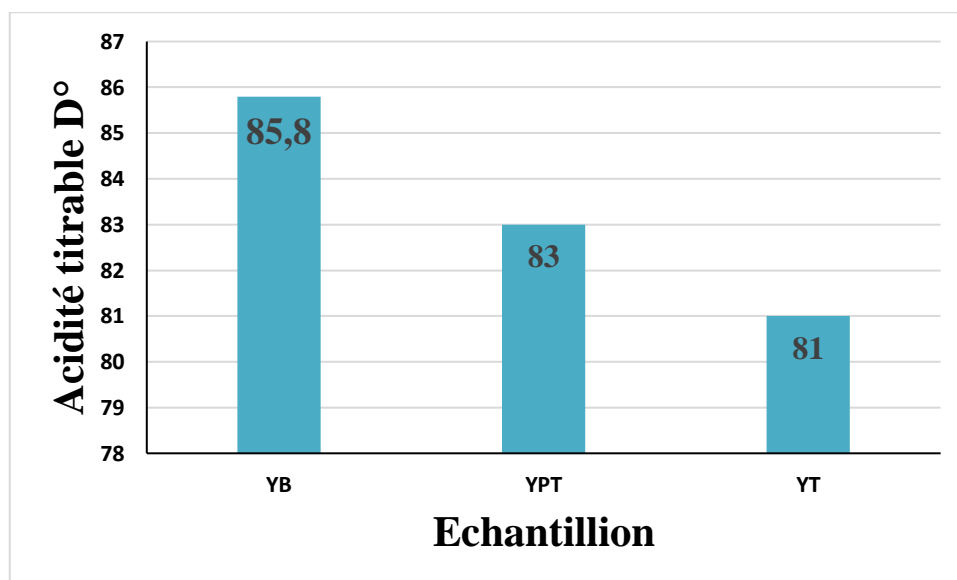


Figure 13 : Acidité titrable des différents échantillons analysés (**YB** : Yaourt de la betterave, **YPT** : Yaourt de la pomme de terre, **YT** : Yaourt témoin).

D’après les résultats obtenus, nous notons que le YB est plus acide que le YPT et le YT qui présentent des acidités titrables de 85.8°D, 83°D et 81°D respectivement. Cette différence est probablement due à l’enrichissement par le jus de la betterave pour YB, par la pomme de terre cuite pour le YPT et à l’activité des bactéries lactiques. Toutefois, l’acidité des trois yaourts élaborés est conforme aux normes données par le JORA qui sont de 78 à 100 °D.

I.4. Détermination de la teneur en cendres

La teneur en cendres est définie comme étant le résidu de l'échantillon après incinération de la matière organique (Audigie et Dupont, 1992). Elle renseigne sur la teneur en minéraux du produit analysé.

Les résultats de ce test sont présentés dans la **figure 14**.

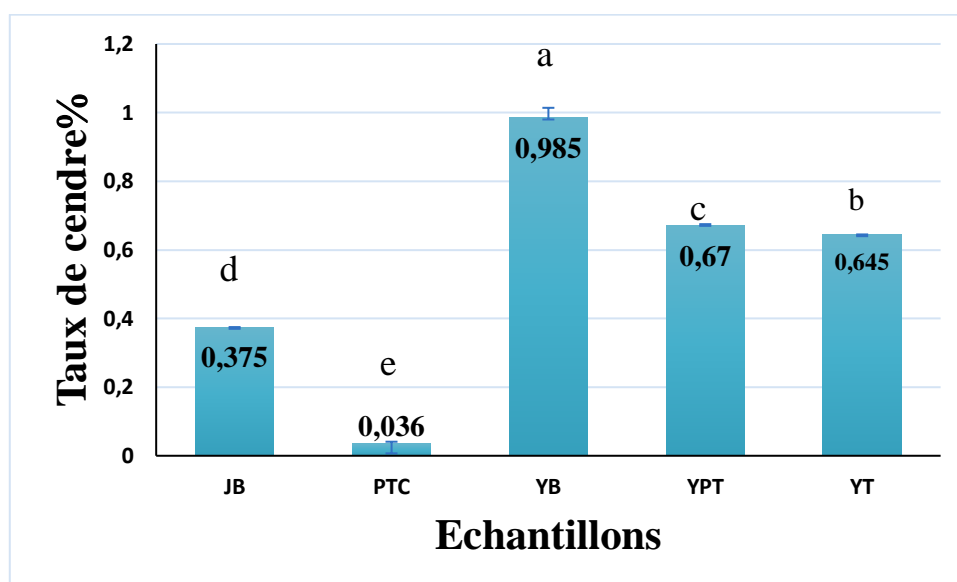


Figure 14 : Taux de cendres des différents échantillons analysés (**JB** : Jus de betterave, **PTC**: Pomme de terre cuite, **YB** : Yaourt de la betterave, **YPT** : Yaourt de la pomme de terre, **YT** : Yaourt témoin). Les lettres a, b, c, d, e et f indiquent des différences très significatives ($p < 0,01$).

D'après la figure 14, le taux de cendres varie d'un échantillon à l'autre. Le taux le plus élevé étant celui du YB avec une valeur de 0,985 %. Cette valeur est incluse dans l'intervalle rapporté par **Dhineshkumar et Ramasamy (2016)** qui sont comprises entre $0,94 \pm 0,05$ et $1,49 \pm 0,05\%$.

La figure 14 montre également que le taux des minéraux pour le YT est de 0,64. Ces résultats sont identiques à ceux apportés par **Kourdache et al. (2017)** qui ont trouvé un taux de cendres de 0.64% pour un yaourt nature. En revanche, celui du yaourt à la purée de pomme de terre est de 0,67 %. Cette petite différence peut être expliquée par le fait que la pomme de terre cuite a apporté une quantité relativement considérable de minéraux. Ce résultat est dans le même sens que celui trouvé pour l'analyse de la pomme de terre cuite qui est de 0,036 %.

Le JB présente un taux de cendres de 0.375. Ces résultats ne sont pas loin de ceux rapportés par **Emelike et al. (2015)** qui ont trouvé un taux de cendres de 0.39 % pour le jus de la betterave.

V.1.5. Taux de Brix

Le degré Brix traduit le taux des matières sèches solubles contenues dans une solution (**Reid, 2003**). Les résultats de la détermination du taux de sucres dans les échantillons sont représentés dans la figure 15.

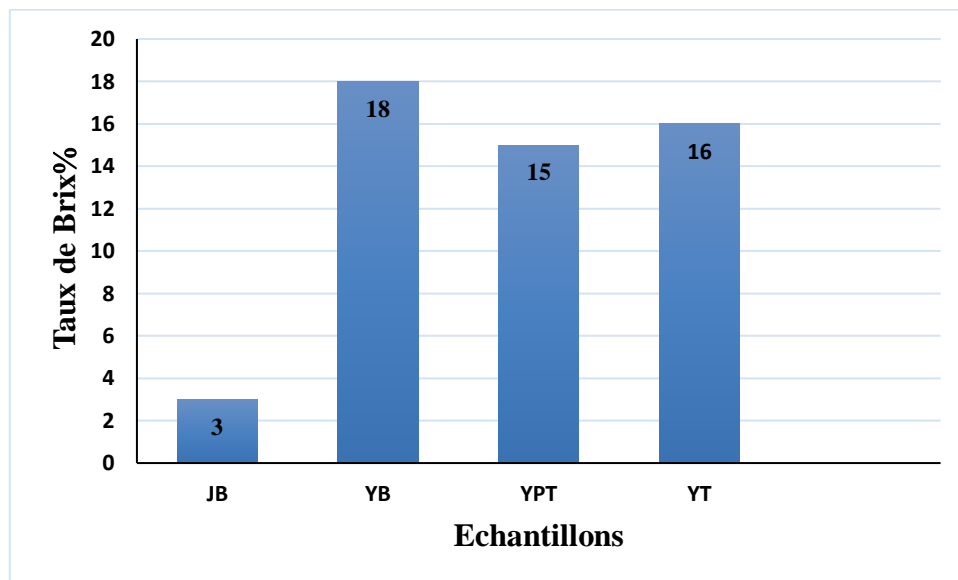


Figure 15 : Taux de Brix. (**JB** : Jus de betterave, **PTC** : Pomme de terre cuite, **YB** : Yaourt de la betterave, **YPT** : Yaourt de la pomme de terre, **YT** : Yaourt témoin).

D’après l’histogramme de la figure 15, le taux de Brix diffère d’un échantillon à l’autre avec des valeurs variant de 3 à 18%.

Dans une étude menée par **Kale et al. (2018)**, le taux de Brix du jus de betterave est de 9% qui est supérieur à celui trouvé dans ce présent travail (5 %).

Selon **Zanhi et Jideani (2012)**, le total soluble solide pour un yaourt est compris entre 10,73 et 13,12%, et ceux trouvés dans cette présente étude sont 16, 18 et 15 % pour le YN, le YB et le YPT respectivement. Ces différences entre les résultats obtenus dans ce présent travail et ceux de la littérature pourraient être dues à l’ajout de sucre lors de la préparation des yaourts, ou aux conditions climatiques, la répartition géographique, la nature du sol et la variété du légume utilisé.

II. Analyses phytochimiques

II.1. Teneurs en polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux donne une estimation globale de la teneur des différentes classes de composés phénoliques contenus dans les échantillons analysés.

La teneur en composés phénoliques des différents échantillons est présentée dans la **figure 16**.

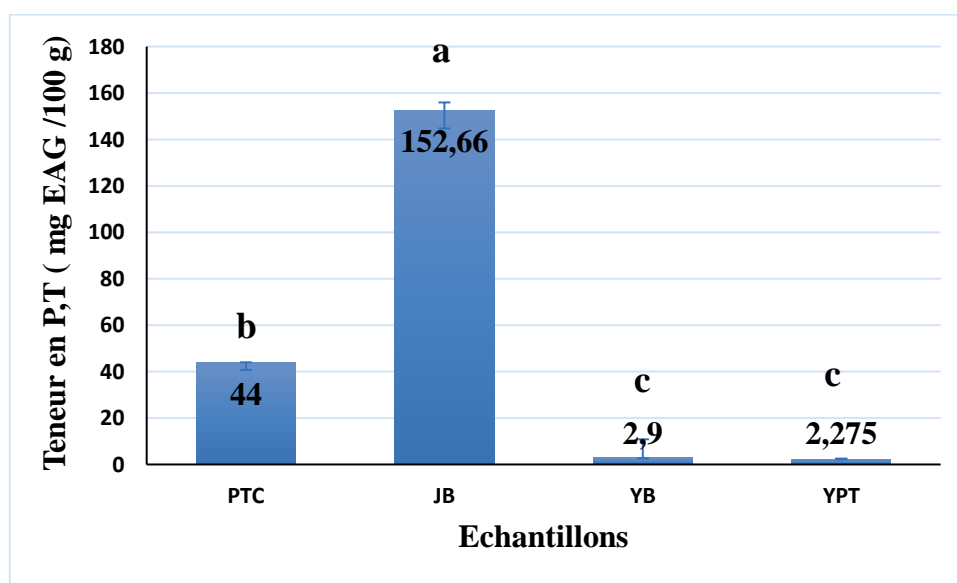


Figure 16 : Teneurs en polyphénols totaux des différents échantillons analysés (**JB** : Jus de betterave, **PTC** : Pomme de terre cuite, **YB** : Yaourt de la betterave, **YPT** : Yaourt de la pomme de terre). Les lettres a, b et c indiquent des différences très significatives ($p < 0,01$).

La teneur en polyphénols totaux de JB est de 1.52 mg EAG/g, est largement inférieure à celle trouvée par **Rossetto et al. (2009)** qui est de 12,6 mg/g, lors de leur étude menée sur la betterave. En revanche, elles sont largement supérieures à celles trouvées par **Slavov et al. (2013)** qui est de 728,1 mg/L (72,81 mg/100 g) dans leur travail sur le jus de betterave rouge obtenu après un prétraitement au micro-onde et thermique. La différence des teneurs en polyphénols totaux pourrait être dû à des facteurs génétique, climatique, au degré de maturation, et à la région et la période de la récolte.

D'après **Franscini et Palma (2018)**, la teneur en polyphénols totaux dans les aliments et les fruits est très variée, même d'un fruit à l'autre dans un même arbre. Cette variation est due aux types de sols, l'exposition au soleil, le niveau de maturation à la cueillette, la quantité des précipitations et le type d'agriculture pratiqué.

La teneur en polyphénols totaux de PTC est de 44 mg EAG/100g, Des valeurs plus élevées pour le contenu phénolique de la pomme de terre ont été obtenues par **Kaur et Kapoor (2002)** et **Vinson et al. (1998)**, soit 231,46-9,73 et 100,37-66,35 mg EAG/100 g, respectivement. Cette différence des teneurs en polyphénols totaux pourrait être due au traitement thermique appliqué sur la pomme de terre.

La **figure 16** montre que les YB et YPT présentent les teneurs en polyphénols les plus faibles par rapport à celles de JB et PTC avec des valeurs respectivement de 2.9 mg EAG/100 g et 2.275 mg EAG/100g. Cette différence pourrait être due à des interactions entre une partie des polyphénols et les composants du yaourt. En effet, une étude menée par **Dupas (2009)** a montré qu'il existe des interactions entre les composés phénoliques et d'autres nutriments tels que les polysaccharides et les protéines. Ces interactions consistent à la formation de liaisons réversibles ou non entre les composants de l'aliment.

Il a été démontré que la nature du milieu influence la solubilité des composés phénoliques dans des milieux riches en lipides ; il y a une perte importante en composés phénoliques lors de la fabrication, ce qui justifie probablement la différence observée dans ce présent travail (**Dupas, 2009**).

II.2. Teneurs en flavonoïdes

Les flavonoïdes sont présents dans la majeure partie des aliments que nous consommons, ils sont localisés dans la peau des fruits et des légumes (**Franscini et Palma, 2018**).

Les teneurs en flavonoïdes des différents échantillons sont illustrées dans la figure 17.

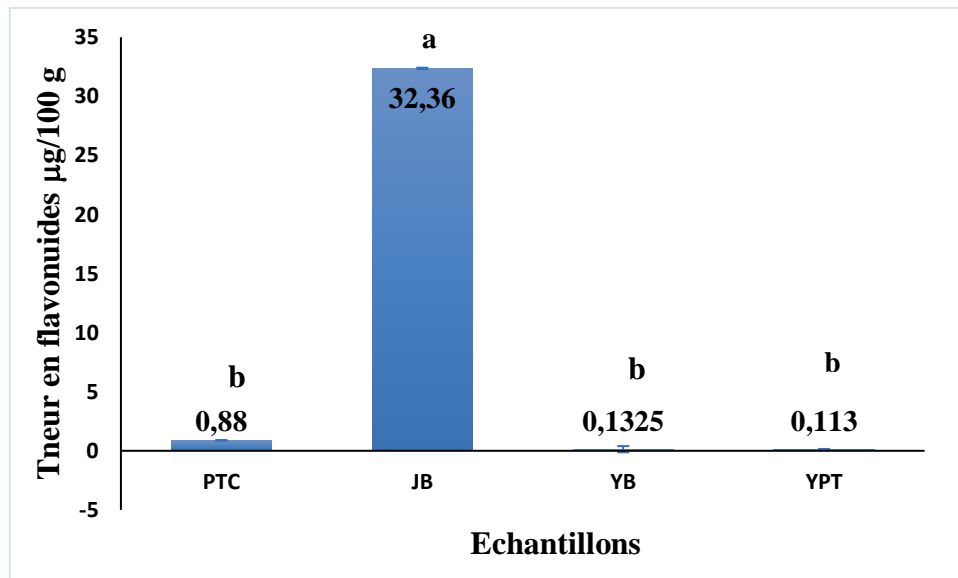


Figure 17 : Teneurs en flavonoïdes des différents échantillons analysés (**JB** : Jus de betterave, **PTC** : Pomme de terre cuite, **YB** : Yaourt de la betterave, **YPT** : Yaourt de la pomme de terre). Les lettres a et b indiquent des différences très significatives ($p < 0,01$).

La figure 17 montre que le **JB** est plus riche en flavonoïdes (32,36 µg/100 g) que les autres échantillons.

En comparant à d'autres travaux, **Fidelis (2016)** a noté lors de son étude sur la capacité antioxydante de la betterave brute et transformée que la teneur en flavonoïdes dans le jus de betterave est de $83,34 \pm 3,34$ mg/g ($8334100 \mu/100$ g), qui est de loin plus élevée que celle trouvée dans ce présent travail (32,36 µ/100g).

Dans leur étude menée sur plusieurs variétés de la pomme de terre, **Lewis et al. (1998)** ont déterminés les concentrations des flavonoïdes dans différentes parties, dont les pelures. Les teneurs en flavonoïdes obtenues vont de 100 à 1094 µg/100 g de matière fraîche, qui est de loin plus élevée que celle trouvée dans ce présent travail (0,88 µg/100 g de MS). Cette différence des teneurs en flavonoïdes pourrait être due au traitement thermique appliqué sur la pomme de terre.

Les teneurs en flavonoïdes des yaourts élaborés YB et YPT sont très faibles, et qui sont de 0.1325 et 0.113 µg/100g respectivement.

Selon **Franscini et Palma (2018)**, la teneur en flavonoïdes varie d'un aliment à l'autre, d'un fruit à l'autre et dans un même arbre. Cette variation est due au type de sols, au degré de

maturation, à la quantité des précipitations et à l'exposition au soleil et au type d'agriculture pratiqué.

II.3. Teneurs en bétalains

Les bétalaines contiennent des pigments divisés en deux groupes, des pigments jaunes (bétaxanthines) et des pigments rouges (bétacyanines). Les résultats de l'analyse effectuée sont représentés dans la figure 18.

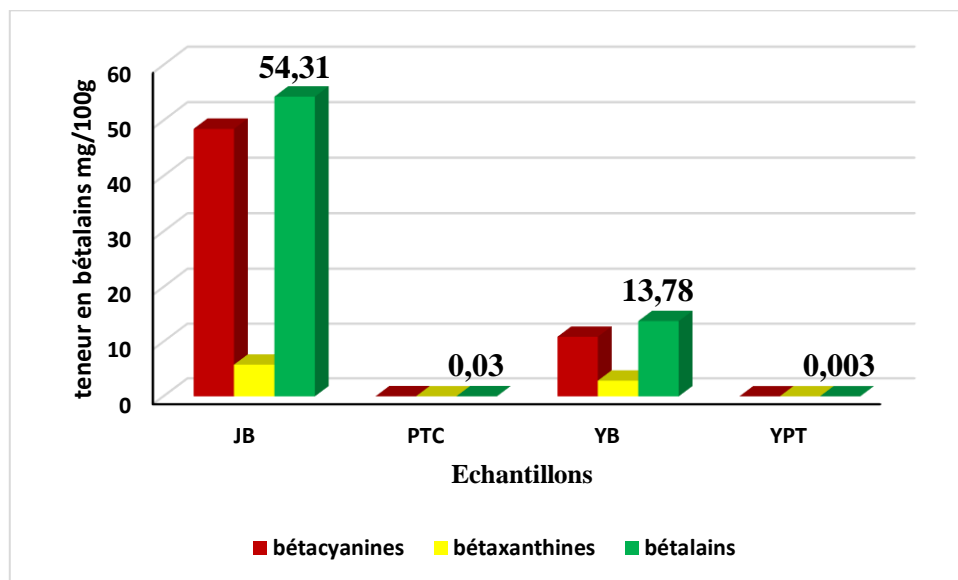


Figure 18 : Teneurs en bétalaines des différents échantillons analysés (**JB** : Jus de betterave, **PTC** : Pomme de terre cuite, **YB** : Yaourt de la betterave, **YPT** : Yaourt de la pomme de terre).

La **figure 18** montre que le JB présente la teneur la plus élevée en bétalaines avec une valeur de 54.31 mg/100 g. cette valeur est supérieur à celles trouvées par **Kale et al. (2018)**, qui ont noté que le jus de betterave contient une teneur de 14.20 mg/100g en bétalaines. **Wruss et al., (2015)** ont obtenus des teneurs allant de 0,8 à 1,3g/L en bétalaines lors de leur étude sur la caractérisation de la composition du jus et des produits commercialisés de betterave.

Selon **Czapski et al. (2009)**, cette différence pourrait être due à la variété de l'espèce et sa provenance.

Concernant le yaourt à base de jus de betterave, sa teneur en bétalaines est de 13.78 mg/100g. Cette valeur est inférieure à celles trouvée dans le jus correspondant. Ceci pourrait être dû au traitement thermique subis au court de leur préparation. Ainsi, d'après une étude récente

menée par **Sawicki et al. (2019)**, le traitement thermique et les différents processus technologiques ont un effet sur les bétalaines de sorte qu'ils réduisent leurs teneurs de 42 à 70%.

II.4. Teneurs en proanthocyanidines

Les tanins condensés ou les proanthocyanidines sont largement répandus dans l'alimentation humaine (fruits, légume, thé, dattes, ...). Les tanins jouent un rôle important dans les qualités organoleptiques et nutritionnelles des produits (**Porter et al., 1986**).

Les résultats des teneurs en proanthocyanidines sont présentés dans la **figure 19**.

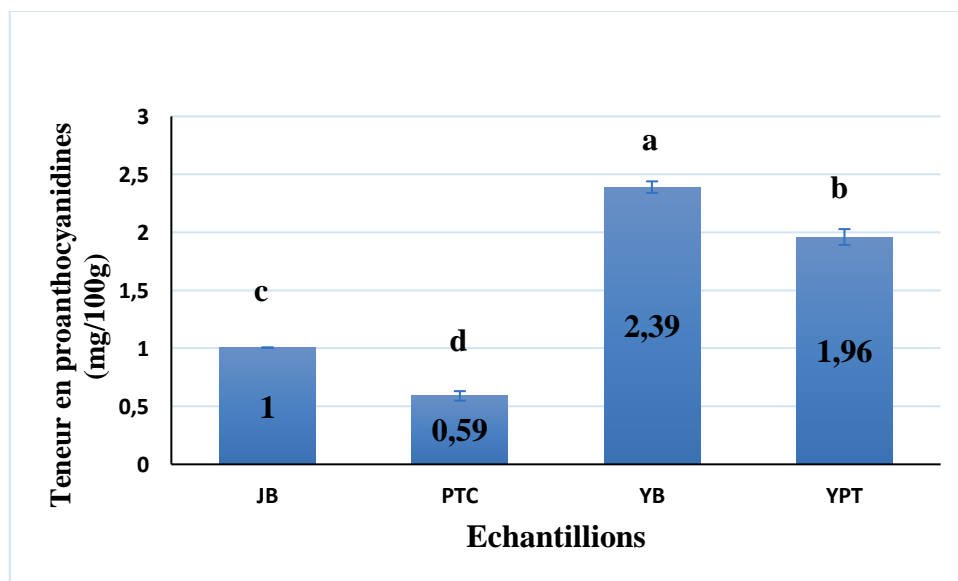


Figure 19 : Teneurs en proanthocyanidines des différents échantillons analysés (**JB** : Jus de betterave, **PTC** : Pomme de terre cuite, **YB** : Yaourt de la betterave, **YPT** : Yaourt de la pomme de terre). Les lettres a, b, c et d, indiquent des différences très significatives ($p < 0,01$).

D'après la **figure19**, le YB présente la teneur la plus élevée en proanthocyanidines, suivie du YPT, puis le JB et pour finir par PTC.

La teneur en proanthocyanidines de JB est de 1 mg/100g, est inférieure à celle de PTC qui est de 0,59 mg/100g.

II.5. Activité antioxydante

II.5.1. Test du pouvoir réducteur

Le test du pouvoir réducteur au phosphomolybdate d'ammonium s'exprime par la réduction de l'ion Mo^{6+} en ion Mo^{5+} . Ce dernier se complexe avec le phosphate qui aboutit à une couleur verte dont l'intensité est proportionnelle à la concentration de l'extrait (Prasad et al., 2009).

L'IC50 représente la concentration de l'extrait qu'il faut pour réduire 50% des ions Mo^{6+} en ions Mo^{5+} .

Les résultats des IC50 des différents extraits sont représentés dans la **figure 20**.

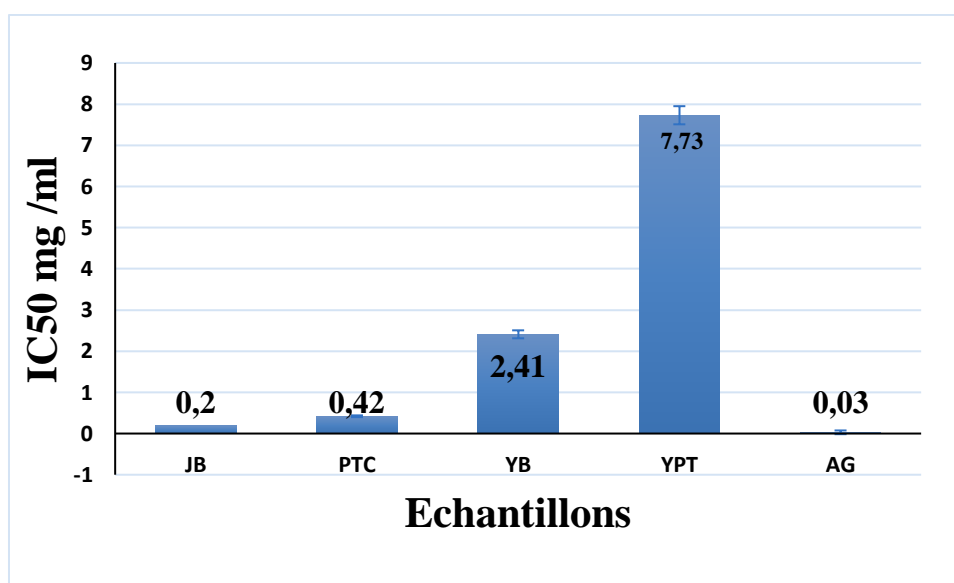


Figure 20 : IC50 des différents échantillons analysés (AG : Acide gallique, JB : Jus de betterave, PTC : Pomme de terre cuite, YB : Yaourt de la betterave, YPT : Yaourt de la pomme de terre).

La **figure 20** montre que le JB et la PTC ont réduit 50% des ions Mo^{6+} en ions Mo^{5+} par une concentration de 0.2 et 0.42 mg/mL respectivement. Ces résultats montrent clairement que le JB a le pouvoir réducteur le plus élevé par rapport au PTC.

50% des ions Mo^{6+} sont réduits en ions Mo^{5+} par des concentrations de 2.41 et 7.73 mg/mL des extraits de yaourts YB et YPT respectivement. Ces résultats montrent que le YB a le pouvoir réducteur le plus élevé par rapport au YPT.

II.5.2. Test utilisant le radical ABTS^{•+}

La méthode de piégeage du radical ABTS est une excellente méthode pour déterminer l'activité antioxydante pour une large diversité de substances, comme antioxydants donneurs d'hydrogène ou piègeurs de radicaux en phase aqueuse et d'antioxydant briseur de chaînes, ou bien comme piègeur de radicaux pyroxylé (**Re et al., 1999**).

Les résultats sont exprimés en terme d'IC₅₀ qui est défini comme étant la concentration d'extrait pour laquelle 50% du radical ABTS^{•+} est inhibé (**figure 21**).

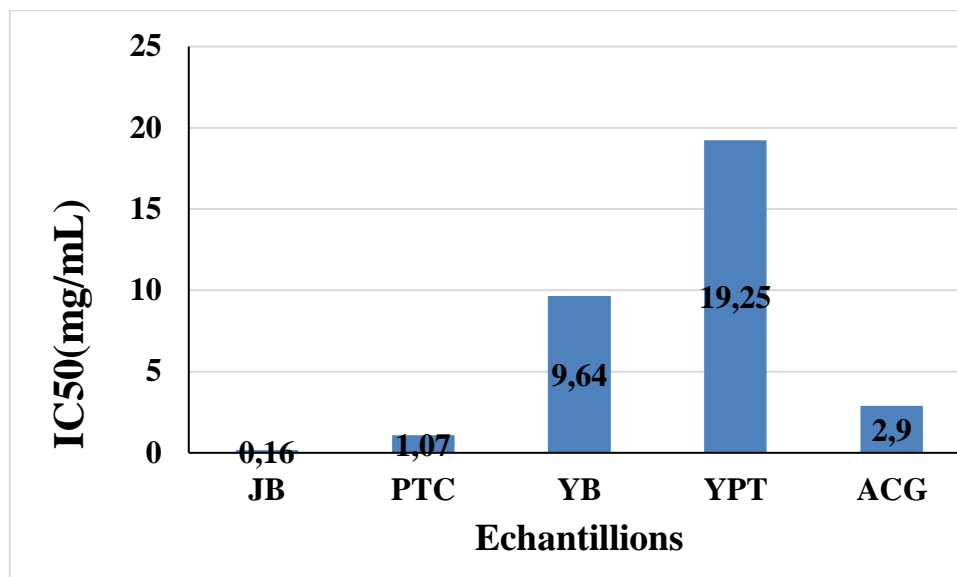


Figure 21 : IC₅₀ des différents échantillons analysés (**AC. G** : Acide gallique, **JB** : Jus de betterave, **PTC** : Pomme de terre cuite, **YB** : Yaourt au jus de betterave, **YPT** : Yaourt en pomme de terre).

D'après la **figure 21**, le YPT présente l'IC₅₀ la plus élevée, suivie du YB puis de ACG et PTC et pour finir par JB. Nous constatons que le YPT présente un pouvoir de piégeage de radicaux libre le plus faible.

50% du radical ABTS^{•+} a été inhibé par une concentration de 0.16 et 1.07 mg/mL de JB et PTC respectivement. Par contre des quantités plus élevées en YPT et YB 19,25 et 9,64 mg/mL respectivement ont été utilisées pour inhiber 50% du radical ABTS^{•+}.

D'après **Jayaprakasha et al. (2008)**, la différence dans l'activité antioxydante des différents extraits peut être attribuée à la différence dans leurs composants chimiques tels que les phénols, l'acide ascorbique et les caroténoïdes.

II.5.3. Test utilisant le radical DPPH'

Le radical DPPH' est l'un des substrats les plus utilisés généralement pour l'évaluation rapide et directe de l'activité antioxydante en raison de sa stabilité en forme radicale et la simplicité de l'analyse (**Doukani et al., 2014**).

Les résultats sont exprimés en terme d'IC50 qui est défini comme étant la concentration d'extrait pour laquelle 50% du radical DPPH' est inhibé (**figure 22**).

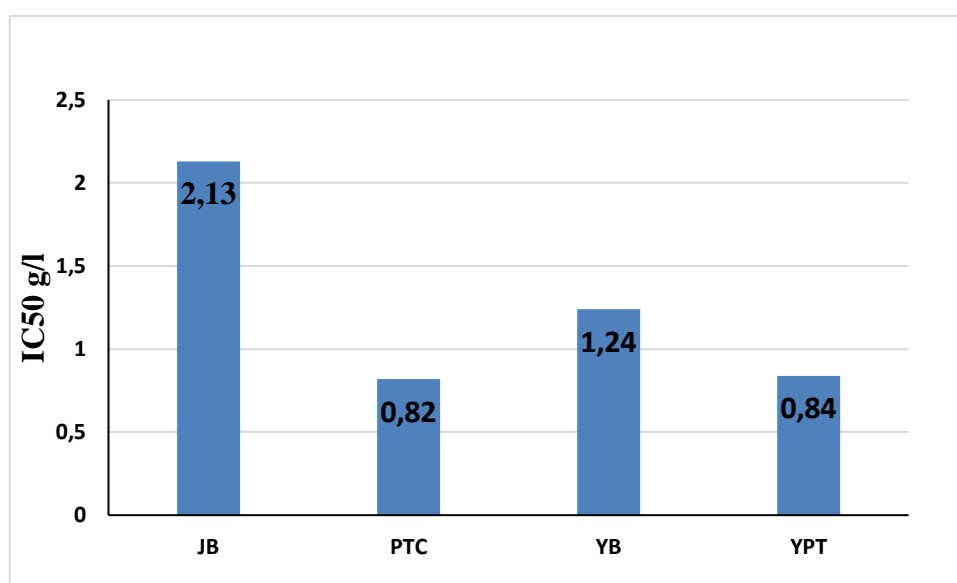


Figure 22 : IC50 des différents échantillons analysés (**JB** : Jus de betterave, **PTC** : Pomme de terre cuite, **YB** : Yaourt de la betterave, **YPT** : Yaourt de la pomme de terre).

D'après la **figure 22**, le JB présente l'IC50 la plus élevée, suivie du YB puis de YPT et PTC. Donc c'est le JB qui présente l'activité scavenger la plus faible.

L'activité la plus importante est observée pour l'extrait de PTC suivie de celui de YPT (0.82 et 0.84 g/mL, respectivement). L'inhibition du radical DPPH' par les antioxydants présents dans les extraits est due à leur capacité à céder un atome d'hydrogène. Plus ils possèdent un grand nombre de groupement carboxyle, plus ils présentent une grande capacité à piéger les radicaux libres (**Chen et Ho, 1995**).

III. Analyse sensorielle

III.1. Test du plan d'expérience

Afin d'assurer que les données de l'analyse sensorielle sont exploitables dans des meilleures conditions statistiques possibles, un plan d'expérience a été réalisé. Ce test permet aux spécialistes de l'analyse sensorielle de disposer d'un outil simple et puissant pour évaluer les produits (**tableau IV**).

Tableau IV : Évaluation du plan d'expériences.

A-Efficacité	1,000
D-Efficacité	1,000

Les résultats du **tableau IV** obtenus après la réalisation du plan d'expériences et l'affichage des critères A-Efficacité et D-Efficacité, montrent que le plan optimal pour cette analyse a été trouvé et que les données sont exploitables.

III.2. Caractérisation du produit

Ce test permet aux utilisateurs de XL-STAT d'identifier rapidement quels sont les descripteurs discriminants d'une série de produits évalués lors d'une étude sensorielle, et quelles sont les caractéristiques importantes des différents produits (**Husson et Pagès, 2003**).

III.3. Pouvoir discriminant par descripteur

Ce test permet de classer les descripteurs en ordre décroissant selon leur pouvoir discriminant.

Les résultats de ce test sont présentés dans la figure 23.

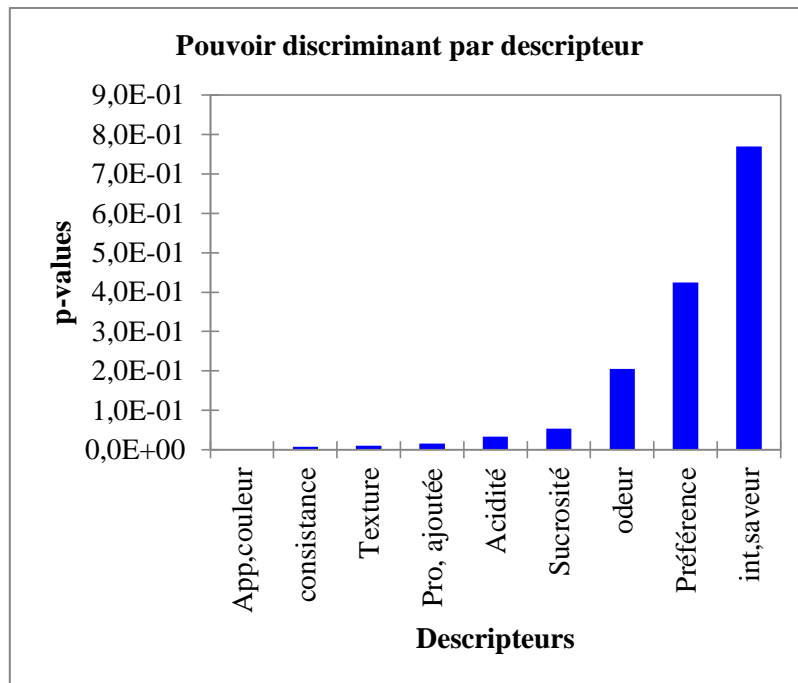


Figure 23 : Pouvoir discriminant par descripteur.

La **figure 23** montre que la couleur est le descripteur le plus discriminant, cela signifie que les juges experts ont remarqué une grande différence entre les échantillons préparés.

Les descripteurs : la consistance, la texture, produit ajoutée, l'acidité et la sucrosité ont un pouvoir discriminant légèrement inférieur à celui de la couleur. En revanche, l'odeur, la préférence et l'intensité de la saveur ont un faible pouvoir discriminant. Cela veut dire que les juges experts n'ont pas remarqué de différences entre les échantillons.

III.4. Moyennes ajustées par produit

L'objectif de ce test est de définir la moyenne ajustée calculée à partir du modèle pour chaque combinaison descripteur-produit, et qui permet d'identifier les caractéristiques de chaque produit.

Les résultats des moyennes ajustées par produit sont représentés dans le **tableau V**.

Tableau V: Moyennes ajustées par produit.

	Pro, ajoutée	int,saveur	App,couleur	odeur	Sucrosité	Acidité	Préférence	consistance	Texture
Echant B	2,900	3,300	4,000	2,200	3,100	2,300	5,800	1,300	3,000
Echant C	2,400	3,300	1,600	2,700	2,600	3,300	5,600	2,200	3,300
Echant A	1,600	3,100	1,500	2,300	3,100	2,700	6,300	2,700	4,200

Le **tableau VI** représente les moyennes ajustées pour chaque produit analysé. Les cellules qui ont une couleur bleu représentent les moyennes qui sont significativement plus grandes que la moyenne globale, les cellules en rouge représentent les moyennes qui sont significativement plus petites que la moyenne globale, et les cellules en blanc représentent les moyennes proches de la moyenne globale.

D’après ces résultats, l’échantillon **B** est caractérisé par une intensité de la couleur plus élevée comparant aux autres yaourts, cependant celle de l’acidité, la consistance et la texture sont plus faibles. Le produit ajouté identifié est la betterave, sa couleur est rose foncé. Les autres caractéristiques sont d’une intensité proche de la moyenne.

L’échantillon **C** est caractérisé par une intensité de l’acidité supérieure à la moyenne des notes attribuées par les juges, une faible saveur sucrée et une couleur beige. Le produit ajouté est la pomme de terre. Les autres caractéristiques sont d’une intensité proche de la moyenne.

L’échantillon **A** est caractérisé par sa consistance et sa texture plus élevée par rapport aux d’autres caractéristiques. Les propriétés : produit ajouté et la couleur sont d’une intensité inférieure à la moyenne.

III.5. Analyse en composantes principales

L’analyse en composantes principales (ACP) est l’une des méthodes d’analyse de données multivariées les plus utilisées. Elle permet de construire des variables appelées composantes principales qui sont des combinaisons linéaires des variables initiales à partir de n variables continues initiales (**Tufféry, 2012**) (**figure 24**).

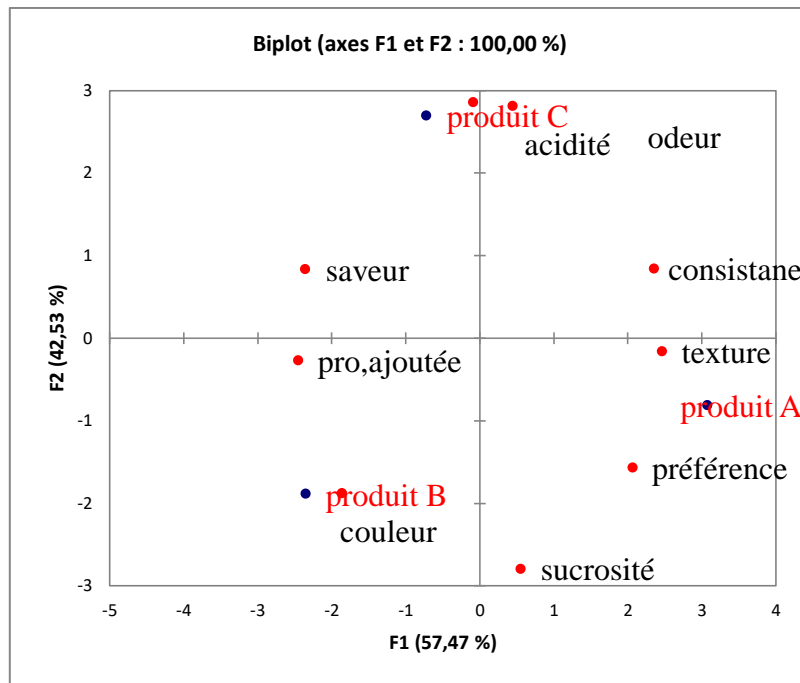


Figure 24 : Corrélation entre les variables (a) et les facteurs (b).

La carte obtenue (figure 24), dont la qualité est assez bonne, permet de représenter 100 % de la variabilité. Les experts ont constaté une différence entre les produits **A**, **B** et **C**. Le produit **A** est caractérisé par sa texture, sa saveur sucrée et sa préférence, par contre le produit **B** est caractérisé par sa couleur et le produit ajoutée, tandis que le produit **C** est caractérisé par sa consistance, son odeur et son acidité.

Conclusion et perspectives

L'objectif de la présente étude est de formuler deux yaourts brassés, l'un à base de jus de betterave et l'autre enrichi à la purée de pomme de terre, et d'étudier l'effet de cette incorporation sur les propriétés physico-chimiques, antioxydantes et sensorielles des yaourts élaborés.

À la lumière des résultats des analyses physico-chimiques, le jus de la betterave et la pomme de terre cuite sont caractérisés par un pH de 6,33 et 7 respectivement ; un taux d'humidité de 96.5 % pour le jus de la betterave et 82,32 % pour la pomme de terre cuite ; ainsi que des teneurs importantes en cendres, soit 0,75 et 0.036 % pour le JB et la PTC respectivement. Les légumes choisis constituent une bonne source de substances bioactives telles que les composés phénoliques avec 152.66 mg EAG/100 g MS pour le jus de betterave et 44 mg EAG /100 g pour la pomme de terre cuite. Le jus de la betterave présente des teneurs de 32.36 µg EQ/100 g de flavonoïdes et 54.31 mg/100 g de bétalaines. Le jus de la betterave présente le pouvoir réducteur et une activité de piégeage du radical ABTS^{•+} les plus élevés. Par contre, la pomme de terre cuite présente un pouvoir scavenger du radical DPPH[•] plus élevé;

Le taux d'humidité du yaourt à base de jus de betterave est de 87,37% et celui du yaourt enrichi à la purée de pomme de terre est de 81,33%. Ils sont aussi caractérisés par un pH acide (4,48) et (4,51) respectivement et moyennement sucré. Il faut également noté que le yaourt élaboré à base de jus de betterave est caractérisé par une acidité légèrement supérieure à celle de yaourt enrichie à la purée de pomme de terre (85,8°D) et (83°D) respectivement. Toutefois, l'acidité des deux yaourts élaborés est conforme aux normes données par le journal officiel de la république algérienne qui sont de 78-100°D. Ces yaourts présentent une teneur en composés phénoliques de 2.9 mg EAG/100 g MS pour le yaourt à base de jus de betterave et de 2,275 mg EAG/100 g pour celui enrichi à la purée de pomme de terre. Ce dernier présente une teneur en flavonoïdes de 0,88 µg/100 g et 1,96 mg/100 g en proanthocyanidines. Celui à base de jus de betterave contient 13,78, 0,1325 et 2,39 mg/100 g en bétalaines flavonoïdes et proanthocyanidines respectivement. Il présente le pouvoir de piégeage du radical ABTS^{•+} et le pouvoir réducteur le plus élevé, par contre celui enrichi à la purée de pomme de terre présente le pouvoir scavenger du radical DPPH[•] le plus élevé.

Les résultats de l'analyse sensorielle des yaourts élaborés montre que le yaourt brassé à base jus de betterave est caractérisé par sa couleur appréciée et les produits ajoutés, et celui enrichi à la purée de la pomme de terre est caractérisé par sa consistance, son degré d'acidité et son odeur appréciée.

Les résultats de la présente étude restent préliminaires, donc il serait intéressant d'envisager d'autres aspects à savoir :

- L'étude de la formulation du yaourt à base de légumes et de leurs jus par le plan d'expériences pour trouver la meilleure formule possible ;
- Des analyses microbiologiques pour assurer la conformité de produits finis ;
- Effectuer un suivi des yaourts élaborés au cours de stockage et vérifier l'impact de l'incorporation de jus de betterave et la purée de pomme de terre sur la stabilité physico-chimique et microbiologique des yaourts élaborés ;
- Réaliser d'autres analyses nécessaires pour mieux connaître la valeur nutritionnelle de ce yaourt : valeur énergétique, matière sèche, protéines, lipides, glucides et vitamines.

Les résultats de l'analyse sensorielle des yaourts élaborés à base de jus de betterave et celui enrichie à la purée de pomme de terre ont montré qu'ils sont appréciés avec un degré compris entre 80% à 100% et 20% à 40% respectivement.

Le yaourt brassé à base jus de betterave est caractérisé par sa couleur et son odeur appréciée, et celui à base de purée de la pomme de terre est caractérisé par son odeur appréciée et le légume identifié.

Références bibliographiques

A

Aazza S., Lyoussi B. & Miguel M.G. (2011). Antioxidant activity of some Moroccan hydrosols. *J. Med. Plants Res.*, 5 : 6688–6696.

Alilat Y. 2017. Pomme de terre : La spéculation à l'origine de la hausse des prix le quotidien d'Oran. 31 Janvier 2017. N°6748.

Arvy, M-P et Galouin, F. (2007). Légumes d'hier et d'aujourd'hui. Édition Belin. 608p.

Audigié C, Dupont G. (1992). Principes des méthodes d'analyse biochimique, Wolters Kluwer France.

Auroi, C., (1987). -Exposé présenté à la conférence générale de l'Association Européenne des Institut de Formation et des Recherche en matière de Développement (EADI) ,1-5 sep.1987, Amsterdam.

Amarowicz, R., Pegg, R.B., Rahimi-Moghaddam, Barl, B., Weil, J.A., 2004. Free-radical scavenging capacity and antioxidant activity of selected plant species from the Canadian prairies. *Food chemistry* 84, 551-562.

B

Benavente-Garcia, O., Castillo J. & Lorente J. (2000). Antioxidant activity of phenolic extracted from *oleaeuropaea* L leaves, *Food Chem*, 68: 457-62.

Bergamaier D. (2002). Production d'exo polysaccharides par fermentation avec des cellules immobilisées de *Lb. Rhamnus* RW-9595M d'un milieu à base de perméat de lactosérum. Thèse de Doctorat. Université de Laval, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Quebec, 108p.

Berger, M.M., 2006. Manipulations nutritionnelles du stress oxydant : état des connaissances. *Nutrition Clinique et Métabolisme* 20 (1), 48-53.

Bergthaller W., Witt W. et Goldeau H-P. (1999). Potato starch technology. *Starch/ Stärker*, 51: 235-242.

Bourlioux, P., Braesco, V. & Mater, D. D. G. (2011). Yaourts et autres laits fermentés. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 46, 305-314.

Bourlioux, P., V. Braesco and D. D. G. Mater, (2011) : Yaourts et autres laits fermentés. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 46, 305-314.

Barizão, É.O., Visentainer, J.V., Almeida, V.C., Ribeiro, D., Chisté, R.C., Fernandes, E., 2016. *Citharexylum solanaceum* fruit extracts: Profils of phenolic compounds and carotenoids and their relation with ROS and RNS scavenging capacities. *Food Research International* 86, 24-33.

Bruneton, J., 1999. Pharmacognosie : Phytochimie et plantes médicinales. 3^{ème} édition. Technique et Documentation, Paris. 1120 p.

Balasundram, N., Sundram, K., Sammam, S., 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry* 99, 191-203.

Bossokpi, M.I.P.L., 2003. Étude des activités biologiques de *Fagara zanthoxyloides* Lam (Rutaceae). Thèse de doctorat. Université de Bamakou. 127 p.

Bahorun, T., 1997. Substances naturelles actives: la flore mauricienne, une source d'approvisionnement potentielle. Food and Agricultural Research Council. Proceedings second annual meeting of agricultural scientists. Réduit, Mauritius. pp 83-94.

Balasundram, N., Sundram, K., Sammam, S., 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry* 99, 191-203.

C

Chang C. C., Yang M. H., Wen H. M. et Chern G.H. (2002). Estimation of Total Flavonoid content in Propolis by two Complementary Colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10: 178-182.

Chen CW. et Ho CW. (1995). Antioxidant properties of polyphenolsextracted from green and black tea. *Journal of Food Lipids* 2 :35–46

Chhikara N, Kushwaha K, Sharma P, Gat Y, Panghal A (2019) Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review. *Food Chemistry* 272:192-200.

Chun O., Kim D., Smith N., Schroeder D., Han J. et Lee C. (2005). Daily consumption of phenolics and total antioxidant capacity from fruit and vegetables in the American diet. *Journal of Science. Food Agricultural*, 85 : 1715–1724.

Cadenas, E., Packer, L., 2002. Handbook of Antioxidants. 2^{ème} édition, Taylor et Francis group, LLC, New York. pp 1-4.

D

Dhineshkumar, V. & Ramasamy, D. (2016). Studies on Development of Yoghurt Flavoured with Beetroot Juice (*Beta vulgaris L.*). *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences* 3(2), 108-117.

Direction des Statistiques Agricoles et des systèmes d’information de la wilaya de Bejaia, 2017.

Doleyres Y. (2003). Production en conteneur du ferment lactique probiotiques par la technologie des cellules immobilisées. Thèse Doctorat. Université de Laval. Québec. 167 p.

Driessen. F.M, (1982). Evidence that lactobacillus in yaourt is stimulated by carbon produced by streptococcus thermophilus, *mill. Dairy journal* N°22. p134-144.

Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.t., Smith, F., (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry* 28, 350-356.

DUCREUX, G., ROSSIGNOL, L. & ROSSIGNOL, M., (1986). -La pomme de terre. *La Recherche*, 174, pp.193-203.

Dupas, C. (2009). Influence des protéines laitières sur le pouvoir antioxydant et la biodisponibilité des polyphénols du café. *ecole nationale supérieure des industries agricoles et alimentaires (ensia)*. pp262.

E

Emelike, N. J. T., Hart, A. D. & Ebere, C. O. (2015). Influence of Drying Techniques on the Sensory Properties, Physicochemical and Mineral Composition of Beetroot Juice. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)*, 9, 20-26.

Enkelejda P. (2004). Interactions physico-chimiques et sensorielles dans le yaourt brassé aromatisé : quels impacts respectifs sur la perception de la texture et de la flaveur, thèse de doctora en science des aliments. INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE PARISGRIGNON.

Ezekiel R., Singh N., Sharma S. et Kaur A. 2013. Beneficial phytochemicals in potato. A review. *Food Res. Int*, 50: 487–496.

F

FAOSTAT., 2015- Food and Agriculture Organisation, Annuaire statistique de la FAO.

Franscini, L. & Palma, S. (2018). Nutrition et Alzheimer (Doctoral dissertation, Haute école de santé Genève).

Fu, R., Zhang, Y, Guo, Y., Chen, F., 2014. Antioxidant and tyrosinase inhibition activities of the ethanol-insoluble fraction of water extract of *Sapium sebiferum* (L.) Roxb. Leaves. *South African Journal of Botany* 93, 98–104.

Fontaine, E., Barnoud, D., Schwebel, C., Leverve, X., 2002. Place des antioxydants dans la nutrition du patient septique. Editions scientifiques et médicales, Grenoble. pp. 2-4.

Favier, A., 2003. Le stress oxydant. Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité chimique*, 108-115.

G

Ghafar M. F., K. N. Prasad, K. K. Wengand Ismail (2010). Flavonoid, hesperidine, total phenolic contents and antioxidant activities from Citrus species. *African Journal of Biotechnology*, 9 :69-72.

Giddey C. (1982). Les produits à humidité intermédiaire : Cas particulier du problème de la conservation des produits à humidité intermédiaire. Ed.APRIA. Paris..pp : 21-28

Guignard J.L., (2001). - Abrégé de Botanique, 12ème édition entièrement refondue. Préface de JeanMarie Pelt, Masson, Paris.

Girardet, J.P. : Le lait-une source d'antioxydants d'origine alimentaire, université Henri Poincaré Nancy 1. (2011).

Ghedira, K., 2005. Les flavonoïdes : structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie* 4, 162-169.

H

Hagerman, A. E., Butler, L. G. (1978). Choosing the appropriate methods and standards for assaying tannin. *Journal of Chemical Ecology*, 15, 1795-1810. DOI: 10.1007/BF01012267.

HAWKES J G, (1990). The potato, Evolution, Biodiversity and genetic resources. London. Belhaven Press. 259p.

Husson, F. & Pagès, J. (2003). Comparison of sensory profiles done by trained and untrained juries: methodology and results. *Journal of Sensory Studies*, 18 (6), 453-464

Hodek, P., Trefil, P., Stiborová, M., 2002. Flavonoids-potent and versatile biologically active compounds interacting with cytochromes P450. *Chem Biol Interact* 139 (1), 1-21.

I

ITCMI, (2012) - (Institut Technique Des Cultures Maraichères Et Industrielles). Carte variétale de la culture pomme de terre en Algérie.

J

Jeantet, R., Thomas, C., Michel, M., Pierre, S. Gerard, B. (2008). Les produits laitiers. 2ème Ed. TEC et DOC. Lavoisier-Paris : 184p.

Jimoh K.O., Kolapo A.L. (2007), Effect of different stabilizers on acceptability and shelfstability of soy-yoghurt African Journal of Biotechnology, 6 (8), pp. 1000–1003

Judde, A., 2004. Prévention de l'oxydation des acides gras dans un produit cosmétique: mécanismes, conséquences, moyens de mesure, quels antioxydants pour quelles applications? Oléagineux Corps gras Lipides Journal 11, 414-418.

K

Kaur C, Kapoor HC (2002). Activité antioxydante et teneur totale en phénols de certains légumes asiatiques. *Int J Food Sci and Tech.* 2002; 37 :153-161

KECHID M., (2005) : Physiologie et Biotechnologie de la Micro tubérisation de la Pomme de Terre Solanum tuberosum. L. ThèseMagister en Biotechnologie végétale, Université Mentouri,Constantine.

Keddar.F, Koubich. S, (2009). Etude de l'effet antagoniste entre les deux bactéries du yaourt (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) et les germes pathogènes (*Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*).

Khatabi, O., Hanine, H., Elothmani, D. & Hasib, A. (2013). Extraction and determination of polyphenols and betalain pigments in the Moroccan Prickly pear fruits (*Opuntia ficus indica*). Arabian Journal of Chemistry, 3.

KOURDACHE Youba et OUCHIHA Oussama (2017) : Formulation d'un yaourt à base de la poudre de pelure de la betterave rouge (*Beta vulgaris* L.)

L

LAMOUREUX L. (2000). Exploitation de l'activité β - galactosidase de culture de bifidobactéries en vue d'enrichir des produits laitiers en galacto-oligosaccharides. Mémoire de maîtrise, Université de Laval, Canada.

Lecerf, J. M. (2018). Nutrition clinique pratique. Elsevier Masson SAS. ed.

Lecerf, J. M. (2018). Nutrition clinique pratique. Elsevier Masson SAS. ed.

Lien E. J., Ren S., Bui H. H. & Wang R. (1999). Quantitative structure-activity relationship analysis of phenolic antioxidants, *Free Radic Biol Med*, 26: 285-294.

Léophonte, P., 2006. Stress oxydatif et BPCO. Rôle des infections. Prévention. Médecine et maladies infectieuses 36 (5), 245–252.

Li, S.W., Xue, L., Xu, S., Feng, H., Lizhe, A., 2009. IBA-induced changes in antioxidant enzymes during adventitious rooting in mung bean seedlings: The role of H₂O₂. Environmental and Experimental Botany 66, 442–450.

Liu, R.H., 2004. Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action. Journal of Nutrition 134, 3479-3485.

M

M. W. Chase et J. L. Reveal, « A phylogenetic classification of the land plants to accompany APG III », Bot. J. Linn. Soc., vol. 161, octobre 2009, p. 122-127

Mahaut, M., Jeantet, R., Brulé, G., Schuck, P. (2000). Les produits industriels laitiers. Tech&Doc, Lavoisier, Paris. Pp178.

Mahgoub H., Eisa G., Youssef M. et Molecular. (2015), biochemical and anatomical analysis of some potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars growing in Egypt. J. Genet. Eng. Biotechnol, 13 : 39–49.

Martin, M. (2004). Technologie des laits de consommation. Ed. Lait. Candia Direction

Marty-Teyssset, C. et Garel, J.R. (2000). Increased production of hydrogen peroxide by *Lactobacillus Delbrueckii* ssp *Bulgaricus* up on aeration. In : Involvement. Applied environmental Microbiology, 66 : 262-267.

Medkour M.Gasmi K. (2017) : Memoire pour obtenir le diplôme Master intitulé Investigation autour d'une chaine logistique agrolimentaire cas de la betterave. Université Abou-BekrBelkaid-Tlemcen, 21-22.

Miller N-J., Sampson J., Candeias L.P., Bramley P.M., Rice-Evans C.A. (1996). Antioxidant activities of carotenes and xanthophylls. FEBS Letters, 384, 240-242.

Miller, N.J.Rice-Evans C. A. (1997). The relative contributions of ascorbic acid and phenolic antioxidants to the total antioxidant activity of orange and apple fruit juices and blackcurrant drink, Food Chem, 60: 331

Moon J. K. Shibamoto T. (2009). Antioxidant Assays for Plant and Food Components. Journal of Agricultural Food Chemistry, 57: 1655–1666.

Morel, Y., Barouki, R., 1999. Repression of gene expression by oxidative stress. *Biochemistry* 342 (3), 481-496.

Manache, C., Scalbert, A., Moraud, C., Remesy, C., Jameney, L., 2004. Polyphenols sources and biovariability. *American Journal of Clinical Nutrition*. 79, 727-747.

Marouf, A., Reynaud, J., 2007. La botanique de A à Z : 1662 définitions. Edition. Francis Lefebvre, Paris. 342 p.

N

Nizami S, Bhutta Z, Molla A. (1996). Efficacy of traditional rice-lentil-yogurt diet, lactose free milk protein-based formula and soy protein formula in management of secondary lactose intolerance with acute childhood diarrhea. *Journal of tropical pediatrics* 42(3):133-137.

P

Pelletier, J.-F., J.-M. Faurie, A. François and P. Teissier, (2007) : Lait fermenté : la technologie au service du goût. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 42, 15-20.

Prieto, P., M. Pineda and M. Aguilar, (1999): Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. *Analytical biochemistry*, 269, 337-341.

Poortsmann, J.R., Boisseau, N., 2003. *Biochimie des activités physiques. 2ème édition.* De Boeck Supérieur. Bruxelles. 638 pages.

Podsdek, A., 2005. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables. *LWT-Food Science and Technology* 40 (1), 1-11.

R

Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M. & Rice-Evans C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.* 26: 1231–1237.

Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M. & Rice-Evans C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.* 26 : 1231–1237.

Reid, D. S. (2003). Traditional Indirect Methods for Estimation of Water Content: Measurement of °Brix. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, University of California at Davis Davis, California. pp 141-145.

Ribereau-Gayon P. (1968). Les composés phénoliques des végétaux. Ed, DUNOD, Paris.

Rousseau .M (2005). La fabrication du yaourt, les connaissances. INRA. p9.

Rousselle P., Robert Y., Crosnier J.C, (1996). La pomme de terre, INRA Paris.

Rousselle-Bourgeois F. Rousselle P. (1992). Création et sélection de population diploïdes de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L). *Agronomie* 12 (1), 59-67.

Rolland, Y., 2004. Antioxydants naturels végétaux. *Oléagineux Corps gras Lipides Journal* 11 (6), 419-424.

Ré, D.B., Nafia, I., Nieoullou, A., Kerkerian Le Goff, L., Hadi-Aissouni, L., 2005. Stress oxydatif cérébral : les astrocytes sont-ils vulnérables aux faibles concentrations intracellulaires de glutamate ? Implications sur la survie neuronale. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation* 24, 502-509.

Ribereau-Gayon, P., 1968. Les composés phénoliques des végétaux. Edition. Dunod, Paris. 153 p.

S

Schmidt T., Tourneur C., et Lenoir D. (1994). Fonction et choix des bactéries lactiques laitières. In : « bactéries lactiques ». De Roissart H. et Luquet F. Ed. Loriga. Paris. PP : 37-46.

Serra, M., Trujillo, A.J., Guamis, B., Ferragut, V. (2009). Evaluation of physical properties during storage of set and stirred yoghurts made from ultra-high pressure homogenization-treated milk. *Food hydrocolloids*, 23: 82-91.

Shahidi F. (2004). Functional foods: their role in health promotion and disease prevention. *Journal of Food Science*, 69: 146-149.

Silici, Sibel, SAGDIC, Osman, EKICI, & Lutfiyevol. (2010). Total phenolic content,antiradical, antioxidant and antimicrobial activities of Rhododendron honeys. Food Chemistry, 121(1), 238-243.

Sodini, I.Beal, C. (2012). Fabrication des yaourts et laits fermentés. Techniques de L'ingénieur (F 6315). Paris- France : Pp16.

Source : Table Ciquale des aliments (2008), ANSES ; Directive européenne (90/496/CEE) ; Martin A et al. 2007. Apports nutritionnels conseillés pour la population française, 3è édition, Ed. TEC&DOC. 605 pp.

Stintzing, F. C., Schieber, A.,Carle, R. (2003). Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. European Food Research and Technology, 216(4), 303-311.

Syndifrais, M. s. d., (1997) : Yaourts, laits fermentés. Lait, 77, 321-358.

Sarni-Manchado, P., Cheynier, V., 2006. Les polyphénols en agroalimentaires. Edition. Techniques et Documentation, Paris. 398 p.

Samarth, R.M., Panwar, M., Kumar, M., Soni, A., Kumar, M., Kumar, A., 2008. Analytical, Nutritional and Clinical Methods Evaluation of antioxidant and radical-scavenging activities of certain radioprotective plant extracts. Food Chemistry 106, 868–873.

T

Talbi H., Boumaza A., El-mostafa K., J. Talbi and A. Hilali (2015). Evaluation de l'activité antioxydante et la composition physico-chimique des extraitsméthanolique et aqueux de la Nigella sativa L. (Evaluation of antioxidant activity and physico-chemical composition of methanolic and aqueous extracts of Nigella sativa L. Journal of Materials and Environmental Science, 6: 1111-1117.

TAMIME A. Y. and ROBINSON R.K. (1985). Background to manufacturing practice. Yoghurt. Science and technology. Tamime, A. Y., & R.K. Robinson. (Eds), Pergamon Press, Paris. 7-90.

Tamime A.Y Deeth H.C (1980). Yoghurt: technology and biochemistry. Journal of Food protection, 43, 12 939-977.

Terrill, T. H., Rowan, A. M., Douglas, G. B., Barry, T. N. (1992). Determination of extractable and bound condensed tannin concentrations in forage plants, protein concentrate meals and cereal grains. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 58, 321-329.

Tufféry S., (2012). Data mining et statistique décisionnelle : l'intelligence dans les bases de données. Ed; Technip. Paris - France ; 293 pp.

Tachakittirungrod, S., Okonogi, S., Chowwanapoonpohn, S., 2007. Study on antioxidant activity of certain plants in Thailand: Mechanism of antioxidant action of guava leaf extract. *Food Chemistry* 103, 381–388.

V

Vincent, A.M., Russeli, J.W., Low, P., Feldnan, E.L., 2004. Oxidative stress in the pathogenesis of Diabetic Neuropathy. *Department of Neurology, Endocrine Reviews* 25 (4), 612-628.

Van Acker, S.A., Van den Berg, D.J., Tromp, M.N., Griffioen, D.H, Van Bennekom, W.P., Van der Vijgh, W.J., Bast, A. 1996. Structural aspects of antioxidant activity of flavonoids. *Free Radic Biol Med.* 20(3), 331-342.

W

Wichtl, M., Anton, R., 2003. Plantes thérapeutiques. Tradition, pratique officinale, science et thérapeutique. 2^{ème} édition. Paris. 692 p

X

Xanthopoulos V., Petiadis D., Tzanetakis N. (2001). Characterization and classification of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* ssp *bulgaricus* strains isolated from traditional Greek yogurts. *Journal of Food Science*, 66 (5), 247-253.

Z

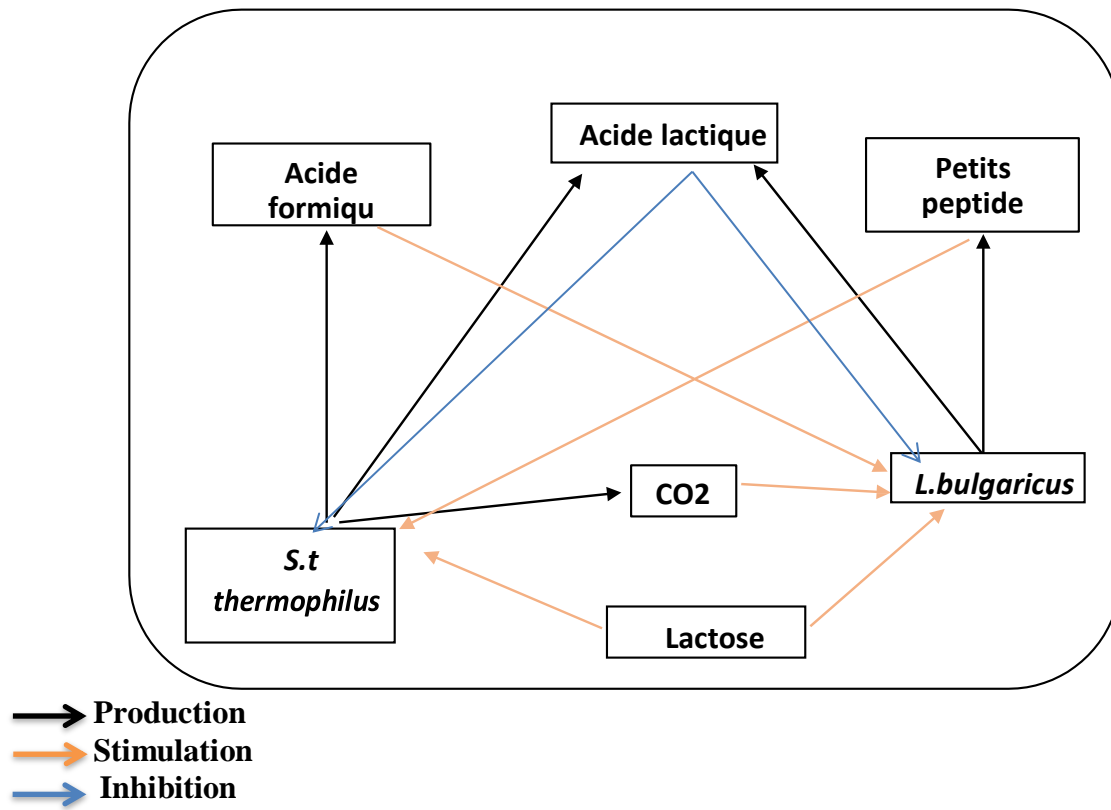
Zainoldin, K. H.Baba, A. S. (2009). The Effect of *Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus* on Physicochemical, Proteolysis, and Antioxidant Activity in Yogurt *World Academy of*

Science, Engineering and Technology. International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering 3(12), p 58.

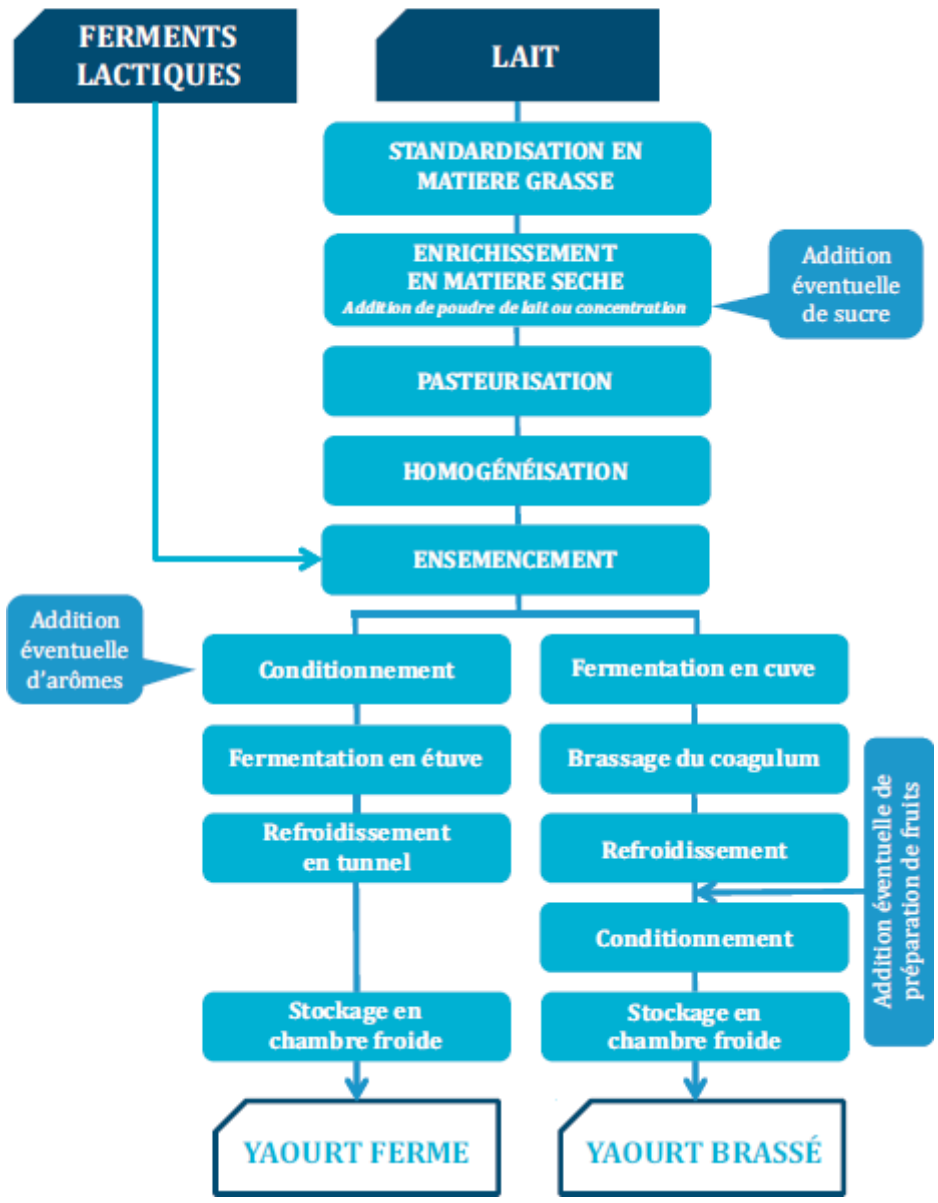
Annexe I : Composition nutritionnelle dans un pot de 125g de yaourt (Source : **Table Ciquel, 2008**).

	Apport pour un pot de 125g (yaourt nature)	Apport pour un pot de 125g (yaourt aux fruits)
Vitamine B1	0.06 mg	0.04 mg
B2	0.31 mg	0.23 mg
B3	0.28 mg	0.15 mg
B5	0.53 mg	0.35 mg
B6	0.06 mg	0.06 mg
B9	31 µg	25 µg
B12	0.28 µg	0.14 µg
Magnésium	16 mg	13 mg
Phosphore	124 mg	99 mg
Calcium	179 mg	143 mg
Cuivre	0.03 mg	0.09 mg
Zinc	0.79 mg	0.79 mg
Potassium	223 mg	179 mg

Annexe II : Métabolisme complémentaire de *Strptococcus thermophilus* et de *Lactobacillus bulgaricus* dans le lait (Driessen, 1982).

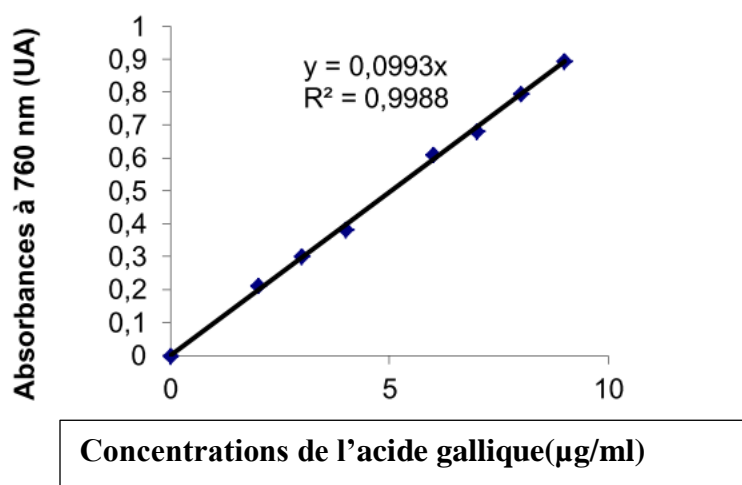


Annexe III : Schéma de fabrication des yaourts ferme et brassé (Bourlioux et al., 2011)

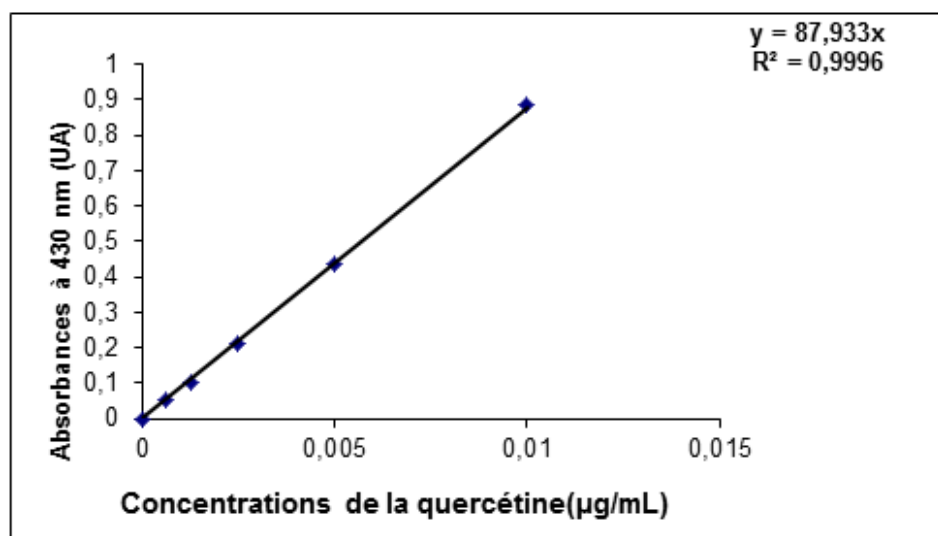


Annexe IV : Courbes d'étalonnages utilisées pour le dosage des antioxydants.

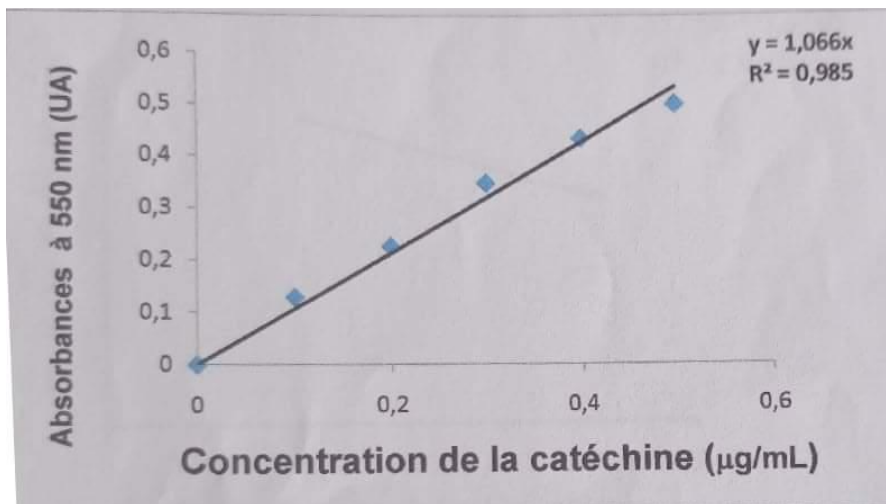
Annexe IV.1: Courbes d'étalonnage de dosage des polyphénols totaux.



Annexe IV.2 Courbes d'étalonnage de dosage des flavonoïdes.



Annexe IV.3 : Courbe d'étalonnage de dosage des proanthocyanidines.



Annexe V

Questionnaire d'évaluation sensorielle de trois échantillons du yaourt brassés

Age :

Sexe : féminin

masculin

date :

Trois échantillons du yaourt codés **A**, **B** et **C** vous sont présentés, il vous est demandé d'évaluer les différentes caractéristiques organoleptiques en attribuant une note de 1 à 5 selon l'échelle présentée.

NB : veuillez rincer votre bouche à chaque dégustation d'un échantillon.

1 : Couleur :

1 : Blanc

2 : Beige

3 : Rose

4 : Rose foncé

5 : violet

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

2 : Odeur (sans gouter) :

1 : Absente

2 : Faible

3 : Moyenne

4 : Forte

5 : Très forte

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

3 : L'intensité de la saveur (après avoir gouter) :

1 : Absente

2 : Faible

3 : Moyenne

4 : Forte

5 : Très forte

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

4 : Saveur :

a-Saveur sucrée :

- 1 : Absente
- 2 : Faible
- 3 : Moyenne
- 4 : Forte
- 5 : Très forte

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

b- saveur acide :

- 1 : Absente
- 2 : Faible
- 3 : Moyenne
- 4 : Forte
- 5 : Très forte

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

5 : Produit ajoutée :

- 1 : Absent
- 2 : Nos identifier
- 3 : Betterave
- 4 : Fraise
- 5 : Pomme de terre

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

6 : Texture :

a-Texture en bouche :

- 1 : Très granuleuse
- 2 : Granuleuse
- 3 : peu-granuleuse
- 4 : Lisse
- 5 : Très lisse

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

b- Consistance :

1 : Liquide

2 : trop mou

3 : mou

4 : Ferme

5 : Trop ferme

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

7 : Préférence globale :

1 : Extrêmement désagréable

2 : Très désagréable

3 : Désagréable

4 : Assez désagréable

5 : Ni agréable ni désagréable

6 : Assez agréable

7 : Agréable

8 : Très agréable

9 : Extrêmement agréable

Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

Merci pour votre compréhension

Résumé

Ce travail vise la formulation de deux yaourts brassés, l'un à base de jus de betterave et l'autre enrichi à la purée de pomme de terre. Une caractérisation physico-chimique et photochimique des jus de betterave et de la pomme de terre cuite a été mise en œuvre en étudiant les paramètres suivants : humidité (96.5 et 82.32%), pH (6.33 et 7), taux de cendres (0,375 et 0,036%), teneur en polyphénols totaux (152 et 44 mg EAG/100g MS), pouvoir réducteur (IC₅₀ = 0.2 et 0.42 mg/mL), ABTS⁺(IC₅₀ = 0.16 et 1.07 mg/mL) et DPPH^{*} (IC₅₀ = 2.13 et 0.82 mg/mL) respectivement. La préparation des yaourts enrichis a été réalisée à l'échelle de laboratoire en respectant le diagramme de fabrication d'un yaourt standard avec l'ajout de jus de betterave et la purée de pomme de terre. Les analyses réalisées sur ces derniers ont donné les résultats suivants: pH (4.48 et 4.51), l'acidité titrable (85.8 °D et 83°D), taux d'humidité (87,36 et 81,33 %), les cendres (0,985 et 0,67 %), le Brix (18 et 15%), polyphénols totaux (2.9 et 2.275 mg EAG/100 g MS) et flavonoïdes (0.1325 et 0.113 µg EQ/100 g MS) et teneur en proanthocyanidines (2.39 et 1.96 mg EC/100g) respectivement. L'analyse sensorielle a montré que le yaourt brassé à base de jus de betterave est caractérisé par sa couleur appréciée et le produit ajouté, et celui enrichi à la purée de pomme de terre est caractérisé par sa consistance, son degré d'acidité et son odeur appréciée.

Mots-clés : Yaourt; Jus de betterave; Pomme de terre cuite; Activité antioxydante; Flavonoïdes; Qualité physico-chimique; Qualité sensorielle.

Abstract

This work aims the formulation of two yoghurts, one based on beet juice and the other enriched with potato puree. A physicochemical and photochemical characterization of beet juice and cooked potato was implemented by studying the following parameters: moisture (96.5 and 82.32%), pH (6.33 and 7), ash content (0.375 and 0.036%), total polyphenols content (152 and 44 mg EAG/100g MS), reducing power (IC₅₀= 0.2 and 0.42mg/mL), ABTS⁺(IC₅₀ = 0.16 and 1.07 mg/mL) and DPPH^{*} (IC₅₀ = 2.13 and 0.82 mg/mL) respectively. The preparation of the enriched yoghurts was carried out on a laboratory scale, respecting a manufacturing diagram of a standard yoghurt with the addition of beet juice and potato puree. The analyses carried out for the latter gave the following results: pH (4.48 and 4.51), acidity (85.8°D and 83°D), moisture (87.36 and 81.33%), Ash (0.985 and 0.67%), Brix (18 and 15%), total polyphenols (2.9 and 2.275 mg GAE/100 g MS) and flavonoids (0.1325 and 0.113 µg QE/100 g MS) and proanthocyanidins contents (2.39 et 1.96 mg CE/100 g) respectively. The sensory analysis showed that the yoghurt brewed with beet juice is characterized by its appreciated color and added products, and the one enriched with potato puree is characterized by its consistency, its acidity level and its appreciated smell.

Key-words: Yoghurt; Beet juice; Cooked potato; Antioxidant activity; Flavonoids; Physico-chemical quality; Sensory quality.