



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abdelhamid Ibn Badis

-Mostaganem-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques



Option : Contrôle de Qualité Alimentaire

Thème

Valorisation des sous-produits de citron

Soutenue le : 08 / 07 / 2019

 *Présenté par : Mlle. TOUMI Khadija*

Mlle. MANSOUR Linda

Devant le jury :

Président	:Mr BOUZOUINA .M	MCA	U.Mostaganem
Examineur	:Mr SASSI.H	MCB	U.Mostaganem.
Encadreur:	Mr BENABDELMOUMENE.D	MCA	U. Mostaganem

Année universitaire : 2018/2019

Remerciements

Je remercie tout d'abord ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon encadreur M.BENABDELMOUMENE Djilali pour avoir dirigé ce travail, pour son sérieux et ses efforts afin de m'aider, de me conseiller et de m'orienter. Je lui exprime mon profond respect et mes chaleureux remerciements.

Je tiens à remercier M. BOUZOUINA Mohamed, Professeur à l'université de MOSTAGANEM, sa gentillesse ainsi pour l'honneur qu'il nous fait de faire partie de ce jury et de présider cette soutenance.

J'adresse mes sincères remerciements à M.SASSI El Hachmi., qui nous a fait l'honneur de bien vouloir examiner ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les techniciens du laboratoire de « culture in vitro », laboratoire vétérinaire qui m'ont aidé durant la réalisation de ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les enseignant(e)s qui m'ont aidé durant les cinq ans.

Dédicace

Avec mes sentiments de gratitude les plus profonds, Je dédie ce modeste travail :

*A mes très chers parents
TOUMI Aziz et CHILI Yamina
Sans eux je n'est pas pu être ce que je suis, en reconnaissance de leurs efforts, leurs amours et leurs encouragements durant toutes mes études et mes recherches.*

A mes chers soeurs, Asma et son époux Amine, Zoulikha et son époux Rabie et sa fille Randa, Hanane et son époux Toufik, Rayhana, Fouzia et Malak.

*À ma chère binôme MANSOUR Linda qui m'a supporté tout en longe d'année et accepté d'être avec moi.
À tout mes amis Marwa, Rihab ,Rym ,Mouna ,Ahlem, Rabha, Bouchra, Rania, Rachida, Aouali, Meriem, Chriffa, Warda, Awatif et Mira, Mohamed, Nouredine, Houssam, Iselam, Nacer Houari a , Djamel et Nassim , Boualam et ma promotion CQA 2018- 2019 pour tous les moments que nous avons partagés ensemble.*

khadidja

Dédicace

*Avec mes sentiments de gratitude les plus profonds,
Je dédie ce modeste travail :*

A mes très chers parents

*A mon père Mansour Ahmed et Ma mère Belaidi Djamila
Allah yerhameha. Ma belle-mère Mansour Malha.*

*Sans eux je n'est pas pu être ce que je suis, en
reconnaissance de leurs efforts, leurs amours et leurs
encouragements durant toutes mes études et mes
recherches.*

*A mes chers sœur et frères, Souad et son époux
Mourad, Djamel et sa femme
Fahima, Belaid, Sofiane, Dahia, Dhahbia, Silin, Lina et Salim.*

*A mes nièces et mes neveux : Djamila
Nada, Amani, mohamed Rayane et Ahmed Iyad .*

*À ma chère binôme TOUMI Khadidja qui ma supporté
tout en longe d'année et accepté d'être avec moi .*

*À tous mes amis Marwa, Rihab, Rym, Mouna, Ahlem,
, Rania, Rachida, Meriem, Chriffa, Khawla, Warda, Awatif et
Mira, Mohamed, walid, Nassim, Syphax, Naim
, Rayane, Houssam, Iselam, Nacer, Houaria et ma
promotion CQA 2018- 2019 pour tous les moments que
nous avons partagés ensemble.*

Linda

Liste des Figures

Figures	Titres	Pages
01	Principales régions productrices d'agrumes dans le monde	02
02	Caractéristiques morphologiques d'un citrus	05
03	Les principales classes des polyphénols	17
04	Structure de l'alpha-tocopérol	23
05	Les différentes familles de polyphénols et leurs principales sources alimentaires.	24
06	Citron après maturité	27
07	Citron avant maturité	27
08	Echantillon 1 de la peau de citron	29
09	Echantillon 2 de la pulpe de citron	29
10	Extraction des composés bioactifs (polyphénol totaux)	30
11	Après agitation	31
12	Après filtration	31
13	Dosage des polyphénols totaux	32
14	Lait de vache cru	34
15	Image de lactoscan	34
16	Yaourt étuve	35
17	Diagramme de fabrication de yaourt nature	36
18	Yaourt naturel final	36
19	pH-mètre	37
20	L'acidité titrable	38
21	Taux de matière sèche des échantillons analysés	43
22	Teneur en matière minéral de la peau et la pulpe des échantillons analysés	45
23	La teneur en matière organique de la peau et pulpe de citrons 1 et2	46
24	Teneur en polyphénols des peaux et pulpes des citrons.	47
25	L'activité anti radicalaire (DPPH) de la peau et la pulpe des citrons.	49
26	La teneur en lactose de lait de vache cru et lait de vache pasteurisé	50
27	L'acidité de lait de vache cru et lait de vache pasteurisé.	51
28	Histogramme représente la teneur en matière grasse de lait de	51

	vache cru et lait de vache pasteurisé	
29	Le taux de protéine de lait de vache cru et e lait de vache pasteurisé	52
30	Evolution de pH et l'acidité et matière grasse de yaourt au l'extrait de citron après 24h	54
31	Evolution de pH et l'acidité et matière grasse de yaourt au l'extrait de citron après 14j	55

Liste des tableaux

Tableaux	Titres	Pages
01	Composition de polyphénols pour 100g de citron net	05
02	Composition en vitamines pour 100gr net de citron	06
03	Composition de minéraux et d'Oligo-éléments pour 100gr de citron net	06
04	Composition en macronutriments pour 100g net de citron	07
05	Différentes variétésde citron	07 -08
06	Composition pour 100 g de yaourt	15 - 16
07	Le taux de matière sèche des échantillons analysés.	21
08	La teneur en matière minérale de la peau et pulpe de citrons 1 et 2.	44
09	La teneur en matière organique de la peau et pulpe de citrons 1et 2	46
10	La teneur des composés phénoliques totaux de citron 1 et 2	47
11	La teneur de l'activité antioxydant de citrons 1 et 2	49
12	Les résultats de composons de lait de vache cru et lait de vache pasteurisé.	50
13	Les variations de ph et l'acidité titrable et matière grasse de yaourt à l'extrait après un jour.	53
14	Effet d'une corporation des extraits de citron sur ph et l'acidité et matière grasse de yaourt après 14 jours.	55

Liste des abréviations

DPPH	(2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle).
AFNOR	Association Française de Normalisation
MG	Matière grasse
MM	Matière minéral
MS	Matière sèche
MO	Matière organique
°D	Degré dornic
NaOH	Hydroxyde de sodium
EAG/gMF	Equivalent d'Acide Gallique par gramme de Matière Fraiche
Mg	Milligramme
g	gramme
l	litre
Vs	Vis à vis
H	heur
L.b	<i>Lactobacillus bulgaricus</i>
S.t	<i>Streptococcus thermophilus</i>
%	Pourcentage
µl	Microlitre.
Citron 1	Variété de la région d'Ain Dafla
Citron 2	Variété de la région de Mostaganem
CaCO₃	Carbonate de sodium
SOD	Superoxydedismutases

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction

Chapitre 01 Le citron

1	Introduction	01
1.1	Production d'agrumes	02
1.1.1	Production mondiale	02
1.1.2	Production nationale	02
1.2	Généralité sur la culture de citron	03
1.2.1	Historique de citron	03
1.2.2	Définition	03
1.2.3	Fiche technique de citron	04
1.2.4	Structure et développement	04
1.2.5	Valeurs nutritionnelles de citron	05
1.2.5.1	Composition de citron	05
1.2.6	Variétés de citron	07
1.2.7	Plantation du citronnier en pleine terre	09
1.2.8	Maladies liées au citronnier	09

Chapitre 02 Le yaourt

2	Produits laitiers	10
2.1	Laits fermentés	10
2.2	Présentation du yaourt	11
2.2.1	Historique	11
2.2.2	Définition	11
2.3	Caractéristiques générales des bactéries du yaourt	12
2.3.1	<i>Streptococcus thermophilus</i>	12
2.3.2	<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	12
2.4	Différents types de yaourt	13

2.4.1	Yaourt ferme	13
2.4.2	Yaourt brassé	13
2.4.3	Yaourt entier	13
2.4.4	Yaourt nature	13
2.4.5	Yaourt maigre	
2.5	Fabrication de yaourt	14
2.5.1	Préparation de lait	14
2.5.2	Pasteurisation	14
2.5.3	Refroidissement	15
2.5.4	Ensemencement et fermentation	15
2.6	Valeurs nutritionnelles	15
2.7	Conservation des yaourts	16

Chapitre 03 Les polyphénols

3	Définition des polyphénols	17
3.1	Classification des polyphénols	17
3.2	Composés polyphénolique non flavonoïdiques	18
3.2.1	Acides phénoliques	18
3.2.2	Lignanes	18
3.2.3	Stilbènes	19
3.3	Biosynthèse de polyphénols	19
3.3.1	Voie de l'acide shikimique	19
3.3.2	Voie de l'acide malonique	20
3.4	Défenses antioxydants	20
3.4.1	Système antioxydant enzymatiques	20
A.	superoxydesdismutases	20
B.	Catalase	21
C.	Glutathion peroxydases	21
D.	Système thiorédoxines	21
E.	Glutathion-S-transférase	21

3.4.2	Système antioxydant non enzymatique	21
A.	Omégas 3	22
B.	Polyphénols	22
C.	Vitamine C	22
D.	Vitamine D	22
E.	Vitamine E	23
F.	Caroténoïdes	23

3.5	Polyphénols alimentaires et leur devenir dans l'organisme	23
3.5.1	Exemple de résultats marquants	26

Chapitre 04 Matériels et Méthodes

4	Objectifs de travail	27
4.1	Partie biochimie (concerne la peau et la pulpe de citron)	27
4.1.1	Présentation des échantillons	27
4.1.2	Laboratoire d'analyse	28
4.2	Méthode d'analyses (concerne la peau et la pulpe de citron)	28
4.2.1	Détermination de la teneur en matière minérale et matière sèche	28
A.	Matière sèche.	28
B.	Matière minérale.	29
C.	Détermination de la matière organique.	29
4.2.2.	Extraction et dosage des polyphénols.	30
A.	Préparation des extraits de la peau et la pulpe de citron.	30
B.	Dosage des polyphénols totaux de la peau et la pulpe de citron.	31
A.	Mesure de l'activité anti-oxydante.	33
B.	Activité anti-radicalaire par le test au DPPH	33
4.3	Partie microbiologique (concerne le yaourt)	34
4.3.1	Préparation de l'échantillon	34
4.3.2	Matériel du laboratoire	34

4.3.3.	Méthode de fabrication du yaourt	35
A.	Pasteurisation	35
B.	Refroidissement	35
C.	Ensemencement	35
D.	Ajout des extraits	35
F.	Incubation	35
4.4.	Méthode d'analyses :(concerne le yaourt naturel)	37
4.4.1	Détermination des paramètres physico chimique	37
A.	Détermination du pH	37
B.	Détermination de l'acidité titrable	37
4.4.2	Analyses du lait et de yaourt	38
A.	Détermination du taux de la matière grasse	40
B.	Détermination de taux de protéine et lactose	41

Chapitre 05 Résultats et discussion

5.1	Propriétés physicochimiques de citron	43
5.1.1	Matière sèche	43
5.1.2	Matière minérale	44
5.1.3	Matière organique	46
5.1.4.	Composés phénoliques	47
A.	Polyphénols totaux	47
5.1.5.	Activité antioxydant	48
A.	Pouvoir anti-radicalaire (DPPH°)	48
5.2.	Paramètres physico chimique de yaourt	50
5.2.1	Résultats par le lactoscan	50
5.2.2.	Détermination de ph et l'acidité et matière grasse après un jour	53
5.2.3	Détermination de ph et l'acidité et matière grasse après 14 jours	56

Conclusion

Références bibliographiques

Annexes

Annexe 01

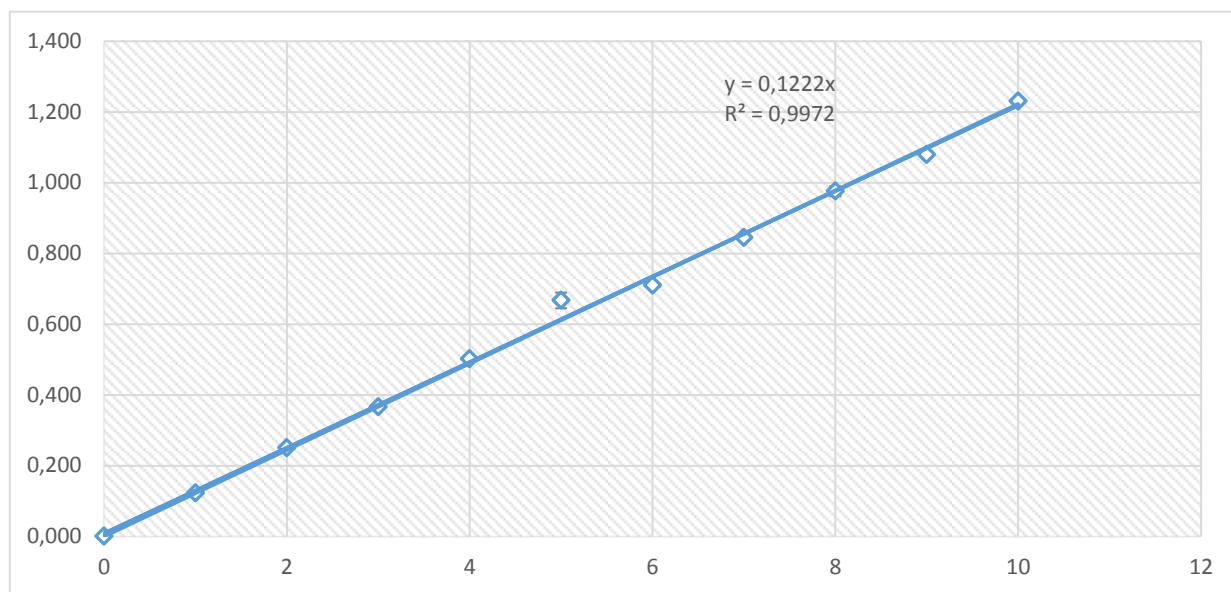


Figure représente la courbe d'étalonnage pour le dosage des polyphénols totaux

Annexe 02

Matériel de laboratoire



Rotavapor.



Spectromètre à longueur d'onde 760 nm



D

Dessicateur

Préparation des solutions

- ✓ **Préparation de FolinCiocalteu**, pipeter 4 ml de folincioalteu dans un bécher et on ajoute 40 ml de l'eau distillée et on mélange.
- ✓ **Préparation de (Na₂CO₃)**, peser 35g de NA₂CO₃ et verser 400 ml de l'eau distillée et on agite

Annexe 03

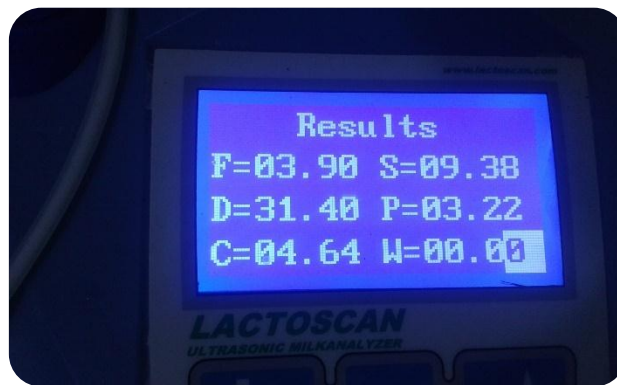
Résultats



Résultats de la teneur en matière séché de citron. (Après 21 jours)



Résultats de la teneur en matière minérale de citron. (Après 3 heures d'étuvage).



Appareil de Lactoscan présente les résultats des compositions de lait de vachecru

Résumé

Les Agrumes contiennent des quantités élevées de composés qui ont des effets bénéfiques pour la santé, y compris les polyphénols, l'acide ascorbique, les caroténoïdes et les tocophérols. Ils ont une valeur très importante dans la médecine traditionnelle et pour la fabrication des produits comestibles. Comme ils présentent plusieurs activités biologiques, telles que l'activité antimicrobienne, anti-inflammatoire, antioxydante, anticancéreuse.

Notre étude expérimentale est basée sur l'effet de variation des taux d'incorporation d'extrait de *citrus* sur l'évolution des paramètres physico-chimiques, microbiologiques et organoleptiques des laits fermentés au cours de la période de fermentation et de post-acidification.

L'étude portée sur les extraits végétaux a révélé que les extraits naturels présentent des activités antioxydantes supérieures à celles des antioxydants synthétiques.

Les résultats auxquels nous avons abouti ont montré que :

Les teneurs en poly phénols se situant dans la peau immature du citron 1 est différente significativement ($p < 0.05$) par rapport aux mêmes teneurs du citron 2 (5.22 vs 7.07) mg EAG/gMF respectivement. Nous avons observé que le pouvoir réducteur de la peau et de la pulpe de citron 1 ne présente aucune différence significative ($p < 0.05$) par rapport au même pouvoir réducteur de citron 2 (70,17 vs 87,61) mg EAG/gMF respectivement.

Nous avons noté que dans le citron 1 le pouvoir réducteur augmenté sensiblement dans la peau et la pulpe (70,17 vs 72,97) mg EAG/gMF .par contre dans le citron 2 la capacité anti radicalaire de la peau et la pulpe diminue (87,61 vs 73,63) mg EAG/gMF respectivement.

L'ajout d'extrait aqueux de citrus ne semble pas affecter l'acidité et le pH des laits fermentés dont les valeurs restent comparables au yaourt témoin.

Il importe de noter que la peau de citron est riche en poly phénols qui sont des antioxydants naturels, donc on peut ajouter des extraits poly phénolique au ferment lactique tel que le yaourt comme un agent de conservateur.

Mots clés : citron, polyphénols totaux, activité antioxydant, yaourt .

Introduction

Les agrumes, une composante de l'alimentation méditerranéenne, sont des fruits composés par les citrons, les oranges, les pomelos et pamplemousses pour ceux les plus consommés.

Sur un plan nutritionnel, la perception de ces fruits réside principalement sur leur contenu en vitamine C et l'action antioxydant qui leur est associée. Cependant, d'autres composants présentent une activité antioxydant comme les poly phénols.

Les écorces d'agrumes sont riches en composés phénoliques, essentiellement des flavonoïdes et des acides phénoliques. Les flavonoïdes des écorces d'agrumes sont caractérisés par leur activité antioxydant, thérapeutique, antivirale, antifongique et antibactérienne (**Bocco et al.**, 1998 ; **Ma et al.**, 2009; **Huang et al.**, 2010). Grâce à cette richesse, l'extraction des composés phénoliques à partir des écorces d'agrumes a considérablement attiré l'intérêt scientifique pour les utiliser comme des antioxydants naturels, conservateurs principalement dans les aliments, mais aussi dans l'industrie pharmaceutique et cosmétique (**Ramful et al.**, 2010).

Parmi ces agrumes on trouve citrus limon qui est une plante très cultivée en Algérie et vu son utilisation comme plante médicinale, elle présente un grand intérêt pharmacologique et industriel, les effets bénéfiques de citron sont principalement attribués à la présence des composés bioactifs, tels que les caroténoïdes (**Craig**, 1997), l'acide ascorbique (**Hampl et al.**, 1999) et les composés phénoliques (**Ross et al.**, 2000) ; ces composés empêchent les effets néfastes des radicaux libres sur la cellule en les neutralisant (**Rekha et al.**, 2012).

Ils représentent l'une des récoltes des fruits les plus importantes au monde (**Liying**, 2008), ils sont cultivés dans plus de 100 pays situés dans les régions tropicales et subtropicales et dans les climats méditerranéens (**Peña et al.**, 2007 ; **Khanet Kender**, 2007). Les agrumes sont les fruits dont la production est la deuxième plus importante au monde avec plus de 115 millions de tonnes par an, 517milles tonnes ont été produits en Algérie qui occupe la 18e place mondiale (**FAO**, 2013).

Les pays producteurs du citron forment une ceinture terrestre de nord et sud (Mexique, Inde, Espagne, Argentine, Brésil, États-Unis, Chine, Italie, Turquie).

En Algérie, trois régions agricoles dans le nord sont connues pour la culture des agrumes :

- ✓ La région ouest avec les wilayas d'Oran, Mostaganem, Tlemcen, Sidi Bel Abbès, Mascara et Relizane .
- ✓ La région centre avec la plaine de la Mitidja qui constitue le berceau de l'agrumiculture en Algérie avec la plaine Tizi-Ouzou, Chlef et Bouira.

En Algérie, une quantité considérable de lait cru est collectée et sert à la fabrication de divers produits laitiers, comme les fromages, les yaourts et lait fermentés.

Avec les progrès technologiques réalisés ; le yaourt apparaît comme un produit laitier très digeste largement consommé et possédant une grande valeur nutritionnelle et qui est apprécié par les consommateurs surtout pour son goût et sa texture. C'est un produit consommé la plupart du temps comme un dessert, de part le monde, car il convient à toutes les tranches d'âge et même chez les sujets intolérants au lait.

L'objectif générale de cette étude est vise à suivre l'effet de variation des doses de d'extrait aqueux de *citrus* (1%, 5%) récolté dans la région de Mostaganem et Ain Dafla sur la qualité physicochimique, microbiologique d'un lait fermenté alicament type yaourt nature durant 21 jours de conservation au froid à 4°C.

Notre travail a pris naissance. Le programme de recherche s'articule autour de deux axes principaux :

- Le premier axe porte sur l'étude de la teneur en poly phénol extraite par la méthode de macération dans chaque constituant de citron (écorce, pépin...) et leur activité antioxydant par le test du DPPH de deux variétés du citron au cours de leur maturation (avant maturité et après maturité).
- Le second axe est focalisé sur l'ajout des extraits à base de différents composés de citron (peau et pulpe) à un yaourt naturel pour l'utiliser comme agent conservateur naturel a différentes doses.

La première partie de ce manuscrit a été consacrée à une analyse bibliographique en trois chapitres regroupant les différents thèmes de cette étude.

Le premier chapitre comprend un rappel sur les grandes caractéristiques du citron : la description botanique, les différents composants de fruit, les différentes variétés et l'importance nutritionnelle et économique de citron, enfin les maladies liées au citronnier).

Le deuxième chapitre englobe une généralité sur le lait et leur variété, le yaourt et leurs types en basant sur le yaourt naturel et la méthode utilisée (le processus de fabrication).

Le troisième chapitre consacré les réactions oxydatives dans l'alimentation en définit les poly phénols et l'activité antioxydant.

La deuxième partie de ce manuscrit porte sur la méthodologie expérimentale adoptée dans ce travail. (Le matériel et les méthodes utilisées) et les résultats obtenus, discussion.

Enfin, une conclusion générale qui portera sur une lecture attentive des différents résultats obtenus.

1. Introduction

Le genre *citrus*, de la famille *Rutaceae*, est l'un des plus importants fruits cultures dans le monde. Il est largement cultivé dans les régions tropicales et subtropicales du monde, et de nombreux autres domaines, avec une production annuelle d'environ 102 millions tonnes (Mehl *et al.*, 2014).

Citron [*Citrus limon* (L.) Burm. f.] est l'une des principales espèces d'agrumes cultivées seulement après l'orange et la mandarine (García-Salas *et al.*, 2013) est bien connue pour les valeurs nutritionnelles et de promotion de la santé.

Parmi eux, les composés phénoliques d'agrumes les fruits ont été largement rapportés en raison de leur forte activité biologique, à savoir, antioxydant, anti-inflammatoire, activité antimicrobienne, et la préventive été sur la maladie alcoolique du foie (ALD), l'athérosclérose, le cancer et les maladies cardio-vasculaires (Al-Jabri *et Hossain*, 2018; Inan *et al.*, 2018; Kaur *et Kaur*, 2015; parc *et al.*, 2013; Rawson *et al.*, 2014 ;2016., Xi *et al.*, 2014 ; Yi *et al.*, 2008).

Les fruits des agrumes se consomment en plusieurs façons telles que ; chair, jus, condiment, confitures, fruits confits, liqueurs.

Les fleurs et les feuilles se manifestent dans la fabrication de la parfumerie et en pharmacopée.

Utilisation : consommation alimentaire des fruits sous diverses formes : jus, fruit, pulpe, liqueur, confiture. Médecine également, pour le citron par exemple, car il est un antiseptique puissant contre les maladies infectieuses et un excellent anti-inflammatoire. Parfumerie (les fruits, Université Pierre et Marie Curie, – Citrus, Wikipédia, 12/09/14).

1.1. Production d'agrumes

1.1.1. Production mondiale

Les agrumes (orange, mandarine, citron) sont parmi les fruits les plus abondants dans le monde, la production mondiale en agrume est considérée comme l'une des plus importantes dans le domaine agricole (**Torquato et al.**, 2017). Elle est passée de 6689016 tonnes en 2001 à 12473165 tonnes en 2013, et l'orange quant à elle, occupe le devant dans la production des agrumes, elle compte plus 71909516 tonnes en 2013 (**FAOstat.**, 2017).

Les principales régions productrices d'agrumes (zone orange), à savoir le bassin méditerranéen, l'Afrique du Sud, Madagascar, la chine, l'Australie et l'Inde sont montrées dans la figure qui suit :

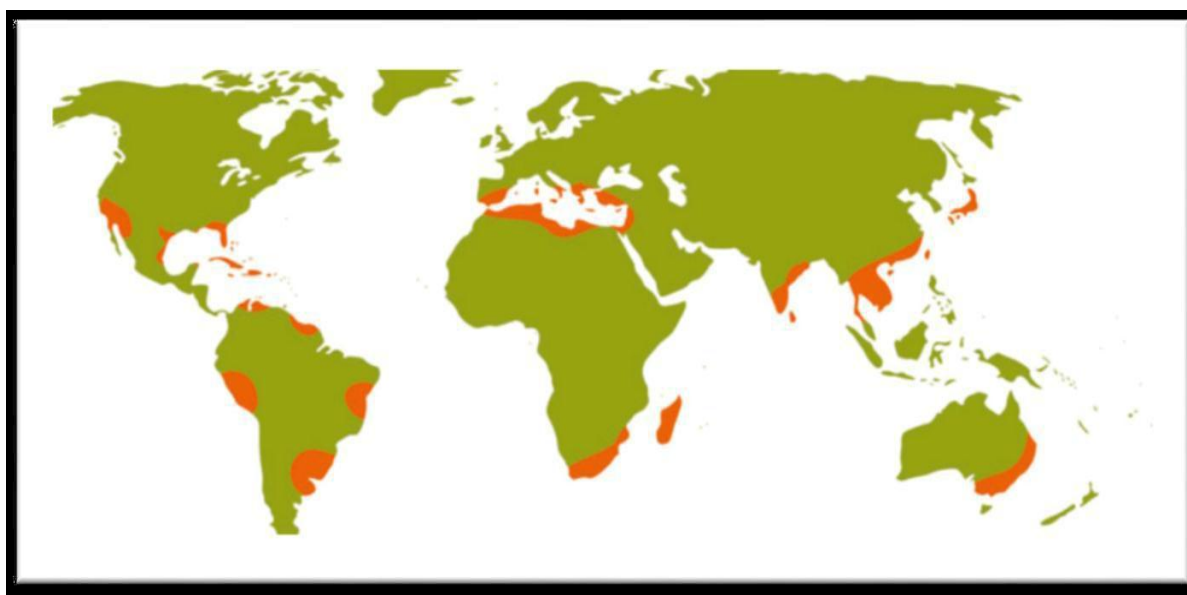


Figure 01 : principales régions productrices d'agrumes dans le monde (zones orange) (**Liu et al.**, 2012).

1.1.2. Production nationale

La production d'agrumes en Algérie a connu une importante croissance, elle est passée de 10 878 320 quintaux en 2012 à 13 419 940 quintaux en 2015, avec une production d'orange qui est estimée aux environs de 10 050 791 quintaux, et les meilleures productions en oranges sont enregistrées dans les wilayas de Chlef et Blida, avec des productions qui sont respectivement de 1 155 520 et 3 079 216 quintaux (**MADRP Alger**, 2017).

1.2. Généralité sur la culture de citron

1.2.1. Historique de citron

Les agrumes sont d'origine sud-asiatique, selon (**Tanaka**, 1977), la diffusion à travers le monde s'est effectuée lors des échanges commerciaux.

Certains prétendent que ce fruit serait né d'un croisement entre le pamplemousse, le cédrat et la lime. Ses premières traces remontent il y a près de 3000 ans lors de sa découverte dans les forêts d'Himalaya. Par la suite, il a été cultivé abondamment en chine (**Boukhobzalalia**, 2015).

C'est à partir du bassin méditerranéen et grâce aux grandes découvertes (Christoph Colomb ; 1493 et les navigateurs ANGLO-HOLLANDAIS 1654) que les agrumes furent diffusés dans le monde (**Praloran**, 1971 ; **Loussser**, 1989).

Au fil des invasions et des fluctuations climatiques, il se peut que le citron ait disparu du sud de l'Europe à quelques reprises pour y être réintroduit plus tard. Après les invasions barbares (350 à 400 de notre ère), ce sont les Arabes qui reprennent les rênes du commerce. Ils diffuseront le citron, l'introduisant en Afrique du Nord, et en Espagne, de même que tout le bassin méditerranéen. Les Européens de l'ouest de l'est et du nord découvriront les agrumes et développeront un goût pour ces fruits acides et juteux qu'ils rapporteront dans leur pays respectif (**Jacquemend et al.**, 1986).

1.2.2. Définition

Citron est l'un des types de fruits les plus populaires dans le monde entier, largement cultivé dans les régions tropicales, subtropicales, et bien d'autres domaines. Chaque année sont produites environ 121 millions de tonnes d'agrumes (**Patsalou et al.**, 2017).

Fruits de citron sont riches en composés phénoliques (**Al-Qassabi et al.**, 2018). L'acide ascorbique est l'une des vitamines les plus importantes pour son activité antioxydante et avantage nutritionnels, et la teneur en acide ascorbique diminue dans la pâte au cours de la maturation des fruits (**Alós et al.**, 2014).

Les Fruits de citron peuvent être utilisés pour la consommation fraîche, la production et la décoration des plats juicing, selon les préférences des consommateurs (**Ngugi et al.**, 2017).

Les Citronniers portent des fruits couventine toute l'année et les fruits peuvent être récoltés à plusieurs fois par an aussi longtemps qu'il réponde aux normes de maturité et les exigences du

marché. Les fruits de citron sont riches en nutriments et de composés bioactifs, tels que vitamines, diététique Fibre, des minéraux, des caroténoïdes, des composés phénoliques, et des huiles essentielles (**del Rió et al.**, 2004; **Gil-Izquierdo et al.**, 2004; **González-Molina et al.**, 2010).

Le degré de maturité de fruits de citron affecte non seulement la qualité commerciale, mais aussi les composés phénoliques et de capacité antioxydante dans les fruits (**Mcharek et Hanchi al.** 2017).

1.2.3. Fiche technique de citronnier (**Christophe Poupinel**, 2017-2018)

- **Nom(s) commun(s)** : Citronnier
 - **Nom(s) Latin(s)** : Citrus Limon
 - **Famille** : Rutacées
 - **Hauteur à maturité** : 1 à 10 m
 - **Largeur à maturité** : 3 à 5 m
- **Type(s) de plante Arbuste** : Arbuste à fleurs /Arbuste fruitier Plante comestible /Arbuste fruitier /Arbre fruitier

1.2.4. Structure et développement

Le citron est une baie (fruit charnu à pépins). Comme toutes les Rutacées, il porte le nom générique d'agrumes. Sa structure est semblable à celle des autres agrumes (orange, mandarine, pamplemousse, etc.).

La fleur de citronnier est très belle et ressemble à la fleur d'Oranger, le fruit de citron se développe à partir d'un ovaire multi carpelle. Les Rutacées (appelés également Agrumes) donnent des fruits qui sont parmi les tous les fruits des *citrus* cultivés présentent la même structure anatomique présentée sur la **figure 2**. (**Ramful et al.**, 2010).

D'un point de vue botanique les agrumes sont des fruits charnus de type baie avec un péricarpe structuré en trois parties bien différenciées : l'épicarpe (Flavédo), mésocarpe (Albédo) et l'endocarpe (pulpe).

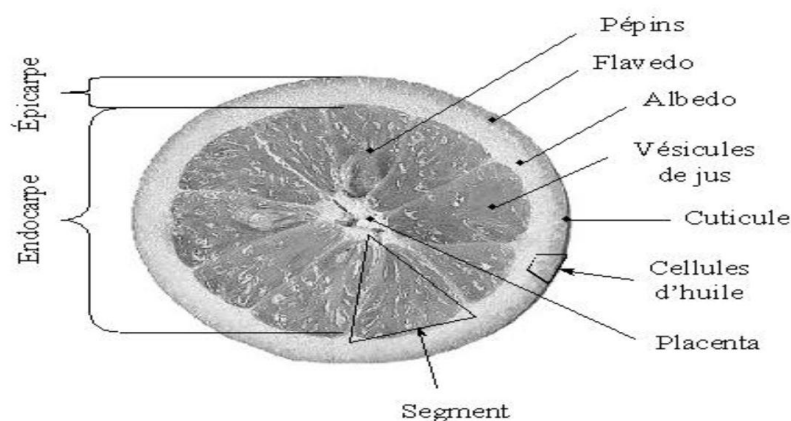


Figure 02 : Caractéristiques morphologiques d'un citrus
(Duan *et al.*, 2014).

1.2.5. Valeurs nutritionnelles de citron

A. Composition de citron

Composition moyenne donnée à titre indicatif : les valeurs sont à considérer comme des ordres de grandeur, susceptibles de varier selon les variétés, la saison, le degré de maturité, les conditions de culture, etc. Les données sur les polyphénols sont issues de la base Phénol-Explorer 3.0. Toutes les autres données sont issues de la Table de composition nutritionnelle des aliments (Ciquál, 2017)

Pour chaque nutriment, les tableaux apportent une information sur la quantité moyenne (ainsi que les quantités minimum et maximum) pour 100 g net de citron.

Tableau 01 : Composition de polyphénols pour 100g de citron net (Ciquál, 2017)

Polyphénols	Quantité
Flavonoïdes	36.89 mg
Lignanes	0.02 mg
Polyphénols totaux	36.91 mg

Tableau 02 : Composition en vitamines pour 100gr net de citron (Ciqual, 2017)

Vitamines	Quantité	Min - Max
Provitamine A Béta-carotène	3 µg	-
Équivalent Vitamine A	0.5 µg	-
Vitamine B1	0.043 mg	0.034 - 0.06 mg
Vitamine B2	0.025 mg	0.02 - 0.0034 mg
Vitamine B3	0.15 mg	0.1 - 0.23 mg
Vitamine B5	0.21 mg	0.19 - 0.23 mg
Vitamine B6	0.07 mg	0.045 - 0.1 mg
Vitamine B9	21.5 µg	11 - 32 µg
Vitamine C	51 mg	49 - 53 mg
Vitamine E	0.48 mg	0.15 - 0.8 mg

Tableau 03 : Composition de minéraux et d'Oligo-éléments pour 100gr de citron net (Ciqual, 2017)

Minéraux et oligo-éléments	Quantité	Min - Max
Calcium	13.7 mg	12.3 - 48 mg
Cuivre	0.034 mg	0.023 - 0.069 mg
Fer	0.34 mg	0.04 - 0.6 mg
Iode	0.3 µg	0.1 - 0.6 µg
Magnésium	8.54 mg	7.3 - 10.9 mg
Manganèse	0.015 mg	0.011 - 0.04 mg
Phosphore	18.4 mg	16 - 28.5 mg
Potassium	157 mg	138 - 197 mg
Sélénium	2.09 µg	0.12 - 4.9 µg
Sodium	0.99 mg	0.12 - 4.9 µg
Zinc	0.054 mg	0.016 - 0.3 mg



Tableau04 : Composition en macronutriments pour 100g net de citron (Ciquel, 2017).






Composants	Quantité/g	Min - Max
Eau	89 g	NC
Protéines	0.84 g	0.5 - 1.1 g
Lipides	0.7 g	0.3 - 1.1 g
Acides gras saturés	0.15 g	0.039 - 0.27 g
Glucides	3.1 g	-
Sucre	2.85 g	2.5 - 3.2 g
Fibres	1.2 g	-
Acides organiques	4.88 g	-

1.2.6. Variétés de citron

Le citron varie d'une espèce à l'autre, donc il existe plusieurs variétés du citron, ils se diffèrent selon la morphologie (la feuille, la fleur et le fruit) et la durée de maturation (variété de 4 saisons ou 2 saisons) (**Tableau 05**)

Tableau 05 : Différentes variétés de citron (**Citronnier planter et entretenir Ooreka 2018, Fine Media**)

	Fleurs	Fruits	Qualités	Photos
Meyer	Floraison blanche et boutons roses en mars-avril et septembre-octobre	Petit fruit jaune puis orangé à maturité, à peau fine, à saveur plus douce que le citron jaune. Maturité à partir de novembre.	Convient bien en pot, car sa croissance est lente. C'est le plus tolérant au froid. Tolère -6 jusqu'à -9 °C si non greffés.	
Fino (syn. 'Primofiori')	Floraison blanche de mars à septembre.	Fruit moyen à peau mince, juteux, restant longtemps sur les branches. Maturité de décembre à mars.	Très cultivé en Espagne avec 'Verna' pour son haut rendement. Ne pas confondre avec 'Primo fiore' cultivé en Sicile.	

Citrus limon 'Eureka'(Des Quatre Saisons')	Floraison blanche, rosée sur le revers, très parfumée en mars-avril et août-septembre.	Fruit très juteux et parfumé, utilisé frais ou cuisiné, toute l'année.	Très cultivé en Californie, Australie et Afrique du Sud. Bel arbre peu épineux.	
Menton	Floraison très parfumée blanche, en mars-avril et septembre.	Très bons citrons parfumés et juteux.	Arbre vigoureux parmi les plus rustiques. Se consomme pour le jus et les fruits frais.	
Citronnier panaché Albo-variegata	Floraison remontante blanc rosé, en mars-avril et août-septembre.	Citron à pulpe rosée, présentant parfois des panachures crème et vertes avant de virer au jaune.	Feuilles vertes panachées de crème. Jeunes pousses roses. Arbre de vigueur moyenne. Résiste à -4 °C.	
Malaga	Fleurs parfumées en mars-avril puis août-septembre.	Gros fruits assez doux, à peau épaisse. Idéal pour confire.	Résiste à -5 ou -6 °C.	
Verna	Floraison parfumée blanc rosé en mars-avril puis septembre.	Fruit moyen à gros, jaune intense, à la pulpe tendre, récolté de février à juillet. Se stocke jusqu'en décembre.	Variété la plus cultivée en Espagne. Arbre vigoureux peu épineux. Résiste à -5 °C.	

1.2.7. Plantation du citronnier en pleine terre

Le citronnier apprécie un sol riche et profond, bien aéré, sableux ou sablonneux. Les sols argileux peu drainants sont peu favorables à la production de fruits. Il est donc utile de rajouter un drain ou une bonne épaisseur de graviers au fond du trou si l'eau a tendance à stagner. En sol pauvre et trop léger, ajoutez un amendement organique (compost, terreau, fumier composté ou engrais vert) et une fumure de fond (potasse et phosphore).

La composition physique idéale du sol est de 5 à 10 % d'argile, 20 % de limon, 20 % de sable fin et 50 % de sable grossier. (**Christophe Poupinel**, 2017-2018).

1.2.8. Maladies liées au citronnier

- Les cochenilles sont fréquentes sur les cultures en intérieur :
- Les pucerons ralentissent la croissance et recroquevillent les feuilles.
- Le Mal secco est un champignon qui atteint particulièrement le citronnier en bloquant la sève.
- La gombose parasitaire est une maladie provoquée par le champignon *Phytophthora*. L'écorce se craquelle et produit de la gomme, les feuilles jaunissent et chutent. (**Christophe Poupinel**, 2017-2018).

1. Produits laitiers

Les produits laitiers ou laitages sont le simple lait ou des aliments transformés ou obtenus simplement à partir de laits. Parmi les laits utilisés, le principal est de loin le lait de vache, mais on utilise également le lait de chèvre, de brebis, de chamelle, de yak, de bufflonne....

La consommation de produits laitiers a connu une croissance considérable au niveau mondial depuis le début des années 1950.

Les produits laitiers sont essentiellement utilisés dans l'alimentation humaine, soit directement, soit comme ingrédients dans la pâtisserie, la biscuiterie, la charcuterie, en fromagerie, mais aussi dans l'alimentation animale (lait en poudre pour les veaux, lactosérum pour les porcs).

Les produits laitiers sont, en général, des denrées périssables et du producteur au consommateur, la chaîne du froid doit être respectée de manière que ces produits restent comestibles. Ces aliments sont en général perçus comme étant bons pour la santé.

La caséine extraite des laits a aussi des utilisations non alimentaires comme la fabrication de matières plastiques, de papier, de textiles.

1.1.Laits fermentés

La dénomination «lait fermenté» est réservée au produit laitier préparé avec des laits écrémés ou non, ou des laits concentrés ou en poudre écrémée ou non, enrichis ou non en constituants du lait, ayant subi un traitement thermique au moins équivalent à la pasteurisation (90 à 94°C / 5 à 7 minutes),ensemencés avec des micro-organismes appartenant à l'espèce ou aux espèces caractéristiques de chaque produit. La coagulation ne doit pas être obtenue par d'autres moyens que ceux qui résultent de l'activité des micro-organismes utilisés.

1.2. Présentation du yaourt

1.2.1. Historique

Le lait fermenté a certainement été consommé en Mésopotamie, en Palestine et en Égypte dès le néolithique, mais il n'existe pas de preuves directes de cette consommation. Plus tard, au premier siècle APR. J.-C., Pline l'Ancien fait mention de leur production par les tribus barbares qui savent épaissir le lait en une matière d'une agréable acidité et cite ce produit comme étant d'essence divine et comme remède à de nombreux maux (**Bourlioux et al.**, 2011). Dans les pays occidentaux, les produits fermentés sont connus sous le terme de yaourt ou yogourt ou yoghourt. C'est en 1925 que les mots « yaourt » ou « yoghourt » ont fait leur entrée officielle dans le Petit Larousse. Le premier est d'origine grecque, le second d'origine turque (yoghourt) (**Bourlioux**, 2007).

1.2.2. Définition

D'après le **Codex Alimentarius (norme N°A-11(a)1975)**, le yaourt est un produit laitier coagulé obtenu par fermentation lactique grâce à l'action de *Lactobacillus delbrueckii* sous-espèce *bulgaricus* (*Lb. Bulgaricus*) et de *Streptococcus salivarius*, sous-espèce *thermophilus* (*St. Thermophilus*) à partir du lait frais ainsi que du lait pasteurisé (ou concentré, partiellement écrémé, enrichi en extrait sec) avec ou sans addition de substances (lait en poudre, poudre de lait écrémé, les protéines lactosériques concentrées ou non, la caséine alimentaire ...etc.).

Les microorganismes du produit final doivent être viables et abondants. De plus la quantité d'acide lactique libre contenue dans 100 g de yaourt ne doit pas être inférieure à 0,7g (**FRANCE / ministère de l'Économie et des Finances, 2009**).

La législation de nombreux pays exige que les bactéries du yaourt soient vivantes dans le produit mis en vente. Certains pays néanmoins admettent qu'à la suite d'un traitement thermique destiné à améliorer la durée de conservation, le produit ne contienne plus de bactéries vivantes. Cette pratique n'est toutefois pas recommandable, car elle modifie les propriétés du yaourt (**FAO, 1995**).

1.3. Caractéristiques générales des bactéries du yaourt

1.3.1. *Streptococcus thermophilus*

Le *S. thermophilus* a été retenu dans le genre *Streptococcus* et reclassifié avec les streptocoques viridans. Il a en effet été considéré comme une espèce du groupe salivarius (Facklam, 2002 ; Delorme, 2008 ; Pontigo *et al.*, 2015). Le *S. thermophilus* est une exception dans le genre *Streptococcus*, car c'est la seule espèce qui n'est pas pathogène, et réputée par son statut de grade alimentaire, reconnu sous le nom GRAS (**Generally Recognized As Safe**)(Siezen *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2014).

Tous les isolats de *S. thermophilus* sont identifiés comme anaérobies, aérotolérants, catalase négative et Gram-positif. Leurs cellules ovoïdes se développent généralement en chaînes linéaires. Ils sont Incapables de croître à 10°C, à pH 9,6 ou en présence de 6,5% de NaCl (Delorme, 2008 ; Iyer *et al.*, 2010).

Le rôle principal de *St. Thermophilus* est la fermentation du lactose du lait en acide lactique et en plus de son pouvoir acidifiant, elle est responsable de la texture dans les laits fermentés. Elle augmente la viscosité du lait par production de polysaccharides (composés de galactose, glucose, ainsi que de petites quantités de rhamnose, arabinose et de mannose).

1.3.2. *Lactobacillus bulgaricus* :

Lactobacillus.Bulgaricus est un bacille Gram positif, immobile, asporule, microaérophile. Il est isolé sous forme de bâtonnets ou de chainettes.

Il possède un métabolisme strictement fermentaire avec production exclusive d'acide lactique comme principal produit final à partir des hexoses de sucres par voie d'Embden Meyerhof.

Il est incapable de fermenter Lb. *bulgaricus* est une bactérie thermophile, très exigeante en calcium et en Magnésium, et sa température optimale de croissance est d'environ de 42 °C. Cette bactérie a un rôle essentiel dans le développement des qualités organoleptiques et hygiéniques du yaourt.

Ces deux bactéries lactiques tolèrent de petites quantités d'oxygène. Ceci peut-être probablement relié au peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) qui est produit dans les cellules en présence d'air.

Le système le plus efficace pour éliminer le peroxyde d'hydrogène est l'utilisation d'une enzyme, la catalase, dont les bactéries lactiques sont déficientes.

Ces dernières possèdent plutôt une peroxydase (pseudo catalase) qui est moins efficace que la catalase. Comme les bactéries lactiques n'éliminent pas facilement le peroxyde, elles sont dites micro aérophiles (**DOLEYRES**, 2003).

1.4. Différents types de yaourt

1.4.1. Yaourt ferme

Le laitensemencé est versé dans de petits pots dans lesquels le yaourt sera commercialisé. L'épaississement s'effectue donc dans les pots durant 3 à 5 heures. Lorsque le yaourt est suffisamment formé, la fermentation peut être arrêtée par un refroidissement à +/- 2°C.

Des fruits peuvent avoir été ajoutés lors de la mise en pots. Ils doivent toutefois avoir été stérilisés pour éviter tout risque de fermentation parasite. (**Benoit**, 2015)

1.4.2. Yaourt brassé

Le laitensemencé est versé dans de grandes cuves en acier inoxydable où il est maintenu à température d'incubation. Le yaourt est ensuite brassé ce qui le rend moins visqueux et plus onctueux. Le yaourt à boire est obtenu par homogénéisation. Après avoir été brassé, il est battu dans les cuves avant d'être conditionné.

Des sirops, pulpes de fruits et arômes sont souvent ajoutés lors de la mise en pots. La fermentation est stoppée par refroidissement rapide et le yaourt est stocké au frais à moins de 7°C.

Yaourt entier, nature ou maigre - La différence : la teneur en matière grasse

Outre par leur consistance, les yaourts se distinguent aussi par leur teneur en matière grasse.

1.4.3. Le yaourt entier

Comme sa dénomination l'indique, ce yaourt est à base de lait entier. Sa teneur en M.G. est de 3,5% (35 g/l).

C'est un yaourt très onctueux et crémeux.

1.4.4. Le yaourt nature

Le plus fréquemment consommé. Il s'agit du yaourt fabriqué à partir de lait partiellement écrémé. Il contient 1% de M.G. (10 g/l).

1.4.5. Le yaourt maigre

Préparé à partir de lait écrémé, le yaourt maigre a une consistance gélifiée. Il est moins moelleux et il ne contient plus de vitamines A et D. ([http://www.gastronomico.fr/les-differentes textures et Varietes de yaourts/](http://www.gastronomico.fr/les-differentes-textures-et-varietes-de-yaourts/)).

1.5. Fabrication de yaourt

En fonction de la technologie de fabrication, les yaourts sont classés en deux types :

- Yaourt fermes, dont la fermentation a lieu en pots : ce sont généralement les yaourts nature- et aromatisés.
- Yaourts brassés, dont la fermentation a lieu en cuve avant brassage et conditionnement :

C'est le cas des yaourts veloutés nature ou aux fruits. La fabrication de ces deux types de yaourts peut être réalisés soit à partir de lait entier, soit à partir de lait partiellement ou totalement écrémé (3.5% ; 1.0% ; 0.0 ; %de Mg) (**Belkadi et belmaaziz**, 2015).

On peut voir des principales étapes de la fabrication du yaourt :

1.5.1. Préparation de lait

Cette étape est facultative. On peut ajouter 2 à 3% de poudre de lait (20 à 30g par litre de lait) pour accroître la consistance et obtenir des yaourts bien fermes. Plus on ajoute de poudre de lait, plus le yaourt devient ferme. On choisira de la poudre de lait écrémé, moins chère et tout aussi efficace que la poudre de lait entier. On veillera à conserver la poudre de lait dans un endroit frais, sec et protégé (**Christine**, 2010).

1.5.2. Pasteurisation

La température de pasteurisation en cuve avec agitateur varie entre 90°C à 95°C pendant quelques secondes. Plus le lait est « sale », plus la température et le temps de pasteurisation seront importants (**Patrick et al.**, 2010).

1.5.3. Refroidissement

Après chauffage, le lait est refroidi à 45°C cette température est maintenue lors de la fermentation (*Mehtoun, 2014*).

1.5.4. Ensemencement et fermentation

La fermentation qui transforme le lait liquide en un produit épaissi et acidifié le lactose, sucre naturellement présent dans le lait, est le substrat que les bactéries lactiques utilisent comme nutriment principal, L'acide lactique résultant de cette fermentation diminue le pH du lait, entraînant des modifications de conformation des protéines laitières et leur précipitation, et donc la texturisation et l'épaississement du lait. Pour les yaourts dits « fermes », la fermentation a lieu directement dans le pot. Pour les yaourts dits « brassés », la fermentation a lieu en cuve après ensemencement du lait par le starter .Puis, lorsque la coagulation a eu lieu, on procède au décaillage par pompage du gel, complété par une filtration permettant un lissage du caillé (*Bourlioux et al., 2011*).

1.6. Valeurs nutritionnelles

Yaourts sont tout à fait transposables à celles des laits fermentés. En effet, c'est la nature du lait utilisé (entier, demi-écrémé ou écrémé) et l'ajout éventuel d'ingrédients qui interviennent sur la composition des produits et non pas le type de ferments.

Un yaourt pèse en moyenne 125 g, mais les apports nutritionnels fournis par les tables de composition sont toujours exprimés pour 100 g, quels que soient les produits.

Tableau06 : Composition pour 100 g de yaourt (Jesus Cardenas,2018)

	protides	lipides	glucides	calcium	apport calorique
yaourt nature au lait entier	4,1 g	3,5 g	4,7 g	151 mg	70 kcal
yaourt aromatisé au lait entier	3,2 g	3,2 g	14 g	130 mg	100 kcal
yaourt aux fruits au lait entier	3.5 g	2.7 g	18 g	130 g	113 kcal
yaourt nature	4.3 g	1.1g	4.8 g	173 g	50kcal
yaourt sucré	3.9 g	0.9 g	13.4 g	154 mg	80 kcal
yaourt nature 0% de MG	4,5 g	0 g	4 ,9 g	150 mg	44 kcal
yaourt sucré 0% de MG	4 g	0 g	13,8 g	151 mg	75 kcal
yaourt à boire sucré	2.9 g	1.2 g	12.8 g	110 mg	72 kcal
yaourt à boire aromatisé	2.9 g	1.4 g	13.3 g	107 mg	77 kcal
yaourt à boire pulpe de fruits	2.7 g	1.6 g	13.5 g	107 mg	78 kcal
yaourt à boire édulcoré	2.8 g	1.7 g	4 g	124 mg	42 kcal

1.7. Conservation des yaourts

Le yaourt prépare selon une technologie rigoureuse et dans des conditions hygiéniques strictes.

Ces produits peuvent se conserver environ 3 semaines jusqu'à la vente au consommateur sous réserve d'être maintenus au froid (entre 4 et 8°C).

Si le maintien des yaourts au froid empêche la multiplication bactérienne, il n'arrête pas complètement leur activité métabolique. Bien que lente, la production d'acide lactique se poursuit.

De plus, des enzymes hydrolysent les protéines avec, comme conséquences, une diminution de la fermeté et de la viscosité et l'apparition de peptides à goût amer. Pour ces raisons, on procède parfois, quand la réglementation le permet, à un traitement thermique après la fermentation (**dupin al**, 1990)

3. Définition

Les polyphénols constituent une famille de molécules très largement répandues dans le règne végétal et sont issus du métabolisme secondaire (**Zhang et al.**, 2016) localisés dans les racines jusqu'aux fruits (**Kim et al.**, 2014). Ils jouent un rôle majeur dans les interactions de la plante avec son environnement (**Ganesan et al.**, 2017). Plus de 9000 composés phénoliques naturels sont identifiés (**Hu et al.**, 2017).

Les polyphénols possèdent des propriétés biologiques diverses : antioxydant, antidiabétique, anticancéreux, anti-inflammatoire, cardioprotecteur, ostéoprotecteur, neuroprotecteur, antihypertenseur, anti-âge, antiseptique, protecteur cérébrovasculaire, réducteur de cholestérol, hépatoprotecteur, antifongique, antibactérien (**Ganesan et al.**, 2017).

3.1. Classification des polyphénols

Leur classification est basée essentiellement sur la structure, et est divisée en deux catégories (**Hu et al.**, 2017) :

- Les flavonoïdes : les flavonols, isoflavonones, flavanols, proanthocyanidines, anthocyanines, flavanones, flavones.
- Les non flavonoïdes : les stilbénes, les acides phénoliques et les lignanes (**Oliver et al.**, 2016).

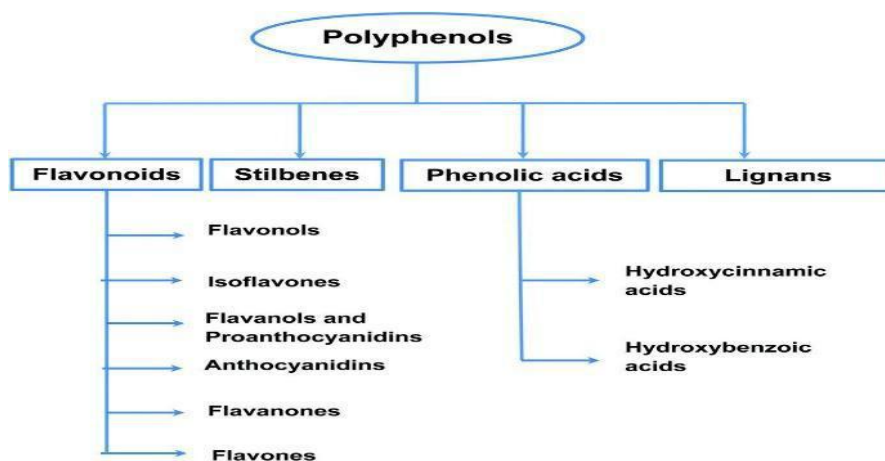


Figure 03 : Les principales classes des polyphénols (**Oliver et al.**, 2016).

3.2. Composés polyphénolique non flavonoidiques

3.2.1. Acides phénoliques

Ce sont des composés organiques possédant au moins une fonction carboxylique et un hydroxyle phénolique et ils sont représentés par deux sous-classes (**Sandrina et al.**, 2014) :

- Les dérivés de l'acide hydroxybenzoïque.
- Les dérivés de l'acide hydroxycinamique.

Les dérivés de l'acide hydroxybenzoïque : sont des dérivées de l'acide benzoïque et ont une structure de base (C6-C3), sous forme libre ou combinée à l'état d'esters ou hétérosides. Cette dernière est abondante dans les fruits et légumes : les fraises et les épices (**Hosseini et al.**, 2016).

Les acides Hydroxycinamiques (C6-C3) : abondants dans les feuilles de thé, les graines de café, le vin rouge, les fruits variés .Ils sont souvent estérifiés et peuvent être combinés à des sucres (O-acylglucosides) (**Hosseini et al.**, 2016). L'acide Hydrocinamique possède plusieurs activités thérapeutiques : anti-inflammatoire, antioxydant, cardioprotecteur (**Alam et al.**, 2016).

L'acide caféique est le représentant principal de cette catégorie (**Scalbert et al.**, 2015).

3.2.2. Lignanes (C6-C3-C6)

Lignanes forment la classe des composés phénoliques les plus répandus dans le règne végétal (**Sang et Zhu et al**, 2014). Ils ont une structure dimérique lors de l'oxydation de deux unités de phénylpropanoïde C6-C3 (**Teponno et Kusar et al.**, 2016).

Les lignanes sont associés à la fibre végétale de nombreux aliments comme les céréales, les noix, les graines, les légumes et les boissons (le thé, le café ou le vin) (**Seth et al.**, 2015).

3.2.3. Stilbènes (C6-C2-C6)

Stilbènes sont naturellement, présents dans une grande variété de produits alimentaires comme les raisins, les baies, les cacahuètes, le vin rouge (**Tsai et al.**, 2017) et certaines plantes médicinales comme *Polygonum cuspidatum*, *Rhodomyrtus tomentosa*, *Rheumundum latum* (**Reinisalo et al.**, 2015).

La structure de base des stilbènes est composée de deux cycles aromatiques joints par un pont d'éthylène. Deux isomères optiques existent naturellement : cis et trans, avec des propriétés chimiques et biologiques différentes (**Tsai et al.**, 2017).

Les stilbènes sont des phytoalexines synthétisées par les plantes en réponse à l'attaque par les microbes pathogènes : champignons, bactéries et virus (**Hurtado et al.**, 2017). Ils possèdent un large spectre d'effets thérapeutiques : antioxydant, anticancéreux, cardioprotecteur et neuroprotecteur (**Filippis et al.**, 2017).

Les stilbènes les mieux connus sont le trans-resveratrol, le pterostilbène et le 3'-hydroxypterostilbène (**Tsai et al.**, 2017). Le resvératrol est le stilbène le plus largement étudié à ce jour, en raison de ses multiples effets bénéfiques sur la santé humaine (**Nivelle et al.**, 2017). Cette molécule possède de nombreuses actions thérapeutiques : anti-inflammatoire, antioxydant, cardioprotecteur, antidiabétique, anti-âge et anticancéreux (**Tang et al.**, 2017).

3.3. Biosynthèse de polyphénols

La biosynthèse des polyphénols se fait par deux voies principales :

3.3.1. Voie de l'acide shikimique

La voie de shikimate est une série de sept étapes métaboliques, qui convertissent le phosphoénolpyruvate (PEP, de la voie glycolytique) et de l'érythrose 4-phosphate (Ery4P de la voie du pentose phosphate) au chorismate (**Widhalm et al.**, 2015), précurseur des acides aminés aromatiques (AAA) : le L-phénylalanine (Phe), la L-tyrosine (Tyr) et L-tryptophane précurseurs pour la production des métabolites secondaires tel que les polyphénols (**Zhu et al.**, 2016).

3.3.2. Voie de l'acide malonique

La glycolyse et la β -oxydation aboutissent à la formation de l'acétyl-CoA donnant le malonate après condensation de 2 acétyl-CoA. A travers cette voie que s'effectue la chaînes polycétoniques obtenues par condensation répétée d'unités « acétate » qui se fait par carboxylation de l'acétyl-CoA catalysée par l'enzyme acétyl-CoA carboxylase (**Widhalm et al.**, 2015).

3.4. Défenses antioxydants

Dans le cas d'une production physiologique de radicaux libres, l'organisme dispose d'un système efficace de protection qui lui permet de lutter contre ces espèces radicalaires. Ce système s'appelle les capacités anti-oxydantes.

3.4.1. Système antioxydant enzymatique

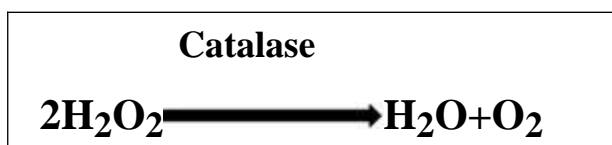
A. Superoxydes dismutases (SOD) : (EC : 1.15.1.1)

Elles constituent la première ligne de protection contre les ROS, elles catalysent la dismutation de l'anion superoxyde en oxygène et en peroxyde d'hydrogène, empêchant ainsi la coexistence de ces deux espèces radicalaires, et par conséquent la génération du radical hydroxyle. Il existe trois types de SOD ayant une localisation différente : une SOD cytoplasmique dimérique à cuivre et zinc, une SOD extracellulaire tétramérique à cuivre et zinc, et une SOD mitochondriale tétramérique à manganèse. (**Haleng et al.**, 2007).



B. Catalase : (EC : 1.11.1.6)

Cette enzyme joue un rôle important dans l'élimination de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) intracellulaire produit généralement sous l'action de SOD (superoxydedismutase). H_2O_2 est toxique pour les cellules (**Kravea et al.**, 2017).



C. Glutathion peroxydases (GPxs) : (EC : 1.11.1.9)

Des sélénoprotéines, catalysent la réaction de réduction des peroxydes aux dépens de son substrat spécifique (le glutathion). Son rôle principal consiste en l'élimination des peroxydes lipidiques résultant de l'action du stress oxydant sur les acides gras polyinsaturés.

Il existe en 5 isoformes : La GPx 1 cytoplasmique et mitochondriale, La GPx2 gastro-intestinale, La GPx3 et la GPx4 plasmique, et la GPx5 Épididymaire (**Delattre et al.**, 2005).

D. Système thiorédoxines

Le milieu intracellulaire est plutôt réducteur, les protéines contiennent des groupements thiols libres et les ponts disulfures sont rares. L'antioxydant majeur responsable du maintien des protéines à l'état réduit est la thiorédoxine qui sera régénérée par le NADPH sous l'action de la thiorédoxine réductase (TrxR) qui possède un groupement sélénocystéine dans son site actif.

E. Glutathion-S-transférase (GST) : (EC 2.5.1.18)

C'est une famille des enzymes multifactorielles présentes chez tous les organismes (**Renuka et al.**, 2003). La glutathion-S-transférase (GST) est un système très important dans la protection de la cellule contre les espèces réactives de l'oxygène, par sa capacité de conjuguer le glutathion avec les composés électrophiles et la réduction des peroxydes (**Zhihua et al.**, 2004) (**Gattás et al.**, 2004). L'activité de conjugaison du GSH avec les composés électrophiles est présentée comme suit :

**3.4.2. Système antioxydant non enzymatique**

Certains aliments sont riches en antioxydants, comme les oméga 3 (poissons, huile de lin, noix, noisettes), en polyphénols (fruits et légumes), vitamines anti-oxydantes (Vit C, Vit E, Vit D) et certains minéraux, cofacteurs d'enzymes anti oxydantes (Se, Mg, Cu, Zn, Fe).

A. Omégas 3

Les acides gras polyinsaturés omégas 3 (AGPI) sont des acides gras essentiels qui doivent être dérivés de l'alimentation, ne peut être fabriqué par l'homme et d'autres mammifères en raison du manque de l'enzyme endogène pour la désaturation des omégas 3 (**Artemis et Simopoulos**, 2016).

B. Polyphénols

Les composés phénoliques sont capables d'agir comme des antioxydants, qui peuvent neutraliser les radicaux libres en donnant un électron ou un atome d'hydrogène. Leurs structures leur confèrent une activité anti-oxydante aussi importante. Les groupes hydroxyles des polyphénols sont bien des donneurs d'atomes d'hydrogènes, ils peuvent réagir avec les espèces réactives de l'oxygène et les espèces réactifs de l'azote, enfin de réaction, le cycle de génération de nouveaux radicaux est interrompu (**Enrique et al.**, 2012).

C. Vitamine C

L'acide ascorbique joue un rôle antioxydant très important, qui est lui aussi lié à sa capacité à donner des électrons. Ces électrons vont être donnés de manière séquentielle. Un électron et va donner l'acide déhydroascorbique. Sa stabilité est importante, de l'ordre de quelques minutes. Le passage de la forme oxydée à la forme réduite, et inversement, va dépendre majoritairement de pH. L'acide L-ascorbique et l'acide déhydroascorbique forment un couple redox (ou oxydant/réducteur) avec un passage par une forme intermédiaire (le radical ascorbyle) qui va permettre de capter les radicaux libres. Cette interaction avec les radicaux libres est responsable de son potentiel antioxydant (**Pescheux et al.**, 2016).

D. Vitamine D

La vitamine D contribue non seulement à maintenir le métabolisme normal du calcium, mais aussi à une vaste gamme d'actions non classiques (**Mokhtari et al.**, 2017). Parmi ces actions actions en trouvent l'activité antioxydant. Qui se traduire par :

- Un effet inducteur de l'expression des enzymes impliquées dans la défense antioxydant : superoxyde dismutase (SOD) et le Glutathion (GSH).
- Un effet inhibiteur de l'expression de la NADPH oxydase.

Il y a peu d'études consacrées à l'action antioxydant de vitamine D et son mécanisme moléculaire impliqué (**Mokhtari et al.**, 2017).

E. Vitamine E

La vitamine E intervient dans l'inactivation des formes réactives de l'oxygène et est donc impliquée dans la problématique du stress oxydant. Le terme vitamine E correspond à 2 grands groupes de molécules : les tocophérols et les tocotriénols (**Cuverlier et al.**, 2003).

L'isoforme de vitamine E, possédant la plus forte activité antioxydante, est l' α -tocophérol, dans lequel la partie hydrophobe possède des fonctions OH dont l'atome d'hydrogène est facilement amovible, qui contribue ainsi à la neutralisation des radicaux libres

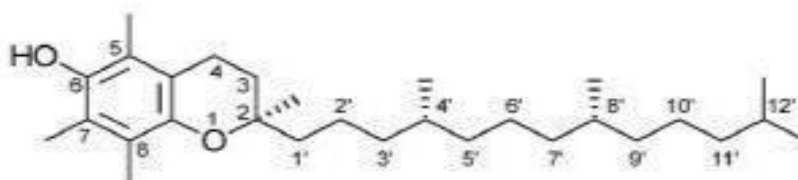


Figure 04 : structure de l' α -tocophérol (**Fereidoon et Adriano et al.**, 2016)

F. Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des composés liposolubles largement répandus dans la nature, ayant diverses propriétés biologiques (**Westphal et al.**, 2015).

Tous les caroténoïdes dérivent d'une structure linéaire (C₄₀H₅₆) avec de nombreuses doubles liaisons. Le chef de file des caroténoïdes est cependant le β -carotène, également appelé provitamine A (**Halenge et al.**, 2007).

3.5. Polyphénols alimentaires et leur devenir dans l'organisme

L'alimentation est une composante déterminante dans la prévention primaire de nombreuses maladies chroniques associées au vieillissement comme les maladies cardiovasculaires (MCV), le diabète de type 2, les maladies neuro-dégénératives et certains cancers.

Les polyphénols sont présents exclusivement et en abondance dans tous nos aliments et boissons d'origine végétale. Les teneurs en polyphénols dans les aliments sont affectées par les opérations de fractionnement, raffinage, broyage, fermentation,

cuisson, conservation ou maturation qui se traduisent souvent par des réactions d'hydrolyse et d'oxydation des polyphénols. En fonction de leur structure chimique, les polyphénols sont répartis en différentes classes : acides phénoliques, flavonoïdes, lignanes, stilbènes et curcuminoïdes (**Rodriguez-Matéos et al.**, 2014)

Les acides phénoliques (café, céréales) et les flavonoïdes sont de loin les plus représentés et les plus abondants dans notre alimentation (**Figure 3**). Les flavonoïdes sont les composés pour lesquels les « effets santé » ont été le plus explorés. En fonction de particularités structurales, les flavonoïdes sont répartis en six sous classes : flavanols (fruits, cacao, thé, vin), flavonols (oignon, brocolis, tomate, thé), flavones (tisanes, plantes aromatiques), isoflavones (soja, légumineuses), flavanones (agrumes) et anthocyanes (baies, fruits rouge, vin) (**Rodriguez-Matéos et al.**, 2014). Certaines de ces classes sont spécifiquement présentes dans certaines catégories d'aliments alors que d'autres sont beaucoup plus ubiquitaires.

Les apports qualitatifs et quantitatifs en polyphénols peuvent être très variables selon les habitudes alimentaires. Dans le cadre d'un partenariat entre l'INRA et l'industrie, la base de données Phénol Explorer qui recense les teneurs en polyphénols dans nos aliments a été développée (<http://phenol-explorer.eu/>). L'utilisation de cette base sur une cohorte française a permis d'estimer l'apport moyen en polyphénols à environ 1,2 g/j et la contribution des flavonoïdes à plus de 40% de ces apports journaliers (**Perez-Jimenez et al.**, 2011).

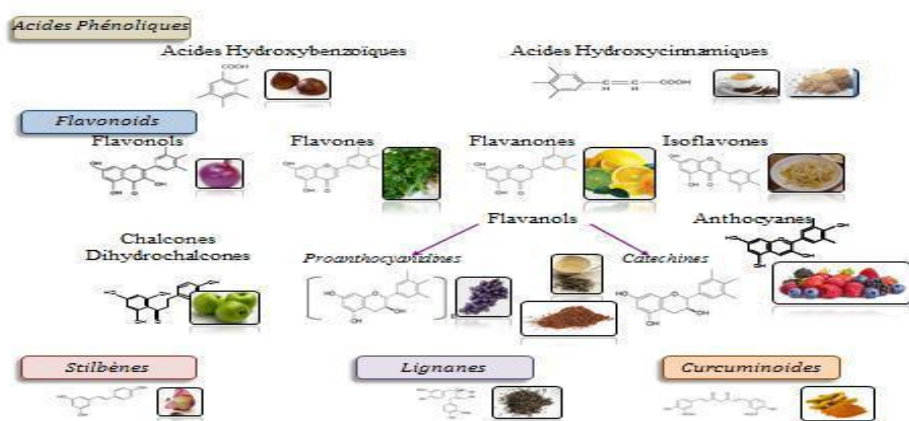


Figure 05 : Les Dans différentes les aliments, familles polyde polyphénols sont et leur ment principale sont sources formalimentaires libre.

(dite « aglycone ») mais le plus souvent sous forme d'esters (cas des acides phénoliques), de glycosides ou de polymères (cas des flavonoïdes). Ces particularités conditionnent beaucoup l'efficacité de leur absorption (**Morand et al.**, 2012).

Ainsi, les polyphénols polymères, les plus abondants dans notre alimentation, ne franchissent pas la barrière intestinale, si bien que leur impact potentiel est limité au tractus digestif. L'absorption des autres formes nécessite l'hydrolyse préalable des liaisons glycosides et esters par le microbiote intestinal. Les formes libres absorbées subissent au niveau intestinal puis hépatique des processus de conjugaison, de sorte que dans la circulation les polyphénols sont présents sous formes conjuguées, essentiellement des dérivés méthyles, glucuronidés et sulfatés. D'une façon générale, les taux circulants de polyphénols sont relativement faibles (concentrations maximales allant de 1 à 5 $\mu\text{mol/L}$) et ne se maintiennent que par la consommation régulière de produits végétaux, en raison de l'élimination rapide des métabolites plasmatiques (**Morand et al.**, 2012).

L'activité du microbiote vis-à-vis des polyphénols ingérés ne se limite pas à des réactions d'hydrolyse pour permettre leur absorption puisqu'ils peuvent être aussi catabolisés, avec production d'une grande variété de métabolites microbiens (acides aromatiques de petites tailles) ensuite absorbés ou éliminés dans les fèces. Dans certains cas et selon sa composition, le microbiote peut aussi produire des métabolites actifs suite à des réactions de réduction ou de déméthylation. C'est par exemple le cas des lignanes du lin métabolisées par le microbiote en entérodiol et entérolactone, et celui des isoflavones de soja converties en équol. Ces métabolites d'origine microbienne sont reconnus pour leur activité oestrogénique bien supérieure à celle des molécules parents (**Morand et al.**, 2012).

3.5.1. Exemple de résultats marquants

Preuves clinique et préclinique du rôle des polyphénols dans les effets des agrumes sur la protection vasculaire et identification des mécanismes d'action :

Les agrumes comptent parmi les fruits les plus consommés à travers le monde et ce sont aussi des sources riches et exclusives d'une catégorie particulière de flavonoïdes : les flavanones. Les aglycones de flavanones varient selon les types d'agrumes : l'hespéridine est majoritaire dans l'orange et la clémentine, la naringénine dans le pamplemousse et l'ériodictyol dans le citron. Dans ces fruits ou boissons dérivées, les flavanones sont présentes sous forme de glycosides, qui pour certains donnent un goût amer (par exemple, naringine du pamplemousse) tandis que d'autres sont sans saveur (hespéridine, ériocitrine).

Ces composés étant abondants dans les parties solides et comestibles du fruit, leurs teneurs sont nettement plus élevées dans les fruits (150-625 mg/100g) que dans les jus (40-60 mg/100ml) (**Chanet et al.**, 2012). Plusieurs études épidémiologiques ont rapporté une relation inverse entre la consommation d'agrumes et la survenue d'événements coronaires ou d'AVC, mais peu d'études ont recherché les associations entre les niveaux d'apports en flavanones et la survenue d'événements cardiovasculaires.

D'après les données issues de trois études prospectives conduites sur de larges cohortes américaines ou européennes, des réductions de 15% de la mortalité coronarienne et de 20% de l'incidence des AVC ont été rapportées pour les niveaux d'apports les plus élevés en flavanones (>50 mg/jour) (**Morand**, 2014). Cependant, les données cliniques sur l'impact des flavanones sur la santé cardiovasculaire sont rares.

Objectifs de travail

Ce travail expérimental consiste à suivre l'effet de variation des doses d'extrait aqueux de citrus en déterminant l'activité antioxydante et le pouvoir réducteur de la peau et la pulpe de citron sur la qualité physico-chimique, microbiologique d'un lait fermenté type yaourt nature durant sa conservation à 4 °C.

4.1 Partie Biochimie (concerne la peau et la pulpe de citron)

4.1.1 Présentation des échantillons :

Nos travaux ont porté sur l'étude des propriétés physicochimiques de la peau et la pulpe de citron.

Nous avons choisi deux variétés de citron à différentes régions exploité en Algérie.

- La variété citron 1 provient d'arbres situés dans des vergers de la région de Mostaganem durant la campagne (2018-2019) et au cours de deux stades de maturation (stade 1= début de la maturation, stade 2= complète maturation). À chaque stade, un nombre de fruits $n \geq 30$ est récolté à partir du moins de février, trois arbres en prenant soin d'en prélever dans toutes les directions.
- La deuxième variété de citron utilisé est le citron jaune, cultivée dans une maison à Ain Dafla. Nous avons les utilisés à différents stades de maturité de citron (avant et après maturités).
- Les fruits récoltés sont pesés avant l'utilisation afin de déterminer le poids moyen frais.



Figure 06 : Citron après maturité



Figure 07 : Citron avant maturité

4.1.2. Laboratoire d'analyse

Les analyses effectuées au sein de laboratoire végétal de « culture in vitro »,

- Les premières analyses étudient l'extraction de différentes parties du citron (la peau et de la pulpe) et leur teneur en polyphénol durant une période d'un quinze jours.
- La deuxième analyse consiste à déterminer le pouvoir de l'activité anti-radicalaire de l'extrait de peau et pulpe de citron.

La partie biochimique de ce travail consiste : la détermination de la matière sèche et minérale, le dosage des polyphénols et leur extraction, l'activité antioxydante des polyphénols de la peau et de la pulpe de citron.

4.2 .Méthode d'analyses (concerne la peau et la pulpe de citron)

4.2.1. Détermination de la teneur en matière minérale et matière sèche

4.2.1.1. Matière sèche

La teneur en matière sèche de l'échantillon est déterminée en séchant 5g de produits à l'étuve réglée à une température de 105°C. (AFNOR, 1985).

Mode opératoire

La peau : avant de réaliser ce travail, on a pesé les creusets vides.

- À l'aide d'une lame, on épluche la peau de citron à petits morceaux
- Pesez deux grammes (2g) de la peau de citron de chaque variété et mettez dans les creusets en utilisant une balance précise.
- Mettez-les dans une étuve à une température de 105°C pendant 24 heures.

La pulpe : on répète la même manipulation que la peau sauf en prend trois grammes (3g) de la pulpe de citron et mettez dans l'étuve pour l'incubation.

Calcul de la matière sèche en % :

La teneur en matière sèche (MS) en pourcentage de l'échantillon est calculée par l'expression suivante :

$$MS (\%) = (M_0(g)/M(g)) \times 100$$

$M_0(g)$ = la masse du creuset après étuvage – la masse du creuset

vide $M(g)$ = masse échantillon (g) (peau 2g et la pulpe 3g)

4.2.1.2. Matière minérale

La teneur en cendres de l'aliment est conventionnellement le résidu de la substance après destruction de la matière organique par l'incinération à 550°C dans un four à moufle pendant 2 heures et 30 minutes. (AFNOR, 1985).

Mode opératoire

Après l'incubation d'un jour on pèse autre fois les creusets de la peau et de la pulpe et les remettez dans un four a moufle pendant trois heures (3h) a température de 550°C.

Après 3h pausé le c avec les échantillons et mentionner le 3e poids(P3).

Calcule de la matière minérale en % :

La teneur en matières minérales de l'échantillon est calculée par la relation suivante :

$$MM (\%) = (M_2 - M_0) (g) / (M_1 - M_0) \times 100$$

M₀ : Masse du creuset vide (en gramme).

M₁ : Masse du creuset contenant la prise d'essai (en gramme). (Après étuvage)

M₂ : Masse totale du creuset et les minéraux bruts (en gramme).

A. Détermination de la matière organique

$$MO (\%) = MS (\%) - MM (\%)$$



Figure 08 : Echantillon 1



Figure 09 : Echantillon 2

4.2.2. Extraction et dosage des polyphénols

4.2.2.1. Préparation des extraits de la peau et la pulpe de citron

Principe

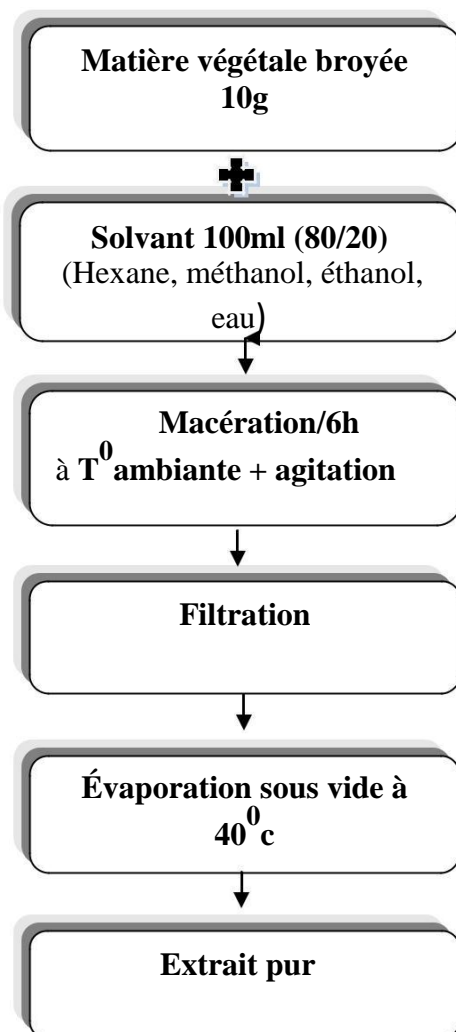


Figure 10 : Extraction des composés bioactifs (polyphénol total) (Sultana *et al.*, 2009).

Mode opératoire

Cette opération passe par plusieurs étapes est :

Macération

L'extrait brut des échantillons étudiés est obtenu par macération, ce type d'extraction est un simple contact entre le support solide et le solvant ; 10g de la peau ou pulpe de citron ont été mélangés avec 100 ml du solvant d'extraction (méthanol à 80%) ; le mélange a été mis sous agitateur magnétique à température ambiante pendant 24. après la macération, le mélange a été filtré à l'aide d'un papier filtre ordinaire plusieurs fois. Le filtrat correspond à la fraction méthanolique.



Figure 11 : Après agitation

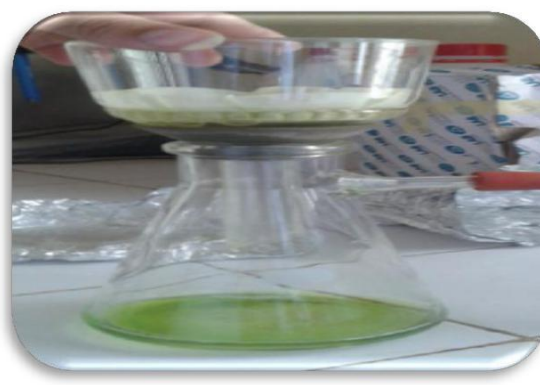


Figure 12 : Après filtration

L'évaporateur rotatif :

Après filtration des solutions :

Placée dans l'appareil, le principe basé sur la distillation simple sous vide, qui permet d'éliminer les grandes quantités de solvant, la solution est mise en relation dans un ballon, la durée : procède à l'évaporation jusqu'à la disparition complète au solvant.

A. Dosage des polyphénols totaux de la peau et la pulpe de citron Principe

Le réactif de Folin-Ciocalteu est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$). La méthode de folinciocalteu est basée sur l'oxydation des cycles phénoliques, couplée à la réduction de l'acide Phosphomolybdique (Castellucci, 2010).

Le réactif de Folin-Ciocalteu voit ses propriétés colorimétriques modifiées lorsqu'il est complexé à certaines molécules, il réagit avec la fonction OH des phénols, cette réaction se traduit par le développement d'une coloration bleu foncé, permettant de déterminer la concentration des polyphénols en se référant à une courbe d'étalonnage à partir des concentrations connues (**Khatabi et al.**, 2011).

Mode opératoire

Un volume de 4 ml du réactif de Folin-Ciocalteu est ajouté à 1 ml d'extrait. Après 5 Minutes, 4ml de la solution de carbonate de sodium (7,5%) sont ajoutés. Après une heure D'incubation, l'absorbance est mesurée à 765nm. La concentration en composés phénoliques Des extraits, exprimés en milligramme équivalent acide gallique par 100 g de matière sèche, sont déterminés en se référant à la droite d'étalonnage.

La lecture : à la présence d'un spectromètre et après l'incubation (calibrage avec l'eau distillée).



Figure 13 : Dosage des polyphénols totaux (**Original**, 2019)

A. Mesure de l'activité antioxydante :

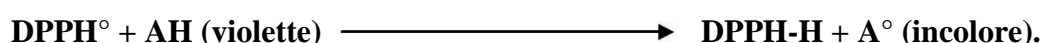
A.1. Activité anti-radicalaire par le test au DPPH :

Objectif :

Le test de DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) permet d'étudier l'activité anti radicalaire de molécules contenues dans les extraits préparés (Mighri *et al.*, 2010).

Principe

L'activité anti radicalaire est mesurée par la réduction du DPPH, qui est un radical synthétique présentant une intense coloration violette. La couche électronique de ce radical est saturée en contact d'antioxydant, ce qui explique la disparition de sa coloration (Menichini *et al.*, 2011). Cette décoloration explique le pouvoir des extraits de la plante à piéger ce radical selon la réaction suivante, qu'on peut détecter par spectrophotomètre-UV.



Cette activité a été testée selon la méthode d'écrite par Hemalatha 2010

Mode opératoire

La méthode décrite par Sanchez-Moreno et al (2002) a été adopté pour la mesure du pouvoir antioxydant in vitro. Cinquante microlitres 50µl d'extrait méthalonique ont été mélangé avec 5ml d'une solution méthalonique du DPPH (0,004%, m/v).Après d'une période d'incubation de 30 minutes à la température ambiante, l'absorbance a été mesurée à la longueur d'onde de 517nm.

L'inhibition du radical libre DPPH par le Trolox a été également analysée à différentes concentrations (200-100), servant comme courbe d'étalonnage. La capacité antioxydante des échantillons a été exprimée en pourcentage d'inhibition du radical DPPH suivant l'équation :

$$\text{I\%} = (\text{A blanc} - \text{A échantillon} / \text{A blanc}) \times 100$$

Avec :

À **blanc** : absorbance du blanc

À **échantillon** : absorbance d'échantillon.

4.3. Partie microbiologique (concerne le yaourt)

Le produit obtenu est réalisé au niveau de laboratoire d'atelier d'élevage de HASSI MEMECHE de Mostaganem. Elle est située à 5 km au sud de la ville de Mostaganem (Université Abdelhamid Ben Badis ITA Mostaganem).

4.3.1. Préparation de l'échantillon

Le lait utilisé pour la fabrication de yaourt est un lait cru collecté d'une vache saine et bien nourrit dans une exploitation (ferme) a Hassi mamèche, le lait a une couleur blanc jaunâtre est riche en nutriments. Conserve dans un endroit frais et humide.

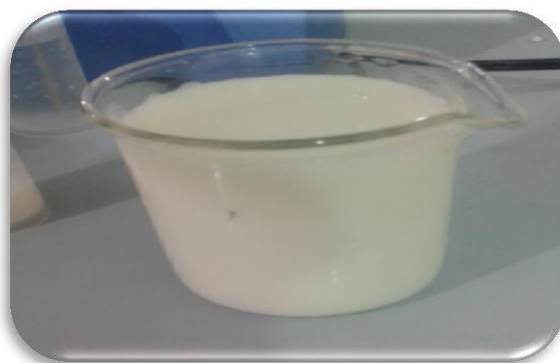


Figure 14 : Lait de vache

4.3.2. Matériel du laboratoire

La présence de Lactoscan et l'étuve et réfrigérateur



Figure 15 : Lactoscan

4.3.3. Méthode de fabrication du yaourt

Après la mesure de pH et de l'acidité du lait de vache cru, on passe aux étapes suivantes :

A. *Pasteurisation*

On ramène un lait de vache cru, mettez le lait dans un récipient stérile propre et on le chauffe à une température de 92°C, en vérifiant la température avec un thermomètre.

B. *Refroidissement*

Après l'étape de pasteurisation, on ferme hermétiquement le récipient par un papier aluminium et mettez dans un réfrigérateur pendant quelques minutes.

C. *Ensemencement*

On réchauffe le lait à une température de 45°C, puis on ajoute des ferments (poudre) et on agite soigneusement à l'aide d'une louche pour maintenir la texture de lait.

D. *Ajout des extraits*

On verse le mélange dans des petits pots à un volume de 100 ml puis on ajoute les extraits de la peau et de la pulpe de citron a des différents doses et différents stades de maturité , dans chaque peau avec répétition des pots et on mélange manuellement avec une cuillère. Fermer avec papier aluminium chaque pot et mettez dans un plat.

E. *Incubation*

Mettez dans une étuve à une température de 45°C pendant 4 heures pour l'activation des souches bactériennes.

Après l'incubation on obtient un yaourt naturel.



Figure 16 : Yaourt étuve

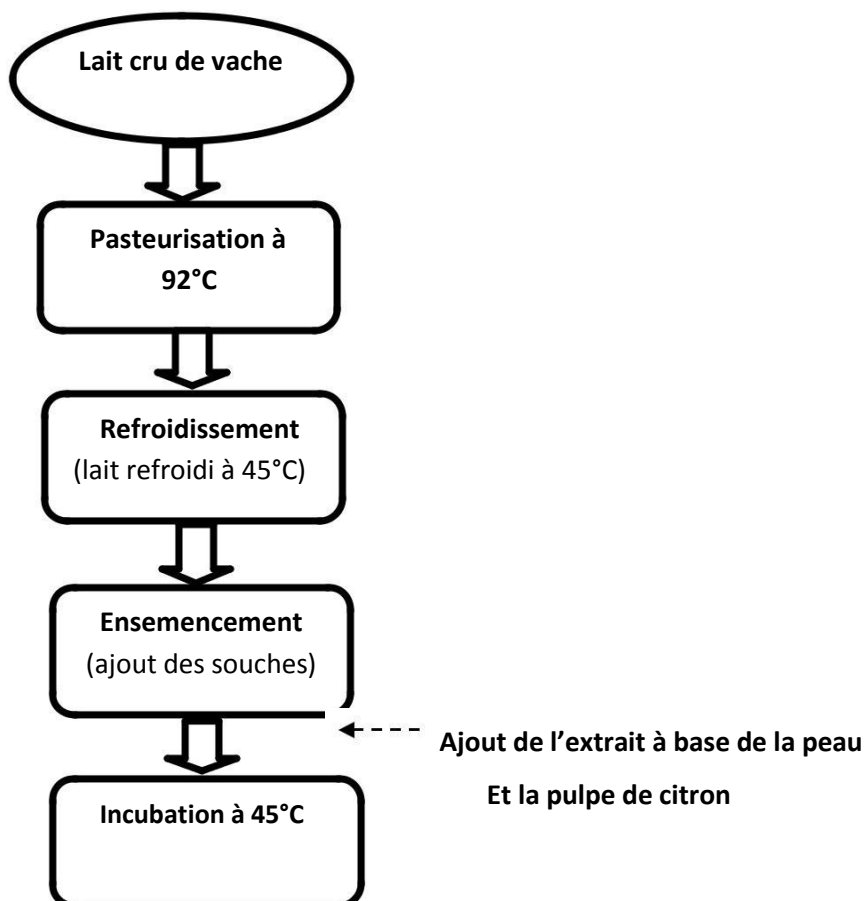


Figure 17 : Diagramme de fabrication de yaourt nature



Figure 18 : Yaourt final

4.4. Méthode d'analyses :(concerne le yaourt naturel)

4.4.1. Détermination des paramètres physico-chimique

Ces analyses ont porté sur la détermination du : pH, l'acidité titrable, la teneur en matière grasse, le taux de cendre, la teneur en lactose.

A. Détermination du

pH Principe

La mesure de pH est basée sur la différence du potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongée dans le produit. Cette détermination est réalisée à l'aide d'un PH-mètre.

Mode opératoire

On étalonne le pH-mètre en utilisant une solution tampon, on prélève comme prise d'essai un volume V du yaourt formulé suffisamment important pour permettre l'immersion de l'électrode, on note par la suite la valeur du pH.



Figure 19 : pH mètre

A. Détermination de l'acidité titrable

Principe

Cette mesure est réalisée par neutralisation de l'acidité libre totale avec une solution déci normale de soude (0,3125). L'évolution de la neutralisation est suivie à l'aide d'un pH-mètre et d'un réactif coloré (phénolphtaléine). On arrête le dosage lorsque le ph atteint 8,2 (point de virage du phénol phtaléine).

Mode opératoire

Dans un bécher, on introduit 10 ml d'échantillon auquel on rajoute 3 à 4 gouttes de Phénolphtaléine, le tout est titré par la solution d'hydroxyde de sodium jusqu'au virage de la solution.

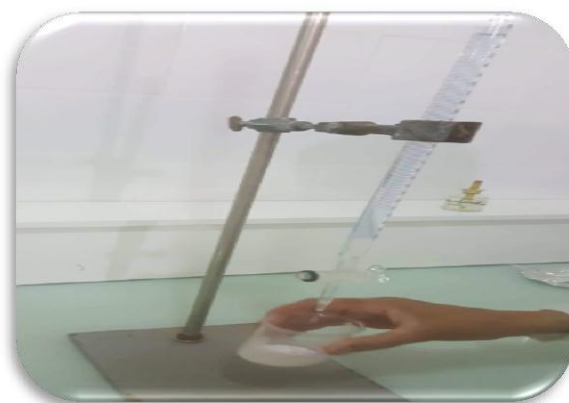


Figure 20 : L'acidité titrable

Ces analyses ont été entreprises afin d'assurer aux produits proposés la qualité marchande et hygiénique mettant en cause la santé des consommateurs.

A. Principe du Lactoscan

Le Lactoscan est un analyseur chimique moderne qui convient à l'analyse de tout type de lait⁹⁹. Grâce à la technologie à ultrasons qu'il utilise, il n'est pas nécessaire de procéder à son calibrage à intervalles réguliers. Il est automatiquement calibré, sans utilisation d'ordinateur. La précision des déterminations ne dépend pas de l'acidité du lait et l'analyse peut être réalisée dès la température de 5°C.

Fonctionnement :

Cherchez d'abord le produit souhaité (lait-yaourt). 20 calibrages de produits différents sont ainsi disponibles (pour le lait entier, le lait écrémé, la crème, le lait de chèvre, le lait de brebis, le lait de vache, etc.)

Plongez le tuyau d'aspiration d'échantillons dans un tube d'essai avec le lait à analyser. Celui-ci devra comprendre au moins 30 ml de lait (la quantité devra être augmentée en

conséquence pour des mesures multiples). Sinon, l'appareil aspira de l'air, ce qui déclenchera le message d'erreur « pas de plateau ».

Exigence pour les échantillons de lait à analyser.

- pH : minimum 6.3
- Absence de bulles d'air : l'échantillon ne doit pas être mousseux, les bulles d'air perturbant considérablement la mesure.
- L'échantillon doit être liquide. Il ne doit pas contenir de composant solide.
- L'échantillon doit être secoué/agité. Les perles de matière grasse doivent être bien réparties dans le lait.
- Température : de 8°C à 35°C. Les échantillons de lait devront être à température unitaire dans la mesure possible pour les échantillons de lait à analyser.

Au moyen des touches curseur, allez vers le point de menu « mesure ».

Appuyez sur la touches « enter » --la mesure commence.

De 12 à 20 ml de lait sont d'abord pompés (en fonction du réglage).

Séquences suivantes se succèdent à chaque mesure :

- Pompage d'échantillons.
- Chauffage d'échantillons.
- Équilibrage de température.
- Mesure.

À l'aide de cet appareil, on a mesuré la matière grasse et le taux de protéine du lait seule (lait de vache cru) et 10 échantillons du Yaourt (dilue).

Chaque échantillon comporte 02 doses d'extrait de citron (peau et pulpe).

- **Dose de 1%** : 100 ml du yaourt avec 1ml d'extrait de la peau et de la pulpe de citron.
- **Dose de 5%** : 100ml du yaourt avec 5 ml d'extrait de la peau et la pulpe de citron.

A.1. Détermination du taux de la matière grasse par la méthode acido-butyrométrique (Norme AFNOR, 1980)

Le principe de cette méthode est basé sur la dissolution de la matière grasse à doser par l'acide sulfurique. Sous l'influence d'une force centrifuge et grâce à l'adjonction d'une faible quantité d'alcool isoamylique, la matière grasse se sépare en couche claire dont les graduations du butyromètre révèlent le taux.

Mode opératoire

- Introduire dans le butyromètre de GERBER ; 10 ml d'acide sulfurique (H₂SO₄).
- Ajouter 11 ml de l'échantillon à l'aide d'une pipette en l'écoulant à travers les parois pour éviter le mélange prématuré du lait avec l'acide.
- Ajouter 1 ml d'alcool isoamylique.
- Fermer le butyromètre à l'aide d'un bouchon.
- Mélanger jusqu'à la dissolution totale du mélange.
- Centrifuger pendant 5 minutes à 1200 tours / min.

$$A=V.10$$

Expression des résultats

Le résultat est exprimé en g/l et la lecture se fait directement sur le butyromètre (figure 02).

A : est la lecture faite à l'extrémité inférieure de la colonne de matière grasse

B : est la lecture faite à l'extrémité supérieure de la colonne de matière grasse.

A.1. Protéines et lactose

Les protéines et le lactose sont déterminés par l'analyseur Lactoscan de type GERBER, automate d'analyse du lait.

Principe de la méthode

L'échantillon de lait (12 ml) est aspiré dans les cellules de mesure au moyen d'une pompe.

Les protéines, le lactose ainsi que d'autres paramètres sont déterminés à l'aide d'une deuxième cellule de mesure qui est équipée de technologies sensorielles d'impédance/turbidité combinée à l'aide de 4 longueurs d'onde optiques différentes (BlueBox).

5.1 Propriétés physicochimiques de citron

La comparaison des moyennes entre les trois extraits est effectuée par le test « t » de Student. Les différences significatives entre les extraits sont marquées par les lettres différentes (abc).

5.1.1 Matière sèche

Le taux de matière sèche (MS%) sont calculés et rapportés sur le tableau 07 et les histogrammes ci-dessous (figure 21).

Tableau 07 : Taux de matière sèche des échantillons analysés.

	Citron 1		Citron 2	
	Peau	Pulpe	Peau	Pulpe
Avant Maturité	22±4,35 ^d	8,99±0,33 ^c	29±3,96 ^a	8,77±1,89 ^c
Après Maturité	19,85±1,14 ^b	8,99±0,66 ^c	16,66±4,64 ^b	8,22±1,16 ^c

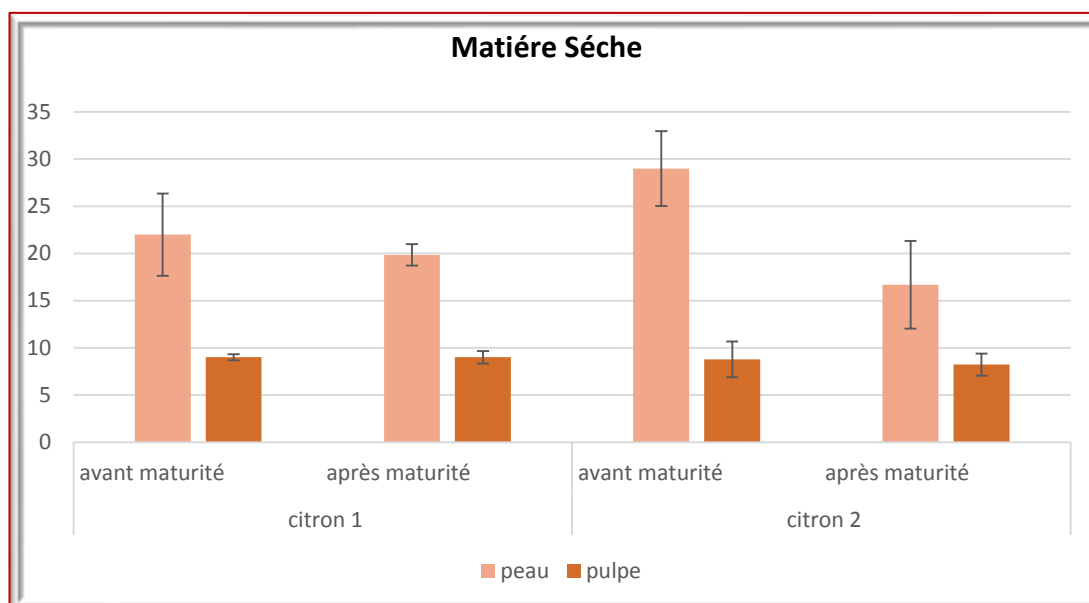


Figure 21 : Taux de matière sèche des échantillons analysés.

Les résultats du tableau 07 montrent que la teneur en matière sèche de la peau de citrons 1 et 2 est supérieure par rapport à la pulpe de citrons 1 et 2.

Les valeurs présentées selon les figures (21) ; montrent que la teneur en matière sèche de la peau du citron 1 est différente significative ($p < 0.05$) par rapport à la teneur de la peau de citron 2 (22 vs 29%) respectivement. Par contre, la pulpe de

citron 1 ne présente aucune différence significative ($p < 0.05$) par rapport au teneur en matières sèches de la pulpe de citron 2 (8,99 vs 8,7%).

Nous avons remarqué que la teneur en matière sèche diminue significativement au cours de la croissance dans tous les échantillons (peau et pulpe) dans les deux variétés (22 vs 19,85%) respectivement.

Ces résultats peuvent être comparés avec des données de différents travaux réalisés dans le même contexte, d'après (**Pak et al.** 2004), qui ont travaillé sur les différentes variétés d'agrumes cultivées au nord de Bangladesh, les teneurs varient de 84.2 à 90.7%, qui sont similaires à nos résultats. Cependant, les caractéristiques physicochimiques peuvent être changées d'une manière significative, qui dépend d'un certain nombre de facteurs, ainsi de la diversité entre les variétés (d'orange et de citron) et les facteurs environnementaux (climat, fertilité du sol et degré de maturité).

5.1.2. Matière minérale

Les résultats concernant la teneur en matière minérale de fruit étudié sont représentés sur la (figure 22).

Tableau 08 : la teneur en matière minérale de la peau et pulpe de citrons 1 et 2.

	Citron 1		Citron2	
	Peau	Pulpe	Peau	Pulpe
Avant Maturité	5,65±1,14 b	3,84±0,15 c	5,88±0,79 b	6,61±1,21 b
Après Maturité	7,68±2,56 b	5,61±1,84 b	16,83±13,03 a	5,61±1,84 b

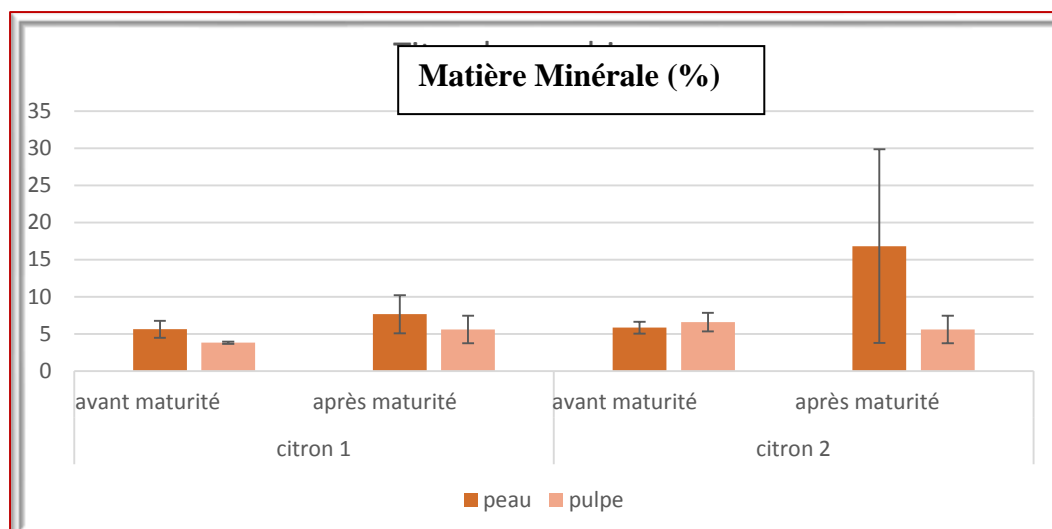


Figure 22 : Teneur en matière minérale de la peau et la pulpe des échantillons analysés.

Les résultats de la présente étude montrent que les teneurs en matière minérale de la peau de citron 1 sont supérieures par rapport à celles de la pulpe, par contre au citron 2 la teneur en matière minérale de la peau est inférieure par rapport à la pulpe.

La figure ne présente aucune différence significative ($p < 0.05$), les teneurs en matière minérale de la peau de citron 1 sont inférieure 5,65% par rapport au teneur de MM de la peau de citron 2 .5, 88% respectivement.

Nous avons constaté que les teneurs en matière minérale de la peau et la pulpe de chaque variété de citron augmentent significativement au cours la maturation de fruit.

5.1.3. Matière organique

Le taux de matière organique (MO%) sont calculés et rapportés sur les histogrammes ci-dessous (figure 23).

Tableau 09 : Teneur en matière organique de la peau et pulpe de citrons 1 et 2.

	Citron 1		Citron 2	
	Peau	Pulpe	Peau	Pulpe
AvantMaturité	16,33±1,14 ^d	5,15±0,15 ^c	23,11±0,79 ^a	2,15±1,23 ^c
AprèsMaturité	12,14±2,56 ^b	2,47±1,84 ^c	5,82±13,03 ^c	2,6±1,84 ^c

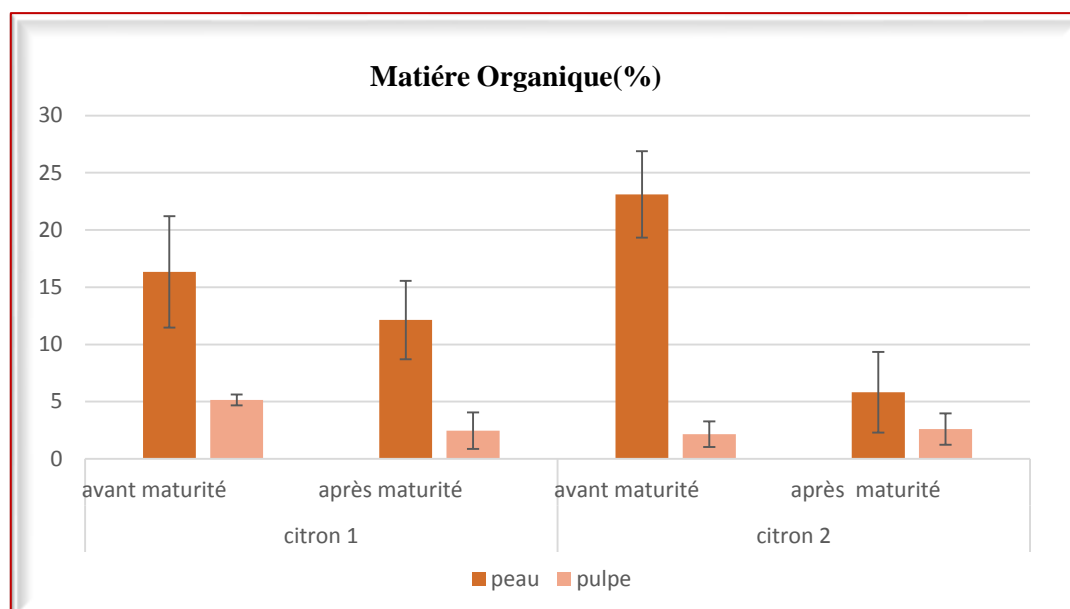


Figure 23 : La teneur en matière organique de la peau et pulpe de citrons 1 et 2.

D'après les résultats, la teneur en matière organique de la peau est élevée par rapport à la pulpe dans les différentes variétés.

Nous avons remarqué que les teneurs en matière organique de la peau de chaque variété sont différentes significativement (16,33vs 23,11%) respectivement. Par contre, les teneurs en matière organique de la pulpe ne présentent aucune différence significative (2,4 vs 2,6%).

Nous avons constaté que la teneur en matière organique chute significativement à la cour de la croissance de la peau et la pulpe dans les deux variétés (16,33 vs 12,14)%.

5.1.4. Composés phénoliques

5.1.4.1. Polyphénols totaux

L'extraction des composés phénoliques à partir de la matière végétale dépend de plusieurs facteurs qui contribuent à son efficacité : la méthode d'extraction, la durée d'extraction, la nature et le volume du solvant utilisé.

En utilisant le méthanol comme solvant d'extraction par macération des deux échantillons (peau de citron, pulpe de citron).

Les résultats de la teneur en composés phénoliques de fruit étudié sont représentés sur (figure 24).

Tableau 10 : la teneur des composés phénoliques totaux de citron 1 et 2

	Citron 1		Citron2	
	Peau	Pulpe	Peau	Pulpe
Avant Maturité	0,52±0,01 ^d	0,18±0,016 ^g	0,7±0,013 ^b	0,66±0,029 ^e
Après Maturité	0,85±0,008 ^a	0,24±0,003 ^f	0,37±0,005 ^c	0,51±0,007 ^d

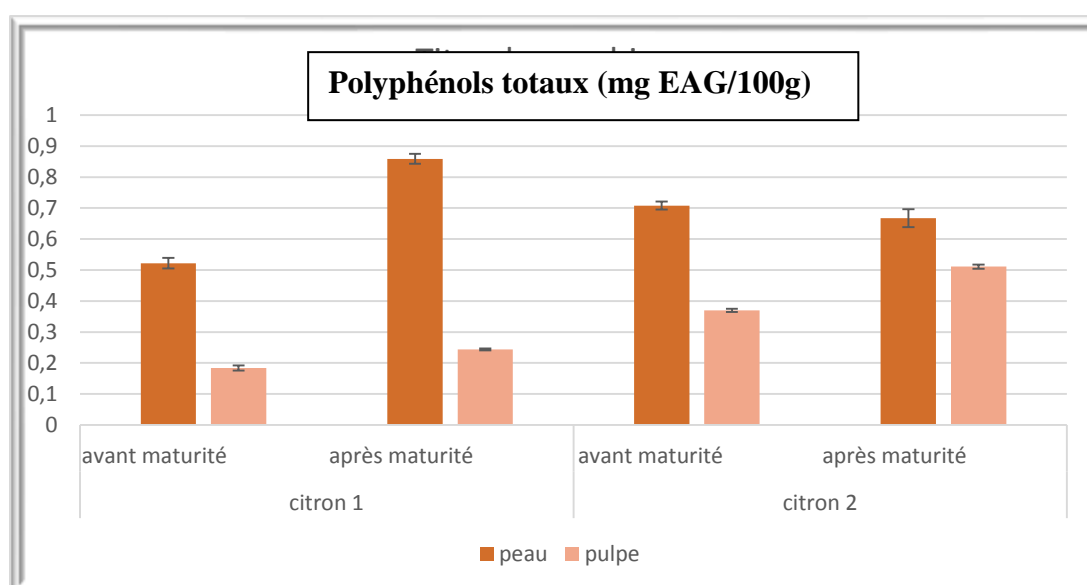


Figure 24 : Teneur en polyphénols des peaux et pulpes des citrons

Les teneurs en composés phénoliques totaux de la peau sont élevées par rapport à la pulpe dans les différentes variétés.

D'après l'histogramme illustré dans la figure 24, les teneurs des polyphénols dans la peau immature de citron 1 présentent une différence significative ($p < 0.05$) par rapport aux mêmes teneurs de citron 2 (0,52 vs 0,7) mgEAG/g MF respectivement.

Les teneurs en composés phénoliques de la pulpe de citron 1 présente une différence significative ($p < 0.05$) par rapport à la pulpe de citron 2 (0,18 vs 0,66) mgEAG/g MF.

Une étude réalisée par **Gghasemi et ses collaborateurs (2009)** sur l'écorce de 13 variétés de citrus, ont exhibé des valeurs qui varient de 104.2 ; 161.7 mgEAG/g MF et 172.1 mg EGA/g MF d'écorce selon les variétés de *Citrus reticulata*, ces derniers sont supérieurs à nos valeurs (**Guimarães et al. 2010**). Ont rapporté des teneurs en polyphénols pour le jus des différentes variétés d'agrumes pamplemousse 9,46 ; citron jaune 11.17 ; citron vert 9.01 ; orange 12.41 mgGAE/g MF).

Le réactif Folin-Ciocalteu n'est pas spécifique pour les composés phénoliques parce qu'il mesure la capacité de réduction de l'échantillon grâce à la capacité antioxydante à base de transfert électronique et, ainsi, il peut être réduit par de nombreux composés non phénoliques tels que la vitamine C, les sucres et les acides organiques (**Huang et al., 2005, Li et al., 2006**).

Les résultats montrent que le taux des polyphénols dans la peau et de la pulpe de citron 1 est significativement augmenté au cours de la maturation, tandis que le taux des polyphénols dans la peau et de la pulpe de citron 2 diminue significativement durant la maturation. Cette diminution est confirmée par Macheix et al. (1990) qui ont mentionné que les teneurs en composés phénoliques sont élevées au début de la maturation et diminuent ensuite au cours de la croissance.

5.1.4.2. Activité antioxydant

5.1.4.2.1. Pouvoir anti-radicalaire (DPPH°)

Le modèle de piégeage du radical stable DPPH est largement utilisé comme méthode d'évaluation de l'activité antioxydante dans un délai relativement court par rapport à d'autres méthodes. Les résultats illustrés sur la (figure 25).

	Citron 1		Citron2	
	Peau	Pulpe	Peau	Pulpe
Avant Maturité	70,17±46,91b	66,43±53,07 c	87,61±21,18 a	68,84±53,35 c
Après Maturité	72,97±45,53 b	67,2±55,36 c	73,63±41,46 b	70,53±46,62 b

Tableau 11 : Teneur de l'activité antioxydant de citrons 1 et 2.

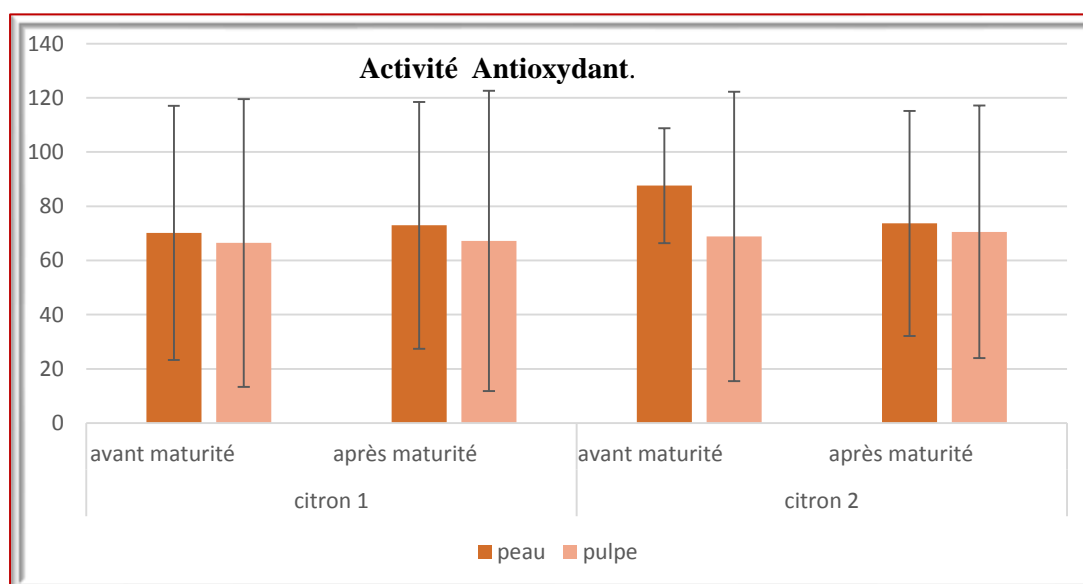


Figure 25 : L'activité anti radicalaire (DPPH) de la peau et la pulpe des citrons.

Les résultats montrent clairement que l'activité anti-radicalaire de la peau est supérieure par rapport à la pulpe dans les mêmes variétés.

Nous avons remarqué que le pouvoir réducteur de la peau et de la pulpe de citron 1 ne présente aucune différence significative ($p < 0.05$) par rapport au même pouvoir réducteur de citron 2 (70,17 vs 87,61%) respectivement.

L'activité anti radicalaire, varie en fonction de la maturation et de la variété du citron. En effet, durant la maturation, dans le citron 1 le pouvoir réducteur augmenté sensiblement dans la peau et la pulpe (70,17 vs 72,97%) .par contre dans le citron 2 la capacité anti radicalaire de la peau et la pulpe diminue (87,61 vs 73,63%) respectivement. (Selon, Guimarães *et al.* 2010) Ont apporté des teneurs pour le jus des

agrumes de 8.38%(pamplemousse) 6.41% (citron jaune), 12.47% (citron vert), et 5.30mg/ml (orange).

L'activité anti radicalaire peut être affectée par de nombreux facteurs tels que, la polarité des solvants et la procédure d'extraction, la variation des espèces utilisées (Ismail *et al*, 2004). Karoui et Marzouk. (2013) ont indiqué un pouvoir réducteur de 1.88 ± 0.05 mg/L pour l'écorce de la bigarade.

5.2. Paramètres physico-chimiques de yaourt

5.2.1. Analyses du lait et yaourt

Mesure de l'acidité titrable et la détermination de la teneur en lactose, matière grasse et protéine de lait de vache cru et lait de vache pasteurisé.

Tableau 12 : les résultats de composons de lait de vache cru et lait de vache pasteurisé.

	Lactose	Acidité	Matière grasse	Protéine
Lait de vache	48,7±0,179	18±1,732	37,8±9,9	32,4±0,2
Lait de vache pasteurisé	49,1 ±0,179	16±1,732	40±9,9	32,7±0,2

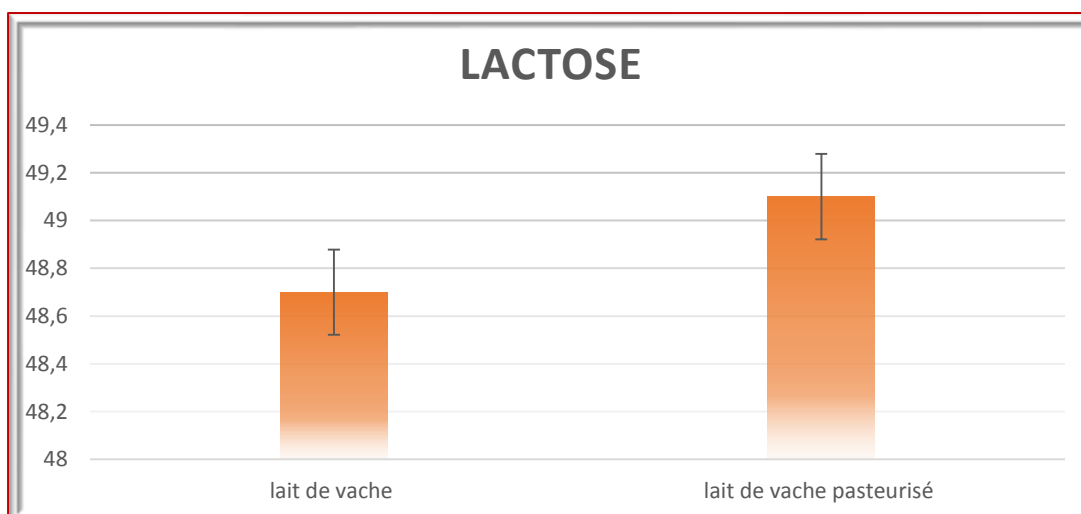


Figure 26 : Teneur en lactose de lait de vache cru et lait de vache pasteurisé

Les tableaux au-dessus montrent que le taux du lactose du lait de vache augmente significativement par rapport au lait de vache pasteurisé (4,8 vs 4,9) g/l respectivement.

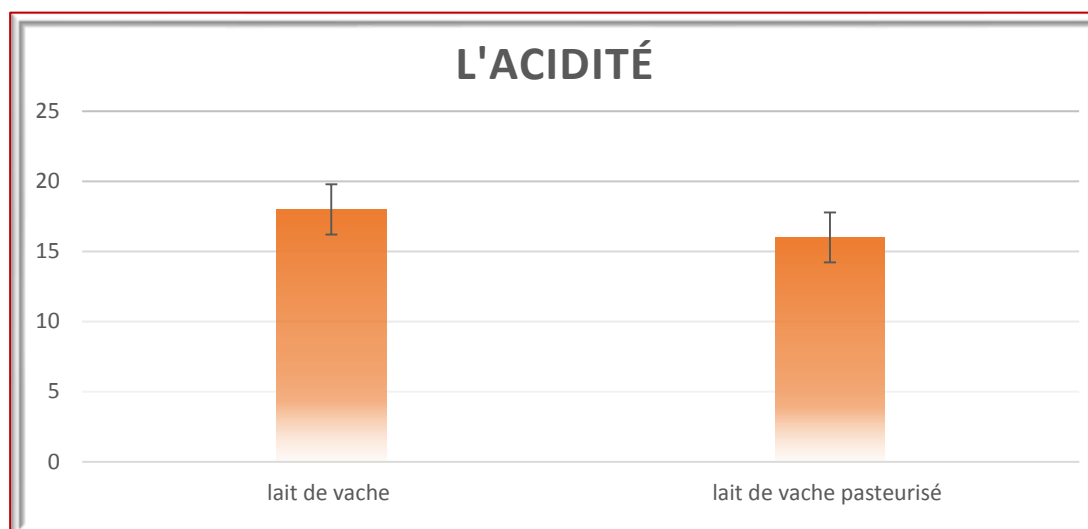


Figure 27 : L'acidité de lait de vache cru et lait de vache pasteurisé

D'après les résultats, nous avons constaté que l'acidité Dornic du lait de vache cru diminue significativement par rapport à celle de lait de vache pasteurisé (18vs 16) °D respectivement.

L'évolution de l'acidité Dornic varie selon le type du yaourt et le processus de fabrication (avant et après pasteurisation).

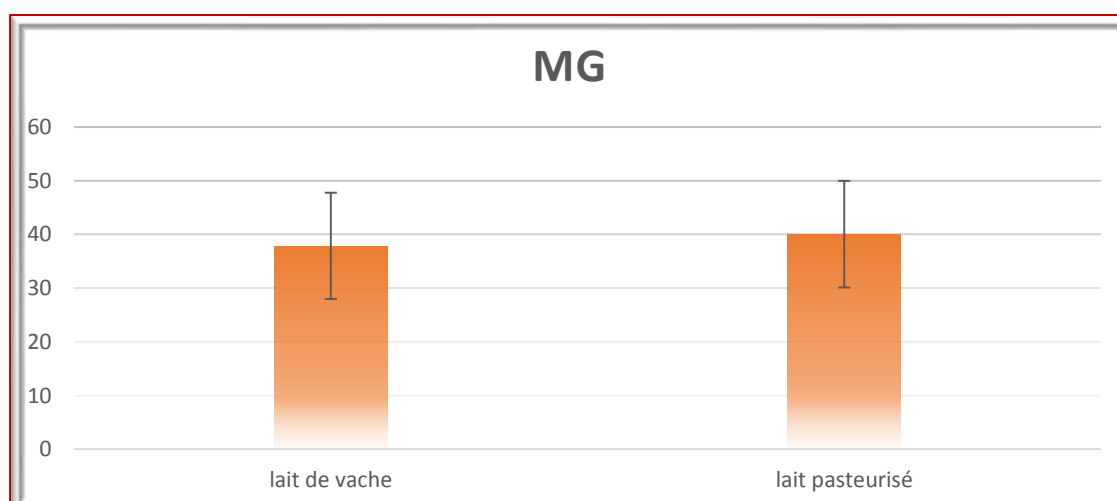


Figure 28 : Histogramme représente la teneur en matière grasse de lait de vache cruet lait de vache pasteurisé

D'après les histogrammes, la teneur en matière grasse du lait de vache présente une différence significative par rapport au lait pasteurisé (3,78 vs 4,0 g/l respectivement

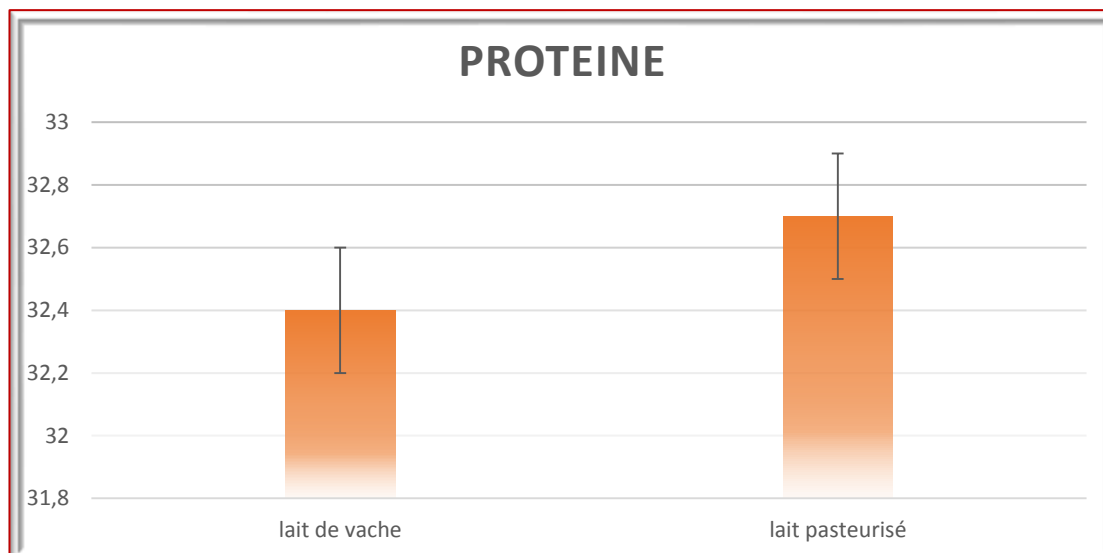


Figure 29 : Taux de protéine de lait de vache cru et e lait de vache pasteurisé.

Les valeurs du tableau affirment que la teneur en protéine du lait de vache cru et pasteurisé ne présente aucune différence significative.

Discussion

Les résultats de la présente étude indiquent une légère variation entre la composition des laits crus et des laits pasteurisés. En effet, les valeurs légèrement différentes du taux de matière grasse (MG), de matières protéiques (MP), du lactose, des matières sèches (MS), et de matières minérales (MM) dans les laits crus par rapport aux laits pasteurisés sont dues à un effet de diminution d'eau au cours de la pasteurisation. Des observations similaires ont été faites par (**M. J. Auldist, g. O'brien, d. Cole, k. L. Macmillian, & grainger**) (**I. Forsbäck** 2010).

Ces auteurs ont montré que cette variation de la composition chimique entre les laits pasteurisés et les laits crus dont ils sont issus serait due l'évaporation d'une partie importante de l'eau du lait cru au cours du chauffage et rend ainsi le produit plus lourd. Par contre, d'autres auteurs estiment que lorsque le volume du lait diminue, la proportion des constituants augmente et inversement (**M. J, Auldist, & I. B. Huble** (1998), **L. Forsbäck** (2010)).

En conclusion, on peut dire que la composition des laits pasteurisés dépend étroitement de celle des laits crus dont ils sont issus. Ainsi, la pasteurisation ne change pas significativement la qualité nutritive du lait.

L'objectif de la pasteurisation est de détruire les germes pathogènes et conserver la qualité du lait. Les résultats de la présente étude ont permis de montrer une variation significative de la composition du lait après 5 et 10 jours de conservation à +4°C. Cette variation s'explique par la diminution du taux des différents constituants du lait parce que même à +4°C, des germes comme les psychotropes continuent leur activité microbiologique. C'est pour cela, (M'b. Jean-christian oya, ;cecile broutin . ; philippe dudez, (2001))propose qu'un lait pasteurisé conditionné, a une durée de conservation maximale de 08 jours à une température comprise entre +4 et +6 °C.

Selon une source antérieure, les yaourts ne se conservent que quelques jours (15 à 21 jours) et doivent être maintenus à une température comprise entre +4 et 6 °C depuis la production jusqu'à la vente au consommateur pour éviter un redémarrage de la fermentation (M'b. Jean-christian oya, cecile broutin . ; philippe dudez, (2001)).

5.2.2. Détermination du pH, l'acidité et la matière grasse durant la phase de post-acidification

Les valeurs des moyennes de pH ; l'acidité titrable ; la teneur de matière grasse de yaourt avec la peau et pulpe et l'extrait de citron à différentes doses 1ml et 5ml de la période de post-acidification 24h sont mentionnées dans le tableau 13.

Tableau 13 : les variations de pH, l'acidité titrable et matière grasse de yaourt à l'extrait.

	Yaourt peau de citron		Yaourt pulpe de citron		L'extrait dans yaourt	
	1ml	5ml	1 ml	5ml	1ml	5ml
pH	5,1±0,18	5,04±0,01	5,07±0,01	5,06±0,01	5,09±0,01	5,17±0,01
L'acidité D	57±1,79	68±1,79	71±1,79	58±1,79	55±1,79	39±1,79
Matière grasse g/l	10,98±0,01	11,8±0,01	7,8±0,18	6,6±0,18	22,82±0,22	21,8±0,18

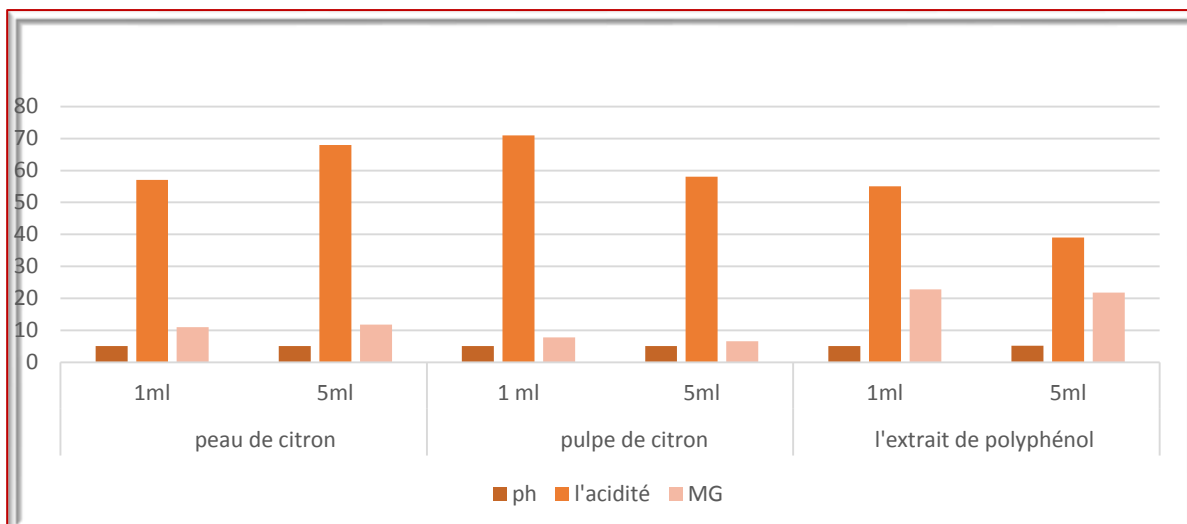


Figure30 : Évolution de pH, l'acidité et matière grasse de yaourt au l'extrait de citron.

Nous avons étudié l'évolution du pH du lait fermenté, l'acidité Dornic et la teneur en matière grasse incorporés aux extraits du citron à différentes doses (1ml et 5ml) et différent stade de maturation (avant et après maturité) durant le 1er jour de la phase de la post acidification.

Nous avons remarqué que le pH du yaourt avec la peau de citron après maturité de 1 ml est supérieur (5,1) à celle de la pulpe (5,07) et l'extrait (5,09) de citron après maturité, par contre le pH du yaourt à l'extrait de 5ml est supérieur(5,17) par rapport au yaourt de la pulpe et la peau.

Nous avons observé une augmentation de l'acidité Dornic de 1 ml à 5ml du yaourt à base de la peau de citron après maturité. Par contre l'acidité Dornic du yaourt de la pulpe et l'extrait de citron diminue (71 vs 58) °D respectivement

La teneur en matière grasse du lait fermenté de la pulpe et l'extrait de citron de 1 ml diminue au 5 ml (7,8 vs 6,6) %respectivement. Par contre la teneur en matière grasse du lait fermenté de la peau de citron après maturité augmente (10,98 vs 11,8%).

5.2.3. Détermination de pH et l'acidité et matière grasse durant la phase de post-acidification

Les résultats montrent l'évolution de pH, l'acidité titrable et matière grasse de yaourt au l'extrait de citron à différentes doses (1 ml et 5ml) durant la période de post-acidification : 14 jours (**Figure 31**).

Tableau 14 : Effet d'incorporation des extraits de citron sur pH, l'acidité et matière grasse de yaourt après 14 jours.

	Yaourt peau de citron		Yaourt pulpe de citron		Yaourt avec l'extrait	
	1ml	5ml	1 ml	5ml	1ml	5ml
pH	5,05±0,01	5,06±0,01	5,07±0,01	5,05±0,01	4,94±0,11	5,1±0,17
Acidité titrable	70±1,79	68±1,79	45±1,79	42±1,79	49±1,79	55±1,79
Matière grasse	11,14±0,1	11,56±0,01	7,51±0,01	6,22±0,01	21,86±0,01	21,55±0,01

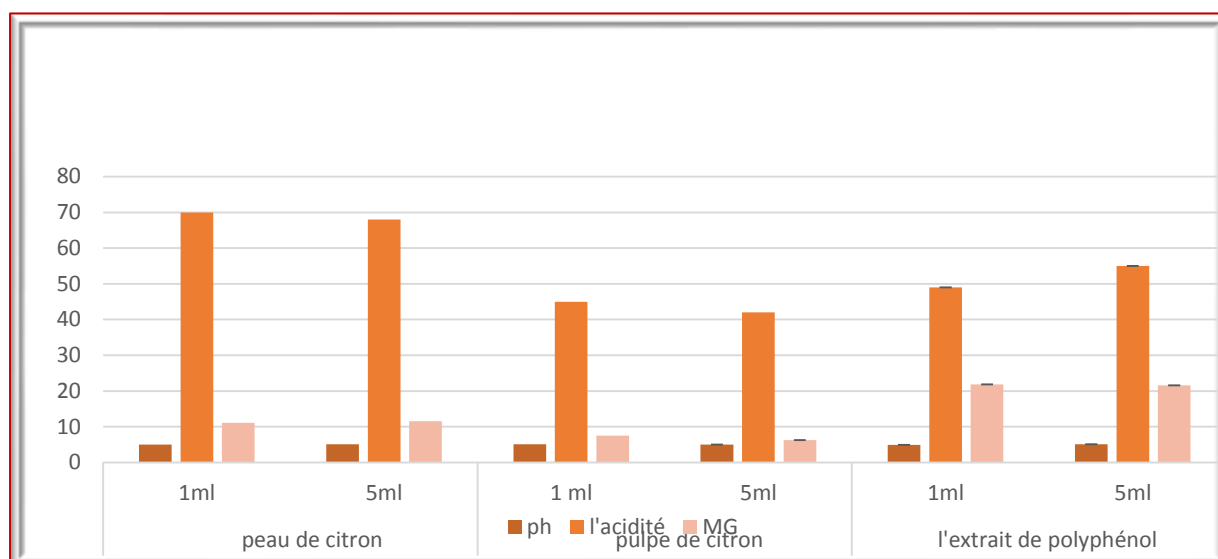


Figure 31 : Évolution du pH et l'acidité et matière grasse de yaourt au l'extrait de citron

D'après les résultats, les moyennes des valeurs du pH durant le 14e jour de yaourt à l'extrait de citron après maturité marquent une croissance entre 1 ml et 5 ml (4,9 vs 5,1) respectivement, suivi par une augmentation de l'acidité Dornic (49°D vs 55°D) et la teneur en matière grasse (21,5 g/l vs 21,8 g/l) respectivement.

Nous avons noté que les valeurs du pH de la peau et la pulpe de citron après maturité marque une décroissance de 1 ml (5,07) à 5 ml (5,05) suivi par une diminution de l'acidité Dornic (70°D vs 68°D) et la teneur en matière grasse (7,51 vs 6,22) respectivement.

Conclusion

Les *Citrons* sont une source fiable des principes actifs connus pour son pouvoir antioxydant, et leurs propriétés thérapeutiques. Ces propriétés sont recherchées dans L'industrie alimentaire et pharmaceutique.

Dans notre étude, nous nous sommes intéressées sur l'extraction des composés phénoliques et l'évaluation de l'activité antioxydant (activité anti radicalaire au DPPH, ainsi que les pouvoirs réducteurs et au dosage des antioxydants, contenus dans la peau et la pulpe du citron. Les résultats obtenus il apparaît claire qu'il est possible d'incorporer les principaux composés bioactifs du *citrus* extrait par simple macération dans le yaourt en vue de fabriquer un lait fermenté nature.

Concernant le dosage des poly-phénols, l'écorce du citron 1 est la plus riche en poly phénols comparée à la pulpe du citron1 (0,52 vs 0,7).A l'inverse la pulpe de citron1(0,18) est moins riche en poly phénols par apport à la pulpe de citron 2 (0,66).

Pour l'étude du DPPH, ce test révèle que les extraits de la peau de citron 2 présentent une activité anti-radicalaire forte que l'extrait de la peau de citron 1.

La teneur en poly phénols et le pouvoir réducteur du augmente et diminue au cours de la maturation du fruit et selon la variété du citron.

L'écorce de citron constitue donc une source intéressante d'antioxydants naturels qui peuvent remplacer les antioxydants synthétiques nuisible à la santé.

L'ajout d'extrait aqueux de citrus ne semble pas affecter l'acidité et le pH des laits Fermentés dont les valeurs restent comparables au yaourt témoin.

Cette acidité, au cours des deux périodes de l'étude n'a pas dépassée dans les essais avec au sans extraits de citrus la norme de 150°D.

Les perspectives :

Au terme de ce travail, afin de valoriser l'écorce de citron il faut prendre en considération ces bienfaits qui représentent une source d'antioxydants. Pour cela :

- Il faut investir dans des projets pour le recyclage des écorces de citron.
- Utilisez le citron comme antioxydant naturel et évitez les antioxydants synthétiques.
- Faire des études sur d'autres espèces de citron.
- Utilisation des autres solvants d'extraction autre que le méthanol.
- tester les réparations d'autres extraits aqueux de fruit (citrus) et plantes médicinales telle (la menthe poivrée, le gingembre, le laurier...etc.) sur la qualité et les germes spécifiques du yaourt.

Ceci mènerait notre pays à valoriser les déchets industriels en tant qu'une source économique importante.

Références bibliographiques

- **AFNOR.**Les dossiers de la normalisation ISSN, (2), 1986 ; 8297-4827.
- **Alam et al,** 2016.Asociacion Latinoamericana de microbiología:Asociacion Argentina de Microbiologia.
- **Al-Jabri et Hossain,** 2018; **Inan et al.,** 2018; **Kaur et Kaur,** 2015; **parc et al.,** 2013; **Rawson et al.,** 2014; **Sicari et al.,** 2016; **Xi et al.,** 2014; **Yi et al.,** 2008).Chemical composition and antimicrobial potency of locally grown lemon essential oil against selected bacterial strains.
- **Bocco et al.,** 1998 ; **Ma et al.,** 2009; **Huang et al.,** 2010). Antioxydant Activity and Phenol Composition of Citrus Pell and Seed Extracts. *J. Agric. Food Chem*, **46(6):** 2123-23.
- **Cachonet al., 1998.édité au mémoire (Effet d'ajout du sirop de date sur la qualité d'un lait fermenté type yaourt étuvé).**
- **Ciquel, 2017 ANSES, exceptées celles de l'équivalent Vitamine A qui correspond à la division de la teneur en Béta-carotene par 6**
- **Ramphul Et Al.,2010. Ramful, D., Bahorun, T., Bourdon, E., Tarnus, E., Aruoma, O.I. 2010.** Bioactive phenolics and antioxidant propensity of flavedo extracts of Mauritian citrus fruits: Potential prophylactic ingredients for functional foods application. *Toxicology*, **278:** 75-87.
- **Teponno et Kusar.al** 2016.Avancées récentes dans la recherche sur les lignanes et les néolignans.
- **Anticancer** activity of stilbene-based derivatives, *Journal of Chime Medicine*.
- **Bocco et al. 1998 ; Ma et al. 2009; Huang et al. 2010.** Antioxydant Activity and Phenol Composition of Citrus Pell and Seed Extracts. *J. Agric. Food Chem*, 46(6): 2123-23.
- **Bocco Et Al.,** 1998 ; **Ma Et Al.,** 2009 ; **Huang Et Al.,** 2010).
- **Boukhobzalalia.(2015).**Mémoire : L'effet des sels minéraux du sol sur l'écologie de *Parlatoria ziziphi* (Homoptera : Diaspididae) dans un verger d'oranger à Rouïba. Page23.

- **Boukhobzalalia.**(2015).Mémoire : L'effet des sels minéraux du sol sur l'écologie de *Parlatoria ziziphi* (Homoptera : Diaspididae) dans un verger d'oranger à Rouïba. Page 23.
- **Bourlioux P, Braesco V, Mater DDG,** 2011), yaourts et autres laits fermentés. In: Cahiers de Nutrition et de Diététique, Volume 46, Issue 6, P 305-314.
- **Crai (Hampl et al., 1999g,** 1997 Phytochemicals : guardians of our health.
- **Dellater, J., Beanden, J.L. (2005).** Reaction libres et stress oxydant espèces biologiques et pathologies.. Page 1-405.
- **Del Rio, J.A., Fuster, M. D., Gomez, P., Porras, I., Garcia-Lidon, A., ET Ortuno, A. (2004).** *Citrus limon* : a source of flavonoid of pharmaceutical interest. *Food chem*, 84:457-461.
- **Facklam, 2002; Delorme, 2008; Pontigo 2015.** What happened to the streptococci: Overview of taxonomic and nomenclature changes. *Clin. Microbiol. Rev.* 15 (4):613-630. doi:10.1128/CMR.15.4.613-630.2002. PMID:12364372.
- **Feridoon, S., Adriano, C.C. (2016).** Tocophénols and tocotriols in common and Emerging Dietary sources: Occurrence, Applications and health benefit, *molecular sciences*. Page 2.
- **Filippis, B., Ammazalorso, M., Fantacuzzi, M., Giampietro, L., Maccallin, R. (2017).** Anticancer activity of stilbene-based derivatives, *Journal of Chime Medicine*.
- **FAO, 1995.** Lait et produits laitiers dans la nutrition humaine Collection FAO alimentation et nutrition N°28. source.
- **FAO, 2013** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine.
- **FRANCE / Ministère de l'Economie et des Finances, 2009)**
- **Ganesan, K., Xu, B. (2017).** A critical review on polyphenols and health benefits of black soybeans. *nutrients*. Pages 1-17.
- **Gorinstein et al. (2001),** Flavonoid contents of 13 citrus species peels and tissues. *Pak. J. Pharm*, **22 (3):** 277- 281.
- **Hosseini, R., Moosavi, F. Rajaian, F.H., Silva, T., Magalhães, D., Saso, L., Miri, R., Borges, F., Firuzi, O. (2016).** Discovery of neurotrophic agents based on hydroxycinnamic acid scaffold. *Medicinal and natural products chemistry research center*, page 1-39.

- **L. FORSBÄCK**, "Bovine Udder Quarter Milk in Relation to Somatic Cell Count. Focus on Milk Composition and Processing Properties". Doctoral Thesis No. 2010: 53, ISSN 1652-6880, ISBN 978-91- 576-7466-1, **(2010)** Uppsala, Sweden.
- **LiAbam, I., Trakhtenberg, S., 2001.** Comparison of some biochemical characteristics of Different citrus Fruits. *Food Chemistry* 74(3), 309–315.
- **Liyang, N,J,Hong W,X no jun;Fang C,Zheng-FuW.2008** :Physicochemical characteristic of orange juice sample from ven cultivars *Journal of Agricultural Science in china* 7:41-47.
- **M. J, Auld, & I. B. Huble**, "Effect of mastitis on raw milk and dairy products". *The Australian Journal of Dairy Technology* 53, **(1998)** 28-36.
- **M. J. AULDIST, G. O'BRIEN, D. COLE, K. L. MACMILLIAN, & GRAINGER, C.,** Effect of varying lactation length
- **M'B. JEAN-CHRISTIAN OYA, CECILE BROUTIN. ; PHILIPPE DUDEZ,** Le lait pasteurisé. Agridoc, Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques (GRET), (2001) 7pages.
- **Meghri H., Hajlaoui H., Akrouf A., Najjaa H., Neffati M.** (2010). *C. R. Chimie* **13:380-386** *Loones, 1989. "yoghort and Science Technologic"*
- **Nivelle, L.,Hubert, J.,Courot,E.,Jeandet, P.,Nuzillard,J.M.,Renault, J.H., Clément,C.,Delmas,D.,Tarpin, M.(2017).** Anti-cancer activity of resveratrol ,*Journal of molecules.*
- **Oliver et al, 2016). Oliver, S. A. B.,Vittorio,O.C.,Cirilloe, G.,Cyrille, B.(2016).**Enhancing the therapeutic effects of polyphenols with macromolecules. *formal of the royal society of chemistry .*
- **Peña et al, 2007; Khanet Kender, 2007:** *Citrus Biotechnology in Agricultural and Fore Sry: 35.*
- **Ramful, D., Bahorun, T., Bourdon, E., Tarnus, E., Aruoma, O.I. (2010).** Bioactive phenolics and antioxidant propensity of flavedo extracts of Mauritian citrus fruits: Potential prophylactic ingredients for functional foods application. *Toxicology, 278: 75-87.*
- **Pescheux, J.,(2016).**l'implication de la vitamine C dans la thérapeutique parodontale.page 18.

- **Rekha C,Poom G,Man,M , 2012.**chemical science transactions “Ascorbic acid, Total Phenol Content and Antioxydant Acivity of Fresh juices four Ripe and Unripe Citrus Fruits”.
- **Torquato, L. D., Pachiega, R., Crespi, M. S., Nespeca, M. G., de Oliveira, J. E., & Maintinguer, S. I.**Potential of biohydrogen production from effluents of citrus processing industry using anaerobic bacteria from sewage sludge. Waste management,(2017); 59, 181-193.
- **Zhang et al, 2016)** Z.,Hua-Hong, X.,Ming-Le, W.Wei-Dong, W.,Chen, X.,Xing-Hui, L.(2016). Isolation and dynamic expression of four genes involving in shikimic acid pathway in Camellia sinensis ‘Baicha 1’during periodic albinism.journal of Mol Biol Rep.