

Réf:.....

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

MASTER

Thème

**Enrichissement de l'huile de soja en
caroténoïdes du sous-produit de piment : Effet
sur la stabilité oxydative**

Présenté par:

Beddar Siham & Berkouk Amel

Soutenu le: **22 Septembre 2021**

Devant le jury composé de:

Mme CHOUGUIN Nadia

Pr.

Présidente

Mr BACHIR BEY Mostapha

MCA

Encadreur

Mr CHIKHOUNE Amirouche

MCA

Examineur

Année universitaire: 2020/2021

Remerciements

Nous remercions dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et terminer ce mémoire.

Nous tenons à exprimer ma profonde gratitude à notre professeur et encadreur, Mr BACHIRBEY M., pour son suivi et pour son énorme soutien, qu'il n'a cessé de nous prodiguer tout au long de la période de projet.

Nous adressons nos vifs remerciements à la présidente du Jury Mme CHOUGUI N. de nous avoir honoré par sa présence et pour ses efforts dans la lecture et la correction de ce mémoire.

Nous remercions l'examineur, Mr CHIKHOUNE A. avoir accepté d'être dans le jury ainsi que pour toutes ses remarques dans l'objectif d'améliorer ce travail.

Nous tenons à remercier également Mme BENBOURICHE A., pour le temps qu'elle a consacré et pour les précieuses informations qu'elle nous a prodiguées avec intérêt et compréhension.

Nous laisserons pas cette occasion passer, sans remercier tous les enseignants et le personnel de l'université Abderrahmane Mira et particulièrement ceux de la section QPSA pour leur aide et leurs précieux conseils et pour l'intérêt qu'ils ont porté non seulement durant la préparation de ce mémoire, mais également le long de notre parcours universitaire.

Nous remercions également le responsable du laboratoire de Biochimie alimentaire de département Sciences Alimentaires de nous avoir accueillies.

Au terme de la rédaction de ce mémoire, c'est un devoir agréable d'exprimer en quelques lignes la reconnaissance que nous devons à tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à l'élaboration de ce travail, qu'il trouvent ici nos vifs respects.

Dédicaces

A l'aide de dieu tout puissant, qui m'a tracé le chemin de ma vie, j'ai pu réaliser ce travail que je dédie à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A l'homme, mon précieux offre du dieu, à qui j'offre ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père ABDESALEM.

A la femme qui souffert sans me laisser souffrir, mon adorable mère ZAHIYA.

A mes chères sœurs AMEL, NAIMA, REBIHA, SORAYA qui m'ont permis de me conseiller, m'encourager et me soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leur offre la chance et le bonheur.

A mon adorable petite sœur HANA qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.

Sans oublier mon camarade AMEL pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de la préparation de ce mémoire.

Siham

Dédicaces

L'aide de DIEU, le tout puissant, ce travail est achevé. Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents

A tous mes frères

A mes oncles et tantes

A mes cousins et cousines

A ma camarade et amie : Siham

A toutes mes amies : Kamilya, Tania Lynda

A la promotion QPSA

Amel

Table des matières

Liste des abréviations

Listes des figures

Listes des tableaux

Introduction 1

Synthèse bibliographique

Chapitre 1: Généralité sur l'huile de soja

| | |
|---|---|
| 1. Huiles végétales comestibles..... | 3 |
| 2. Définition de l'huile de soja..... | 3 |
| 3. Description botanique et origine de la plante de soja..... | 3 |
| 4. Composition nutritionnelle de la graine de soja..... | 4 |
| 5. Les lipides du soja..... | 5 |
| 6. Composition chimique de l'huile de soja..... | 5 |
| 6.1. Composition en acides gras..... | 5 |
| 6.2. Teneur en insaponifiable..... | 6 |
| 6.3. Composition en phospholipides..... | 6 |
| 7. Propriétés physicochimiques de l'huile de soja..... | 6 |
| 8. Production mondiale de soja..... | 6 |
| 9. Raffinage de l'huile de soja..... | 6 |
| 9.1. Dégommage ou conditionnement acide..... | 7 |
| 9.2. Neutralisation alcaline..... | 7 |
| 9.3. Décoloration..... | 7 |
| 9.4. Désodorisation..... | 7 |

Chapitre 02: Altération des huiles végétales et antioxydants

| | |
|--|---|
| 1. Altérations des Huiles végétales..... | 8 |
| 1.1. Réaction d'hydrolyse..... | 8 |
| 1.2. Réaction d'isomérisation..... | 8 |

| | |
|---|----|
| 1.3. Réaction de polymérisation et cyclisation | 8 |
| 1.4. Oxydation | 9 |
| 1.4.1. Autooxydation | 9 |
| 1.4.2. Oxydation enzymatique | 10 |
| 1.4.3. Photo-oxydation | 10 |
| 1.5. Facteurs influençant la stabilité oxydative | 11 |
| 1.6. Produits formés au cours de l'oxydation des lipides | 12 |
| 1.6.1. Produits primaires | 12 |
| 1.6.2. Produits secondaires | 12 |
| 1.7. Conséquences des réactions d'altération des corps gras | 12 |
| 2. Antioxydants | 13 |
| 2.1. Classes d'antioxydants | 13 |
| 2.1.1. Antioxydants primaires | 13 |
| 2.1.2. Antioxydants secondaires | 13 |
| 2.1.3. Antioxydants synthétiques | 14 |
| 2.1.4. Antioxydants naturels | 14 |
| 2.2. Caroténoïdes | 14 |
| 2.3. Composition de piment en caroténoïdes | 15 |
| 2.4. Mécanisme d'action des caroténoïdes | 15 |
| 2.4.1. Désactivateurs (quencher) de l'oxygène singulet | 16 |
| 2.4.2. Piégeage des radicaux libres | 16 |

Étude expérimentale Matériel et méthodes

| | |
|---|----|
| 1. Matériel végétal | 17 |
| 1.1. Choix de l'huile | 17 |
| 1.2. Préparation du matériel végétal | 17 |
| 2. Extraction et dosage des caroténoïdes | 18 |
| 3. Enrichissement de l'huile de soja et suivi de la stabilité oxydative | 18 |
| 3.1. Procédure d'enrichissement | 18 |
| 3.2. Suivi de la stabilité oxydative de l'huile de soja | 19 |
| 3.2.1. Indice d'acide | 19 |
| 3.2.2. Indice de peroxyde | 20 |
| 3.2.3. Indice d'iode | 21 |
| 3.2.4. Extinction spécifique dans l'ultraviolet (UV) | 21 |

| | |
|--|----|
| 3.2.5. Activité anti radicalaire ABTS | 22 |
| 3.2.6. Test à l'acide thiobarbiturique | 23 |
| 4. Étude statistique | 24 |

Résultat et discussion

| | |
|--|----|
| 1. Teneur en caroténoïdes | 25 |
| 2. Suivi de la stabilité oxydative de l'huile de soja enrichie | 25 |
| 2.1. Indice de peroxyde | 25 |
| 2.2. Extinction spécifique dans l'UV | 26 |
| 2.3. Test à l'acide thiobarbiturique | 29 |
| 2.4. Test d'acidité | 31 |
| 2.5. Indice d'iode | 32 |
| 2.6. Activité anti radicalaire ABTS | 34 |
| Conclusion et perspectives | 35 |

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Listed'abréviations

AG :Acidegras

AGPI:Acidegraspolyinsaturé

BC: β -Carotène

CAR:Caroténoïdes

EP:Extraitdepiment

IA: Indiced'acide

Ii: Indiced'iode

IP:indicedeperoxyde

MDA:Malonyldialdihyde

PC:Phosphatidylcholine

PE : Phosphatidyléthnolamine

PET: polyéthylène-téréphtalate

PI : Phosphatidylinositol

Sens H: Photosensibilisateur

Sens³: Photosensibilisateur excité

TBA:acide thiobarbiturique

TBARS :Substances réactivesàl'acidethiobarbiturique

Listedesfigures

| | |
|---|----|
| Figure 1 Photographie des différentes parties de la plante de soja | 4 |
| Figure2 Préparation de la poudre du sous-produit de piment..... | 17 |
| Figure3 Effetdel' enrichissementdel' huiledesoja sur l' indice de peroxyde..... | 25 |
| Figure4 Effetdel' enrichissementdel' huiledesoja sur l' extinction spécifique à 232 | 27 |
| Figure5 Effetdel' enrichissementdel' huiledesoja sur l' extinction spécifique à 270 | 28 |
| Figure6 Effetdel' enrichissementdel' huiledesoja sur le test au TBA..... | 30 |
| Figure7 Effetdel' enrichissementdel' huiledesoja sur l' acidité..... | 31 |
| Figure8 Effetdel' enrichissementdel' huiledesoja sur l' indice d' iode..... | 33 |
| Figure 9 Activité antioxydante de l' huile de soja et l' huile de soja enrichit avec le β -carotène(BC) et les caroténoïdes dusous-produit de piment(EP) avant traitement thermique | 34 |

Listedestableaux

| | |
|--|---|
| Tableau I Composition nutritionnelle de la graine de soja..... | 5 |
| Tableau II Teneurs en acides gras de l'huile végétale de soja (en pourcentage) | 5 |
| Tableau III Principales constantes physicochimiques de l'huile de soja brute | 6 |

INTRODUCTION

Introduction

Les lipides appartiennent aux trois classes principales de nutriments, d'où ils décrochent un rôle irremplaçable dans notre alimentation par leur aspect caloporteur, comme ils sont considérés une source d'acide gras essentielle et vitamines liposolubles et précurseur d'hormones. Les lipides ont un rôle organoleptique par leur contribution à la texture et la sapidité des aliments (**Brulé et al., 2006**).

Les huiles végétales destinées à l'alimentation humaine sont sujettes à différentes altérations durant leur stockage, préparation culinaire et la friture (**Judde, 2004**). L'huile de soja, présente une utilisation limitée dans sa forme par rapport à sa teneur élevée en acide gras polyinsaturés qui la rend sensible à l'oxydation (**Stenson et Min, 2000**). Ce qui entraîne l'apparition d'odeurs et de saveurs désagréables, la formation de composés responsables de la réduction de la qualité nutritionnelle des huiles, et avec des conséquences négatives sur la santé humaine (**Cordeiro et al., 2013**).

Les réactions d'oxydation sont complexes, ceci s'explique par le nombre important et la composition de substrat susceptible de participer à l'oxydation et aussi la présence de nombreux agents pro-oxydants et antioxydants (**Brulé et al., 2006**).

Les industries des huiles végétales introduisent dans les huiles des antioxydants synthétiques, tels que l'hydroxytoluène butylé (BHT) et l'hydroxyanisole butylé (BHA) et la vitamine E, afin de surmonter les problèmes de dégradation oxydative des huiles (**Nour et al., 2018**). Cependant, une restriction a été prise en compte, par rapport à l'utilisation prolongée d'antioxydants synthétiques, qui peut avoir un effet néfaste sur la santé humaine en provoquant des maladies dégénératives (**Cordeiro et al., 2013; Yang et al., 2016**).

L'ambition la plus raisonnable face à ce problème consiste à l'utilisation des antioxydants de sources naturelles présumés sans danger, qui sont une alternative faisable aux inconvénients causés par les antioxydants synthétiques (**Cordeiro et al., 2013; Martinez et al., 2013**).

Par conséquent, plusieurs études et recherches ont été menées ces dernières années sur l'enrichissement des huiles avec des sources de substitues naturels provenant d'espèces végétales qui possèdent des propriétés antioxydantes (**Nour et al., 2018**). Il sert de rappel que l'industrie maraîchère ou de l'agriculture génèrent des bio-déchets qui peuvent représenter un coût pour l'industrie qu'ils produisent, ainsi qu'un problème environnemental (**Trombino et**

al., 2021). Mais qui pourrait avoir un destin bien plus bénéfique, par les exploités pour la production des additifs alimentaires et antioxydants naturels de haute valeur nutritionnelle représentant un avantage économique (**Babbaret *al.*, 2012**).

Compte tenu de ce qui précède, les principaux objectifs du présent travail est d'extraire les caroténoïdes du sous-produit de piment pour l'incorporer dans une huile de table (huile de soja) afin d'étudier son activité antioxydante et sa stabilité oxydative après le traitement thermique. Ce travail est scindé en deux parties principales:

- ❖ Synthèse bibliographique : porte sur des généralités sur l'huile de soja et les altérations des lipides et antioxydants
- ❖ Expérimentation : dont une partie est consacrée pour la partie matériel et méthodes où seront développés les protocoles expérimentaux suivis par une partie résultat et discussion.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I
GENERALITE SUR L'HUILE DE
SOJA

1. Huiles végétales comestibles

Sont des fluides organiques qui se composent d'environ 95% de triglycérides et 5% d'acides gras libres et de constituants mineurs (Gornay, 2006 ; Hoffmann, 2015). Les huiles et les graisses alimentaires sont préparées à partir de graines ou de fruits oléagineux, germes ou pépins de production végétale (Nour *et al.*, 2018). On les distingue généralement par leur point de fusion, les huiles sont liquides à 15°C, tandis que les MG sont plus ou moins solides à cette température (Lecerf, 2011). Chaque huile est caractérisée par sa composition en acides gras de l'espèce végétale dont elle est extraite (Hoffmann, 2015). Elles contribuent à la qualité organoleptique des produits, assurent des fonctions technologiques, agents d'enrobage et d'émouillage ou, supports d'arômes et de colorants lipophiles, et aussi comme moyens de transfert de chaleur en cuisson (exemple des huiles de friture) (Cuvelier et Maillard, 2012).

2. Définition de l'huile de soja

L'huile de soja est fluide et de couleur jaune plus ou moins foncée selon la nature de la graine et le procédé d'extraction. Il est riche en acides gras polyinsaturés, en particulier en acides gras essentiels de l'acide alpha-linolénique. Elle est recommandée pour l'assaisonnement. Sa richesse en lécithine la rend précieuse pour la reconstruction des cellules nerveuses et cérébrales, et sa bonne digestibilité en fait un bon substitut pour les personnes qui ne tolèrent pas l'huile d'olive (Cossut *et al.*, 2002).

3. Description botanique et origine de la plante de soja

Le soja, espèce *Glycine max* est une plante herbacée annuelle, appartenant à l'ordre des Fabales de la famille des légumineuses (pois, haricot...) (Labat, 2013). Le soja est une plante velue, elle a un port érigé et sa hauteur varie de 60 à 110 cm avec de petites fleurs blanches ou violettes. Ses feuilles ovales ou en forme de lance, poussent à une longueur de 3 à 10 cm. Le fruit de soja est une gousse revêtue de poils fins de couleur foncée à maturité contient des graines de forme presque sphérique, sont généralement jaunes, certaines variétés sont noires, brunes ou vertes elles sont un hienoir, brun ou jaune (Shurtleff et Aoyagi, 2004).

D'un point de vue historique le soja originaire d'Asie, cette plante constitue une ressource économique depuis environ 5000 ans. Elle est utilisée dans l'alimentation humaine, mais aussi animale, cultivée pour ses graines, riches en protéines et en huile. Sa culture s'est développée en Amérique (États-Unis, Brésil, Argentine...) et plus récemment en Europe (Collomb et Mayor, 2007).

Les différentes parties de la plante de soja sont illustrés dans la figure 1.

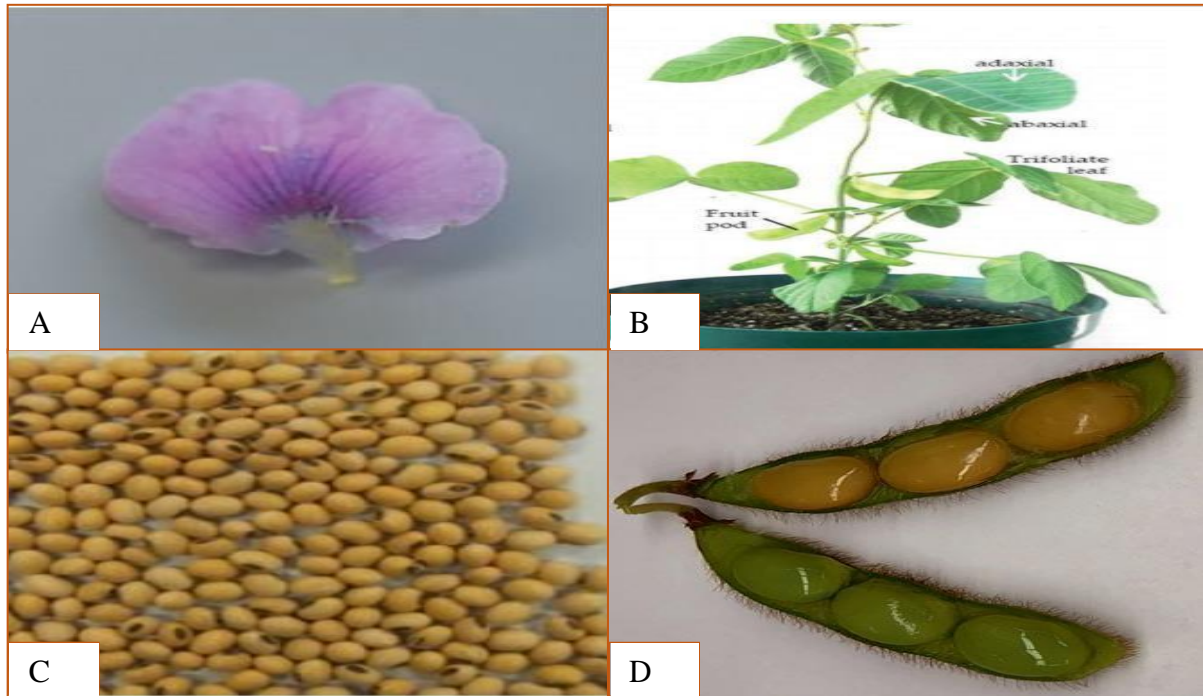


Figure 1 Photographie des différentes parties de la plante de soja : A-fleur (Iwashina, 2008), B- plante (Mangena, 2018), C et D –graineet goussedesoja(Anderson, 2019).

4. Composition nutritionnelle de la graine de soja

Il est reconnu depuis longtemps que le soja présente un profil très intéressant de composés bénéfiques pour la santé humaine, cette légumineuse fournit des protéines de bonne qualité. Elle apporte également davantage de fibres que toutes les autres légumineuses (Collomb et Mayor, 2007). Les graines de soja sont riches en vitamines liposolubles A, D, E, K et particulièrement riche en vitamine B et en minéraux, dont le calcium, le fer, le zinc, le potassium, le phosphore. Comme elles contiennent nombreux oligo-éléments issus du métabolisme secondaire de la plante. Les isoflavones, les phytates, les stérols, les saponines ou les inhibiteurs de protéases font partie de ces composés potentiellement responsables des propriétés préventives du soja vis-à-vis d'un grand nombre de pathologies (Hubert, 2006).

La composition nutritionnelle de la graine de soja est illustrée dans le tableau I.

Tableau I Composition nutritionnelle de la graine de soja (Chatenet, 2007).

| Constituants | Eau | Protéines | Lipides | Glucides | Minéraux |
|---------------------|-----|-----------|---------|----------|----------|
| Poids total (%) | 8 | 34,3 | 18,7 | 31,6 | 4,5 |
| Poids sec (%) 91,4% | / | 40-45 | 17-22 | 38,4 | 5,1 |

5. Les lipides du soja

Les graines de soja contiennent entre 17 et 22 % de leur poids sec en lipides (Chatenet, 2007). Elles sont pauvres en acides gras mono-insaturés et saturés qui eux ont un fort pouvoir athérogène, soja fait partie des graines huileuses les plus riches en acides gras polyinsaturés totalisant 54 à 72 % des lipides totaux (Lecerf, 2011). Parmi eux, les acides linoléiques (oméga 6) et alpha-linoléniques (oméga 3), principaux acides gras essentiels à l'organisme, car non synthétisables (Biesalski *et al.*, 2001). Le soja est naturellement exempt de cholestérol, de plus comme certains autres produits végétaux, il contient des stérols végétaux et des isoflavones, qui peuvent limiter l'absorption du cholestérol alimentaire et augmenter considérablement le potentiel hypocholestérolémiant, ce qui est un net avantage du soja (Collombet Mayor, 2007).

6. Composition chimique de l'huile de soja

6.1. Composition en acides gras

Les teneurs en acides gras de l'huile végétale de soja sont présentées dans le tableau II.

Tableau II Teneurs en acides gras de l'huile végétale de soja (Lusaset *al.*, 2007)

| Acides gras | Pourcentage % |
|---------------------|---------------|
| Acide stéarique | 3,8 |
| Acide palmitique | 10,3 |
| Acide myristique | 0,1 |
| Acide oléique | 22,3 |
| Acide palmitoléique | 0,2 |
| Acide linoléique | 51 |
| Acide linoléique | 6,8 |

6.2. Teneureninsaponifiable

La partie insaponifiable de l'huile de soja représente 1,6% dans l'huile brute, mais uniquement 0,6 à 0,7 % dans l'huile raffinée. Elle se compose essentiellement de phytostérols (301,7 à 326,6 mg/100g) (Verleyen, 2002) et de tocophérols qui appartiennent à la famille de la vitamine E (60-337 mg/100g) (Codex Alimentarius, 2005).

6.3. Composition en phospholipides

L'huile brute de soja contient de 2 à 5% de phospholipides (Matthaus, 2012). Ces phospholipides ont des proportions différentes dans l'huile de soja : 39% de lécithine (PC : Phosphatidylcholine), 32% de céphaline (PE, PS : Phosphatidylinositol Phosphatidylsérine) et 18 % d'inositol (PI : Phosphatidyléthanolamine) (Liu et Ma, 2011).

7. Propriétés physicochimiques de l'huile de soja

Les principales constantes physicochimiques de l'huile de soja brute sont indiquées dans le tableau III.

Tableau III Principales constantes physicochimiques de l'huile de soja brute (Codex Alimentarius, 1999).

| Caractéristiques | Normes |
|---|-------------|
| Densité relative (20°C/eau à 20°C) | 0,919-0,925 |
| Indice d'iode/100g huile | 124-139 |
| Indice de saponification (mg d'iode/100g huile) | 189-195 |
| Insaponifiable (g/Kg) | ≤15 |

8. Production mondiale de soja

Premier oléagineux du monde, le soja constitue sur le plan des échanges mondiaux un enjeu économique essentiel. Avec une superficie ensemencée mondiale de 127,81 millions d'hectares, soit près de 363,26 millions de tonnes métriques de soja est produite en 2020/2021 (USDA, 2021). Les échanges mondiaux de grain, de tourteau et d'huile de soja sont polarisés autour de trois grands ensembles géographiques : l'Amérique (États-Unis, Argentine, Brésil), l'Europe occidentale et les pays asiatiques (Chine, Inde, Japon). Entraînant de très intenses échanges internationaux (30 à 35 % des produits du soja sont échangés) (Labalette *et al.*, 2010).

9. Raffinage de l'huile de soja

Le raffinage a pour but de séparer de la matière noble, différentes « impuretés » ou composés «

indésirables » afin d'améliorer les caractères organoleptiques et maintenir la stabilité des corps gras alimentaires. Cependant ce raffinage induit parallèlement une perte plus ou moins importante de composés ayant un intérêt biologique tel que la vitamine E (perte de 15 à 20 %), les phytostérols et les polyphénols (Lecerf, 2011).

En ce qui concerne l'huile de soja, le traitement le plus sûr pour l'obtention d'une bonne qualité est le traitement chimique (Platon, 1988), suivant ces étapes :

9.1. Dégommage ou conditionnement acide

Cette opération permet l'élimination des phospholipides par traitement de l'huile brute de soja par l'eau chauffée à 80°C acidulée (acide phosphorique 0.1%–0.3%). Après malaxage centrifugation. Les gommes sont récupérées à la centrifugation et peuvent ainsi être valorisées après séchage; on obtient ainsi la «lécithine» brute (Farr, 2000).

9.2. Neutralisation alcaline

Cette étape permet essentiellement d'éliminer les acides gras libres, ainsi que divers composés résiduels (phospholipides, composés de nature protéique, etc.). Le procédé traditionnel comprend l'addition d'une solution de soude à l'huile brute, après elle subit un mélange, séparation par centrifugation, lavages avec l'ajout 10%–20% d'eau (90–95°C), séparation puis séchage sous vide. La quantité de soude à employer est calculée à partir de l'acidité de l'huile (Wang et Johnson, 2001; Wei *et al.*, 2015).

9.3. Décoloration

Dans un décolorateur contenant de l'huile à 90–110 °C sont introduits de 0,2 à 2 % d'agents d'adsorption tels que les terres décolorantes. Après une mise en contact de 30 min sous agitation et sous vide poussé, l'huile est refroidie puis filtrée afin d'en extraire les pigments encore présents (Régis *et al.*, 2016).

9.4. Désodorisation

Constitue en général l'étape finale du raffinage. Par simple injection de vapeur d'eau dans l'huile chauffée à haute température (180 / 240°C) et sous un vide très poussé ; les composés volatils, responsables des saveurs de l'huile (aldéhydes, cétones, etc.) sont éliminés ainsi que les résidus de pesticides et de mycotoxines éventuellement présents ; au terme de cette étape, l'huile présente un goût neutre ; elle est par la suite conditionnée sous azote afin de la protéger contre l'oxydation (Mariod *et al.*, 2012).

CHAPITRE II
ALTERATION DES HUILES
VEGETALES ET ANTIOXYDANTS

1. Altérations des Huiles végétales

Un corps gras naturel organique type huile végétale peut subir nombre de transformations durant leur traitement technologique ou conservation. Diverses altérations peuvent se produire à l'action de la lumière, de l'oxygène et des températures élevées. Ces changements sont en général provoqués par diverses réactions chimiques dont l'hydrolyse, l'altération thermique et l'oxydation (**Judde, 2004**).

1.1. Réaction d'hydrolyse

Les lipides en tant qu'esters d'AG et de glycérol peuvent être hydrolysés en AGL, diacylglycérol et monoacylglycérol par fixation d'une, deux ou trois molécules d'eau (**Prior, 2003**). On distingue deux voies, d'hydrolyse, d'une part la lipolyse qui est principalement due à l'action des lipases qui sont naturellement présentes dans les huiles brutes puisque le raffinage élimine toutes les enzymes; et l'hydrolyse spontanée se déroulant lors du stockage et des traitements thermiques des CG d'autre part (**Perrin, 1992**). Pendant les fritures, l'humidité transportée par les aliments frits est libérée sous forme de vapeur, provoquant une hydrolyse. Lorsque cette vapeur d'eau est libérée, elle entraîne des produits les plus volatils (**Bhattacharya et al., 2008 ; Perrin, 1992**).

1.2. Réaction d'isomérisation

À haute température (au-dessus de 200°C), la double liaison d'AGPI est sujette à une réaction d'isomérisation, formant généralement un système conjugué, et la double liaison migrée est dans la configuration trans. Cette réaction se produit généralement lors de la désodorisation des huiles végétales (**Pokorny, 2003**).

1.3. Réaction de polymérisation et cyclisation

Les réactions de polymérisation thermique et oxydative thermique des lipides peuvent se produire dans des conditions de température élevée ($T > 150$ °C). La polymérisation se traduira par une augmentation de la viscosité et de la mousse. La polymérisation peut se produire entre différents triglycérides ou au sein d'un même triglycéride. La réaction de polymérisation oxydative thermique se produira dans des conditions de température élevée (200 à 230 °C). Les radicaux libres formés par l'oxydation tels les aldéhydes, cétones, alcools et les hydrocarbures se combineront les uns avec les autres pour former des dimères toxiques (**Heet Hou, 2021 ; Jeantet et al., 2008**).

1.4. Oxydation

Phénomène purement chimique spontané, qui se produit par l'attaque des insaturations des AG par l'oxygène atmosphérique, Il se caractérise par des caractéristiques évolutives et irréversibles (Judde, 2004).

L'oxydation peut altérer la saveur par génération d'une odeur désagréable et un goût amer et produire des composés toxiques qui sont collectivement appelés rancissement des lipides. L'oxydation diminue la qualité nutritionnelle des aliments qui peuvent tous rendre les aliments moins acceptables ou inacceptables pour les consommateurs (Heet Hou, 2021)

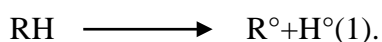
L'oxydation lipidique peut être, selon le milieu et les initiateurs mis en jeu, le résultat de plusieurs voies réactionnelles :

1.4.1. Auto-oxydation

C'est une réaction auto-catalytique. Il s'agit d'un enchaînement de réactions radicalaires déroulant en trois étapes (Eymard, 2003):

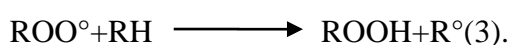
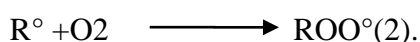
➤ Initiation (amorçage)

C'est la phase de déclenchement, où il y a formation de radicaux libres à partir des lipides (Pokorny, 2003). Par l'abstraction d'un atome d'hydrogène (H) de l'acide gras (RH), situé sur un carbone placé entre deux doubles liaisons, ce qui conduit à la formation d'un radical alkyle (R°) (1) (Cillard et Cillard, 2006). Cette réaction se fait en présence d'un initiateur de l'oxydation (Dridi, 2016). La chaleur, les ultraviolets (UV) et la lumière visible et les catalyseurs métalliques peuvent accélérer cette étape (Bartosz, 2013).



➤ Propagation

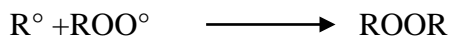
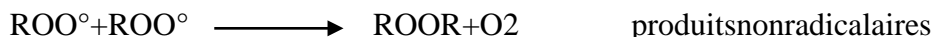
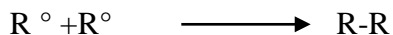
Les radicaux libres alkyles (R°) formés lors de l'initiation, fixent l'oxygène moléculaire (O_2) et forment des radicaux libres peroxydes (ROO°) instables (2) qui réagissent avec une nouvelle molécule d'acide gras insaturée et conduisent à la formation d'un néo-radical (R°) et un hydroperoxyde ($ROOH$) (3) (Cillard et Cillard, 2006).



La propagation en chaîne dépend de la vitesse de phase d'initiation et de la concentration en lipides polyinsaturés, elle peut être raccourcie en présence d'antioxydants (Pokorny, 2003).

➤ **Terminaison**

Apparition de nouvelles espèces moléculaires non radicalaires (formation de polymères entre les espèces réactives) (Rolland, 2004).



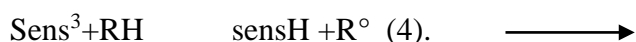
1.4.2. Oxydation enzymatique

L'oxydation des acides gras insaturés peut être d'origine enzymatique. Qui engendre une réaction en chaîne des radicaux libres similaire à l'auto-oxydation. Les enzymes impliquées sont les lipoxygénases (lipoxydases), qui sont très répandues dans le règne animal et végétal (Prior, 2003). La lipoxygénase catalyse l'insertion d'une molécule d'oxygène sur un acide gras insaturé selon une réaction stéréospécifique et aboutit à la formation d'hydroperoxydes. Elle agit spécifiquement sur les acides gras non estérifiés. Son activité est donc souvent couplée avec celle des lipases et phospholipases (Eymard, 2003).

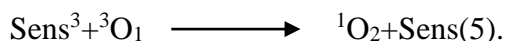
1.4.3. Photo-oxydation

Une autre voie d'oxydation, qui est accélérée par la lumière en présence d'oxygène, avec l'intervention des photosensibilisateurs. Ces derniers peuvent se trouver dans un état excité par absorption de la lumière et initier l'oxydation selon deux mécanismes (Choe et Min, 2006):

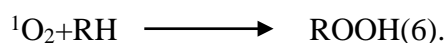
❖ **Type I** : Les photosensibilisateurs tels que la riboflavine agissent comme les radicaux libres initiateurs. Dans leur état triplet, elles arrachent un atome d'hydrogène ou un électron aux molécules lipidiques pour former un radical capable de réagir avec l'oxygène (4) (Eymard, 2003).



❖ **Type II** : les molécules photosensibles, telles que la chlorophylle et l'érythrosine, réagissent dans leur état excité ($Sens^3$) avec l'oxygène triplet auquel elles transfèrent leur énergie pour donner de l'oxygène singulet (1O_2) (5) (Dridi, 2016).



L'oxygène singulet ainsi formé est très électrophile et peut réagir directement sur un acide gras insaturé (RH) formant un hydroperoxyde ROOH (6) (Dridi, 2016).



1.5. Facteurs influençant la stabilité oxydative

La stabilité oxydative définie comme la résistance à l'oxydation pendant le traitement et le stockage (Guillen et Cabo, 2002). Peut être exprimée comme la période de temps nécessaire pour atteindre le point critique d'oxydation, qu'il agit d'un changement sensoriel, ou d'une accélération soudaine du processus d'oxydation (Silva *et al.*, 2001). Souvent influencé par plusieurs facteurs qui sont:

➤ L'oxygène

L'influence de l'oxygène sur la vitesse de l'oxydation peut être décrite qualitativement et quantitativement. D'un point de vue quantitatif, elle dépend la concentration d'oxygène (pression partielle en oxygène) dans l'espace environnant le produit et dans le produit lui-même. D'un point de vue qualitatif la réaction d'oxydation en présence de l'oxygène singulet ${}^1\text{O}_2$ est beaucoup plus rapide qu'en présence de l'oxygène triplet ${}^3\text{O}_2$, car l'oxygène singulet peut directement réagir avec les lipides contrairement à l'oxygène triplet qui réagit avec les radicaux lipidiques, le produit et dans le produit lui-même influence la vitesse d'oxydation (Dridi, 2016).

➤ Température

Une augmentation en température favorise l'abstraction des hydrogènes allyliques et la décomposition des hydroperoxydes en produits secondaires (Marquez-Ruiz *et al.*, 2014).

➤ Lumière

Elle active le phénomène de l'oxydation en accélérant la réaction d'initiation (Marquez-Ruiz *et al.*, 2014).

➤ Présence d'agents pro-oxydants

Ce sont les métaux de transition, tels que le cuivre et le fer, qui peuvent être présents sous forme de traces d'impuretés leurs effets pro-oxydants procèdent par différents mécanismes avec la catalyse de la décomposition des hydroperoxydes étant le plus pertinent, suivi d'une réaction directe avec un substrat non oxydé pour produire des radicaux alkyle et de l'activation de l'oxygène moléculaire pour produire de l'oxygène singulet et des radicaux peroxyde (Schaich, 1992; Kanner, 2010).

➤ Composition en acide gras

Non seulement la composition en acides gras, mais aussi la distribution des acides gras dans les différentes positions de la molécule de glycérol (α et β) peuvent exercer une influence significative sur la vitesse d'oxydation dans le TAG (Marquez-Ruiz et al., 2014). Le taux d'oxydation des lipides est lié au degré d'insaturation des acides gras, à la position des doubles liaisons et à leurs configurations géométriques. Comme l'acide gras libre a un taux d'oxydation légèrement plus élevé que l'acide gras lié dans le glycéride. Lorsque la teneur en acides gras libres dans l'huile est supérieure à 0,5%, le taux d'auto-oxydation sera considérablement accéléré (Heet Hou, 2021).

➤ Présence d'agents antioxydants

Des composants soient synthétiques ou présents naturellement dans les aliments, exercent un rôle protecteur essentiel contre l'oxydation des lipides (Marquez-Ruiz, 2014).

1.6. Produits formés au cours de l'oxydation des lipides

1.6.1. Produits primaires

Au cours de phase d'initiation et de propagation de la réaction d'oxydation des lipides il ya apparition des radicaux libres et les hydroperoxydes qui sont considérés comme des produits primaires d'oxydation, ces espèces sont très instables et très réactives dotées d'un pouvoir cytotoxique (Kanazawa et al., 2000)

1.6.2. Produits secondaires

En présence de métaux ou à des températures élevées, les hydroperoxydes se décomposent pour former des composés secondaires d'oxydation, qui sont responsables de la dégradation des qualités organoleptiques des aliments. La nature de ces composés dépend de l'acide gras initial, notamment son degré d'insaturation, du type d'hydroperoxyde formé et de la localisation de la rupture homolytique (Eymard, 2003). Ces ruptures conduisent à la formation des composés volatiles à courte chaîne telles que les hydrocarbures, les alcools, les acides carboxyliques, les cétones et les aldéhydes (Perrin, 1992). Et en composés oxydés non volatils, dimérisés, polymérisés ou cyclisés (Gutierrez et Dobarganes, 1988).

1.7. Conséquences des réactions d'altération des corps gras

Les réactions chimiques qui subissent les lipides alimentaires entraînent des altérations qualitatives (rancissement), nutritionnelles (perte des vitamines liposolubles, acides gras essentiels (AGE) voire même toxicité due aux produits issus de la peroxydation des lipides

(Cillard et Cillard 2006). des réactions entre

les protéines et les lipides oxydés peuvent intervenir dans les aliments, généralement favorisant le brunissement non enzymatique (Marquez-Ruiz *et al.*, 2014).

2. Antioxydants

Les antioxydants constituent le mécanisme de défense le plus important pour l'oxydation des lipides, tout en retardant le début de l'oxydation ou ralentissant la vitesse à laquelle elle se déroule (Shahidi et Ambigaipalan, 2017). Leur rôle n'est pas d'améliorer la qualité des aliments, mais pour la maintenir, en prolongent la durée de conservation (Reische *et al.*, 2002). Les antioxydants utilisés dans les aliments doivent être non toxiques, efficaces à faible concentration, stables et capables de survivre à la transformation (effet d'entraînement), la couleur, la saveur et l'odeur doivent être minimisées (Poljsak *et al.*, 2013).

2.1. Classes d'antioxydants

Les antioxydants dans le système alimentaire peuvent être classés en utilisant divers indicateurs, selon leur origine et la méthode de production les antioxydants peuvent être naturels ou synthétiques, selon leur mécanisme d'action on distingue les antioxydants primaires et les antioxydants secondaires:

2.1.1. Antioxydants primaires

Dites antioxydants chaîne briseur, car ils interceptent les radicaux propagateurs de la peroxydation lipidique et retardent la peroxydation, sont répartition antioxydants donneur d'hydrogène et antioxydants sacrificiels. Ces antioxydants sont principalement des composés phénoliques mono- ou polyhydroxylés (tocophérols, tocotriénols, BHT, BHA, flavonoïdes...) avec diverses substitutions sur les noyaux (Cillard et Cillard, 2006).

En général, ils agissent en bloquant les radicaux lipidiques par un transfert d'un (H), l'antioxydant devient alors lui-même porteur d'un radical, contrairement au radical lipidique, il est peu réactif et peut se stabiliser sous une forme qui n'évolue pas vers le stade radicalaire (Cuvelier et Maillard, 2012 ; Judde, 2004).

2.1.2. Antioxydants secondaires

Appelés antioxydants préventifs, voir leur effet ralentisseur de taux d'oxydation, ils agissent par plusieurs actions différentes, mais ils ne peuvent pas convertir les radicaux libres en produits plus stables, bien qu'ils peuvent chélater les métaux pro-oxydants et les désactiver, décomposer les hydroperoxydes en espèces non radicalaires, et absorber les

rayons UV ou intervenir comme piègeurs de l'oxygène singulet, ces antioxydants sont souvent appelés synergistes, car ils prolongent la durée de vie des antioxydants primaires comme ils renforcent leur action (**Reische et al., 2002**).

2.1.3. Antioxydants synthétiques

Utilisé par l'industrie alimentaire depuis des années, sont ajoutés intentionnellement aux produits qui contiennent des portions lipidiques telles que les graisses et les huiles alimentaires, pour retarder ou empêcher leur détérioration oxydative (**Saad et al., 2007**).

Sont pratiquement tous des composés phénoliques par substituer avec des groupes actifs, ils sont autorisés à des concentrations de l'ordre de 0,02% par rapport à la matière grasse (**Pokorny, 2003**). Dans cette catégorie se trouve les antioxydants de synthèse classique BHT (E321) et BHA (E320) ils agissent en synergie, qui présente une très bonne liposolubilité et une excellente efficacité dans les huiles végétales, les gallates (E 310 à E312) sont des esters de l'acide gallique, elle présente trois fonctions hydroxy avec un (H) labile (**Judde, 2004**).

2.1.4. Antioxydants naturels

Sont synthétisés par les plantes, se trouvent dans la plupart des aliments frais, sont de poids moléculaire élevé ou faible, peuvent différer par leur composition, propriétés physico-chimiques ainsi que leur mécanisme d'action. Sont considérés plus fonctionnel pour améliorer la durée de conservation des aliments et de promotion de la santé par rapport aux matériaux dont les antioxydants ont été éliminés durant le traitement. Ces antioxydants, essentiellement d'origine végétale, sont apportés sous la forme de composés phénoliques (acides, esters et alcools phénoliques, flavonoïdes aglycones ou glycosylés, stilbènes, tocophérols, tocotriénols), d'acide ascorbique et de caroténoïdes (**Anbudhasan et al., 2014**). Dans notre étude nous sommes intéressés à l'évaluation du pouvoir antioxydant des caroténoïdes.

2.2. Caroténoïdes

Ils sont une classe de pigments naturels familière à tous, synthétisés principalement par les organismes photosynthétiques, fournissent des colorations orange-rouge à jaune aux nombreux fruits, légumes et fleurs, comme elles sont synthétisées par microorganismes également trouvés chez certains animaux, dont les œufs, crevette et saumon (**Kiokias et Gordon, 2004 ; Sun et al., 2018**).

Suivant la dernière compilation, environ 600 caroténoïdes naturels ont été signalés, et caractérisés, dont 20 sont présents dans le système circulatoire humain à des concentrations pertinentes et 35 dans l'alimentation humaine (**Kocher et al., 2014**), les plus

courants sont α carotène, β carotène, β cryptoxanthine, lutéine, zéaxanthine et le lycopène, où la plupart d'entre eux sont des précurseurs de la vitamine (A) (Jomova *et al.*, 2013).

Dans leurs compositions structurales les caroténoïdes sont des tétraterpènes C_{40} , formés à partir de 8 unités isoprénoides C_5 , avec un système long et central de double liaison, présentent ainsi des groupes terminaux cycliques ou acycliques (Rodriguez-Amaya, 2016).

La diversité et la complexité de la composition de caroténoïdes leur fournissent des multiples fonctions et actions, agissent ainsi comme antioxydants dans les systèmes alimentaires et dans l'organisme humain, dans l'ensemble les études épidémiologiques ont montré le pouvoir des caroténoïdes dans la prévention ou l'inhibition de divers états pathologiques, notamment le cancer, la maladie cardiovasculaire et la dégénérescence liée à l'âge et d'autres maladies (Kiokias et Gordon 2004).

2.3. Composition de piment en caroténoïdes

Le piment est le fruit du genre *Capsicum* de la famille des *Solanacées* (Barceloux, 2009; Tiwari, 2010), est une plante annuelle, autogame préférentielle et multipliée par semences (Doré et Varoquaux, 2006). Ses feuilles sont ovales, lancéolées, groupées par trois. Ses fleurs sont de couleur blanche pâle, à raison de cinq à sept, disposées par paire ou solitaires. Le fruit du piment est une baie peu charnue renfermant de nombreuses graines jaunâtres sur de très gros placentaux (Goetz et Le Jeune, 2012), de couleur différente selon les variétés (rouge, jaune, orange ou brune), et de forme variée (conique, sphérique, carrée ou allongée). Il est doux à fort. Il est vert puis prend sa couleur définitive en murissant (Renaud, 2003).

La couleur rouge du poivron est attribuée à la présence des caroténoïdes (Zhuang *et al.*, 2012). La concentration en caroténoïdes dépend de l'état de maturation du poivron (Howard *et al.*, 2000). Dans les poivrons rouges, les caroténoïdes les plus rapportés étaient le 5,6-époxyde capsanthine (513 $\mu\text{g/g}$), le lycopène (322 $\mu\text{g/g}$), la capsanthine (178 $\mu\text{g/g}$), la cucurbitaxanthine (81 $\mu\text{g/g}$) et la Zéaxanthine (70 $\mu\text{g/g}$) et aussi il y a le β -carotène (43.9 $\mu\text{g/g}$), Mutaxanthine (49 $\mu\text{g/g}$) et Violaxanthine (48 $\mu\text{g/g}$).

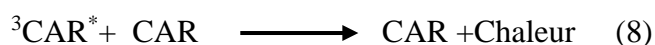
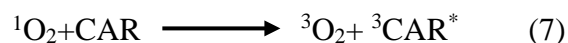
2.4. Mécanisme d'action des caroténoïdes

Les propriétés antioxydantes des caroténoïdes sont dues aux capacités exceptionnelles dans la désactivation de l'oxygène singulet et le piégeage des radicaux libres (Rodriguez-Amaya, 2016). L'activité antioxydante des caroténoïdes peut devenir prooxydante, cela dépend de leur concentration, la pression partielle d'oxygène et la nature de l'environnement (Kaur, Sogi, et Wani, 2015).

2.4.1. Désactivateurs(quencher)del'oxygènesingulet

Les photosensibilisateurs peut se trouvés à l'état excité, pour se stabilisé ils transfert leur énergie aux oxygènes atmosphérique triplet $^3\text{O}_2$, forment ainsi l'oxygène singulet $^1\text{O}_2$ hautement réactif et destructeur. Les caroténoïdes peuvent interférer ce processus par deux manière:

(1) endésactivant le photosensibilisateur dans son état triplet, empêchent ainsi la formation de $^1\text{O}_2$. Et (2) implique le transfert d'énergie d'excitation d' $^1\text{O}_2$ au caroténoïde, ce qui induit le retour d' $^1\text{O}_2$ à son état fondamental, et le caroténoïde est élevé à son état triplet excité (7). Grâce au long système polyénique conjugué de caroténoïde, l'énergie de leur état excité est dissipée au travers d'interaction vibrationnelle et rotationnelle avec le solvant ou l'environnement libre (Rodriguez-Amaya, 2016). Par ce mécanisme de libération d'énergie sous forme de chaleur (8), le caroténoïde régénéré peut commencer un nouveau cycle de piégeage de $^1\text{O}_2$ et constitue par conséquent un piègeur non stœchiométrique. Il est estimé que chaque molécule de caroténoïde pourrait piéger environ 1000 molécules d' $^1\text{O}_2$, avant de réagir chimiquement et de former un produit (Laguerre *et al.*, 2007).



2.4.2. Piégeage des radicaux libres

Les caroténoïdes sont connus pour piéger les radicaux libres à de faibles pressions d'oxygène (<150 mm Hg) et pour agir comme antioxydants primaires *in vitro*. Les doubles liaisons conjuguées des caroténoïdes sont très sensibles à l'attaque des radicaux peroxy. Le caroténoïde est capable de réagir avec les radicaux peroxy pour produire un produit de caroténoïde stabilisé par résonance. La structure insaturée du caroténoïde permet la délocalisation des électrons dans le radical. Ce radical caroténoïde peut alors participer à des réactions déterminées et détourner les radicaux peroxy nocifs vers des réactions secondaires moins délétères (Rodriguez-Amaya, 2016).

ÉTUDE EXPERIMENTALE

MATERIEL ET METHODES

1. Matériel végétal

La matière végétale employée au cours de notre étude est le sous-produit du piment rouge utilisé pour la fabrication industrielle de la conserve Harissa par l'unité 'El-Kseur' de l'entreprise CEVITAL. Nous sommes intéressés à en extraire les substances bioactives qui sont les caroténoïdes pour évaluer leur effet antioxydant sur l'huile de soja.

1.1. Choix de l'huile

L'huile sélectionnée pour cette étude est l'huile commercialisée de marque « Elio », en raison de sa large consommation et son utilisation dans l'assaisonnement et la cuisson au niveau des ménages et des collectivités. Cette huile a été achetée dans un magasin d'alimentation générale ; elle est conservée dans un emballage en matière plastique (PET) de 1 litre qui porte la date de fabrication de l'huile qui est le 23/05/2021. L'huile « Elio » est produite dans la raffinerie « Cevital » SPA de Bejaïa, Algérie.

1.2. Préparation du matériel végétal

Un échantillon de sous-produit déjà congelé dans le réfrigérateur du laboratoire de biochimie alimentaire (Université de Bejaïa) est récupéré, puis séché dans un lyophilisateur pendant quelques jours jusqu'à stabilité du poids. Une fois séché, nous avons procédé à un broyage à l'aide d'un broyeur électrique puis à un tamisage par un tamis de porosité de 500 µm. La poudre obtenue est conservée dans un flacon au réfrigérateur à l'abri de la lumière. Les étapes de la préparation de la poudre du sous-produit de piment sont illustrées dans la figure 2.



Figure 2 Préparation de la poudre de sous-produit de piment.

2. Extraction et dosage des caroténoïdes

Une combinaison de solvants (60% Acétone et 40% l'éther de pétrole) dont 200ml de mélange sont utilisés pour l'extraction des caroténoïdes à partir de 2g de poudre du sous-produit de piment sous agitation magnétique pendant une durée de 20min. Le mélange a été filtré à l'aide d'un papier filtre. L'extrait obtenu a été ensuite centrifugé pendant 5 min pour avoir une bonne séparation des deux phases puis le surnageant a été récupéré (Benbouriche *et al.*, 2021).

Pour le dosage des caroténoïdes, le surnageant obtenu après centrifugation est récupéré et l'absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 450nm (Solovchenko et Merzlyak, 2008). Les concentrations en caroténoïdes sont obtenues suivant la courbe d'étalonnage tracée par différentes concentrations de β -carotène (Annexe I). Les résultats sont exprimés en milligramme équivalent de β -carotène par un kilogramme de matière sèche (mg E (β C)/kg MS).

Le solvant est évaporé à l'aide d'un évaporateur rotatif à une température de 45°C jusqu'à séchage total et l'extrait sec obtenu est conservé au réfrigérateur.

3. Enrichissement de l'huile de soja et suivi de la stabilité oxydative

3.1. Procédure d'enrichissement

L'enrichissement de l'huile de soja est réalisé comme suit : un volume de 50 ml d'huile de soja est ajouté aux extraits secs du sous-produit de piment le mélange est mis en agitation magnétique jusqu'à la dissolution complète d'extrait dans l'huile, un dosage des caroténoïdes de mélanges est fait en mesurant les absorbances à 450 nm, la concentration en caroténoïdes sont obtenues suivant la courbe d'étalonnage tracée par différentes concentrations de β -carotène.

Pour enrichir l'huile avec la concentration désirée, un volume de mélange préparé avec l'extrait sec du sous-produit de piment est ajouté à l'huile de soja et contrôlé à l'aide de l'absorbance à 450nm pour atteindre la concentration désirée 0,5 ppm. La même procédure d'enrichissement est suivie pour le β -carotène, utilisé comme standard à une concentration de 0,5ppm. Les échantillons préparés sont conservés à l'abri de la lumière au réfrigérateur, en attendant leurs analyses.

3.2. Suivi de la stabilité oxydative de l'huile de soja

Pour suivre la stabilité des huiles enrichies en caroténoïdes de l'extrait de sous-produit de pépins et en β carotène, les échantillons sont mis dans des flacons en verre transparents de 80ml sans bouchons. Les flacons sont ensuite soumis à un traitement thermique à 170°C, sous lumière et à l'air atmosphérique pendant (10 h/ jours) durant 5 jours. L'échantillon témoin est également placé dans les mêmes conditions. Les analyses sont effectuées avant traitement thermique et après traitement thermique en mesurant les indices de qualité.

3.2.1. Indice d'acide

L'acidité est le pourcentage d'acides gras libres contenus dans un corps gras, exprimé conventionnellement en acide oléique.

- **Principe**

Le principe consiste à neutraliser les acides gras libres à l'aide d'une solution de KOH en présence de phénolphtaléine comme indicateur coloré, selon la réaction suivante :



- **Mode opératoire**

Une prise d'essai de 2 g d'huile est dissoute dans 100 ml d'un mélange de chloroforme-éthanol (V/V). Le mélange est titré en agitant à l'aide d'une solution d'hydroxyde de potassium (0,1N) en présence de phénolphtaléine jusqu'à coloration rose persistant une dizaine de secondes (**Kiritsakis et Markakis, 2012**).

L'acidité est exprimée en pourcentage d'acide oléique qui se détermine ainsi :

$$\text{AC}\% = (V * N * M) / (m * 10)$$

V: volume en millilitre de KOH nécessaire à la neutralisation de l'échantillon. N: normalité de la solution de KOH (0,1N).

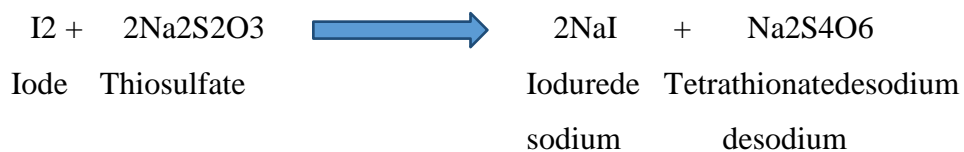
M : masse molaire de l'acide oléique qui est égale à 282,2 g/mol. m: masse en gramme de la prise d'essai.

3.2.2. Indice de peroxyde

Il donne une évaluation sur la quantité de peroxydes présents dans un corps. C'est ce qui indique en fait la quantité d'acide gras déjà rance.

- **Principe**

Il est exprimé en milliéquivalents d'oxygène actif par Kg de matière grasse pouvant oxyder l'iodure de potassium en présence d'acide acétique et de chloroforme. L'iode libéré est titré en retour par une solution de thiosulfate de sodium en présence d'un indicateur coloré. L'oxygène actif est l'oxygène existant sous forme de peroxyde, d'hydroperoxyde ou d'époxyde dans une matière grasse:



- **Mode opératoire**

La valeur des peroxydes de l'huile a été mesurée selon (Novidzro *et al.*, 2019). Dans un erlenmeyer contenant 2g de la prise d'essai, 15 ml d'acide acétique glacial sont ajoutés, puis 1ml de la solution aqueuse saturée d'iodure de potassium était ajouté tout en agitant pendant une minute, puis laissé à l'abri de la lumière pendant 5 min, ensuite 75 ml d'eau distillée ont été ajoutés. Après agitation, quelques gouttes d'empois d'amidon ont été ajoutées, un titrage a été effectué avec une solution de thiosulfate de sodium de 0,01N jusqu'au virage à l'incolore. Un essai à blanc a été effectué dans les mêmes conditions.

L'indice de peroxyde est donné par la relation suivante:

$$\text{IP}(\text{mégO}_2/\text{kg}) = \frac{(V_1 - V_0) \times N \times 1000}{M}$$

IP: Indice de peroxyde (mégO₂/kg).

V₀ : Volume de thiosulfate de sodium en ml utilisé pour le blanc. V₁ : Volume de thiosulfate de sodium en ml utilisé pour l'essai. N: Normalité de thiosulfate de sodium (0,01 N).

M: Masse de la prise d'essai en gramme.

3.2.3. Indiced'iode

Mesure le degré moyen d'insaturation d'une huile, c'est le nombre de g d'iode fixé par 100g matière grasse.

- **Principe**

Il est basé sur la dissolution d'une prise d'essai dans chloroforme comme solvant avec addition de réactifs de Wijs, après un temps donné de réaction, addition d'une solution d'iodure de potassium et d'eau, et titrage de l'iode libéré par une solution de thiosulfate de sodium.

- **Mode opératoire**

Dans un erlenmeyer contenant une prise d'essai d'huile de 0,15 g, 15 ml de chloroforme sont ajoutés pour dissoudre l'huile, puis 25 ml de réactif de Wijs ont été ajoutés tout en agitant, puis placé à l'obscurité pendant 1h. A about de ce temps, 20 ml d'iodure de potassium à 10% et 150 ml d'eau ont été ajoutés. Après agitation, un titrage de l'iode libéré est effectué avec le thiosulfate de sodium à 0,1N en présence de quelques gouttes d'empois d'amidon jusqu'à disparition de couleur. Un essai à blanc a été effectué dans les mêmes conditions (Lee et al., 2021).

L'indice d'iode exprimé en (g I₂/100g d'huile) est comme suit:

$$I_i = \frac{(V_0 - V_1) * 12,69}{m}$$

I_i: indice d'iode (g I₂/100g d'huile).

V₀: volume de thiosulfate de sodium utilisé pour l'essai à blanc en ml.

V₁: volume de thiosulfate de sodium utilisé pour titrer l'excès d'iode en ml.

m: poids en gramme de la prise d'essai.

12,69: masse d'iode correspondant à 1 ml de thiosulfate de sodium pour 100g de corps gras.

3.2.4. Extinctions spécifiques dans l'ultraviolet (UV)

La mesure de l'absorbance aux ultraviolets est l'une des méthodes de mesure de l'état d'oxydation de l'huile. Elle permet de suivre l'évolution de la peroxydation et de connaître la teneur en produits secondaires d'oxydation.

- **Principe**

Le principe de la méthode est fondé sur le fait que les hydroperoxydes linoléiques absorbent à

232 nm. Les produits non volatils de décomposition des hydroperoxydes sont représentés essentiellement par des acides oxydés. Ces derniers sont essentiellement des cétones saturées absorbantes à 270 nm.

- **Mode opératoire**

Dans un tube à essai contenant 2,5 g d'huile, 25 ml cyclohexane ont été ajoutés. Après agitation, les absorbances ont été mesurées avec un spectrophotomètre à des longueurs d'ondes de 232/270 nm (**Hamitri-Guerfi et al., 2020**).

L'extinction spécifique à une longueur d'onde est donnée par la relation suivante:

$$E_{1\text{cm}}(\lambda) = \frac{A\lambda}{C * D}$$

Où:

$E_{1\text{cm}}(\lambda)$: extinction spécifique à la longueur d'onde λ . A_λ : Absorbance la largeur d'onde λ .

D: épaisseur de la cuve en cm.

C: concentration de la solution en g/100ml.

3.2.5. Activité antiradicalaire ABTS

Ce test est largement utilisé pour évaluer l'activité antioxydante des composés dans les aliments et les boissons. L'activité antioxydante des produits naturels (composés phénoliques, caroténoïdes) est déterminée par la décoloration de la solution d'ABTS, en mesurant l'absorbance à 734 nm (**Moon et Shinamoto, 2009**).

- **Principe**

Lors de la mise en œuvre de ce test, l'ABTS incolore est préalablement oxydé avec du persulfate de potassium ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) pour former le radical cationique $\text{ABTS}^{+\circ}$ de coloration bleu-vert, l'addition d'un composé antioxydant engendre la réduction du radical $\text{ABTS}^{+\circ}$ en ABTS. L'activité antioxydante est déterminée par la décoloration de la solution l'absorbance à 734 nm, longueur d'onde à laquelle le radical $\text{ABTS}^{+\circ}$ présente une bande d'absorption caractéristique (**Moon et Shibamoto, 2009 ; Osman et al., 2006**).

- **Mode opératoire**

La méthode utilisée a été celle décrite par **Leong et Shui (2002)**. Une quantité de 38,40 mg d'ABTS a été préalablement dissoute dans 10 ml d'eau avant ajout de 6,75 mg de persulfate de potassium. Le mélange obtenu a été conservé à l'obscurité et à température ambiante pendant 12 h avant usage. Il a été par la suite dilué avec de l'éthanol afin d'obtenir une absorbance de l'ordre de $0,7 \pm 0,02$ à 734 nm.

L'activité antioxydante de huile a été mesurée en additionnant 20 μ l de chaque extrait (10 μ l huile avec éthanol) avec 2 ml de solution diluée de radical ABTS⁺, après une incubation de 10 minutes à l'obscurité et à la température ambiante, les absorbances ont été mesurées à 734 nm contre un blanc.

L'activité des extraits se traduit par le calcul du pourcentage d'inhibition en utilisant la formule suivante:

$$I\% = \frac{(A_b - A_e) * 100}{A_b}$$

I%: Pourcentage de l'activité anti radicalaire (AAR%). A_e : Absorbance de l'échantillon.

A_b : Absorbance du blanc.

3.2.6. Test à l'acide thiobarbiturique

C'est un test colorimétrique utilisé pour détecter le rancissement de graisse ou aliments gras.

- **Principe**

Génération d'un complexe coloré par réaction entre l'acide thiobarbiturique et les dérivés d'oxydation tel le malondialdéhyde (MDA), ce complexe coloré présentant un maximum d'absorbance à 530 nm repose donc sur la réaction d'une molécule de MDA et deux molécules de TBA donc l'évolution de l'absorbance est proportionnelle à la formation de MDA (Laguerre *et al.*, 2007).

- **Mode opératoire**

Jeuge *et al.* (2012) utilisent une méthode directe pour des échantillons d'huile, ils utilisent un réactif TBA préparé à partir de 200 mg d'acide thiobarbiturique dissout dans 100 ml de solution de butanol pur (ne contenant pas plus de 0,5 % d'eau). L'échantillon également dissout dans du butanol pur est mis en contact avec un volume équivalent de réactif TBA. Après avoir homogénéisé la solution obtenue, celle-ci est placée au bain-marie à 95 °C pendant environ 2 h, l'échantillon est refroidi à température ambiante et son absorbance est mesurée à 530 nm contre un blanc. La détermination de l'indice TBARS s'effectue à partir d'une courbe étalon qui est construite par mesure de l'absorbance de concentrations connues de la solution standard MDA (Annexe II).

4. Étude statistique

Une analyse statistique est réalisée pour la comparaison des résultats et la mise en évidence des différences significatives entre les échantillons, et ce, pour chaque paramètre en appliquant une analyse de la variance (ANOVA) suivie du test de LSD de Fisher à l'aide d'un logiciel STATISTICA 7.1. Le degré de signification des résultats est pris à la probabilité $p < 0,05$.

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Teneur encaroténoïdes

La teneur en caroténoïdes de nos extraits est exprimée en milligramme d'équivalent de β carotène par kilogramme de matière sèche en se référant à une courbe d'étalonnage (Annexe I). La teneur en caroténoïdes totaux dans notre échantillon est de 61,50 mg/kg de matière sèche, elle est supérieure à celle trouvée par **Benbouriche et al. (2021)** qui ont trouvés une valeur de 39,98 mg/kg de matière sèche. Cette différence pourrait être due à la durée d'extraction prolongée utilisée dans notre étude (20 min) comparativement à celle adaptée par **Benbouriche et al. (2021)** qui est de (10 min).

2. Suivi de la stabilité oxydative de l'huile de soja enrichie

Un enrichissement à une concentration de 0,5 ppm a été effectué, car l'activité antioxydante des caroténoïdes dépend de leur concentration dans le milieu, qui peut passer à un caractère prooxydant à haute concentration (**Liebler, 1993; Van den Berg et al., 2000**).

Warner et Frankel (1987) ont constaté qu'à des niveaux ≥ 20 ppm, le β -carotène contribuait à une saveur et une couleur médiocres de l'huile de soja, tandis que 5 à 10 ppm de β -carotène réduisaient la photo-oxydation.

2.1. Indice de peroxyde

Une des méthodes les plus couramment utilisées pour évaluer la quantité de produits d'oxydation primaire, principalement des peroxydes dans les huiles végétales, les résultats obtenus de l'indice de peroxyde sont représentés dans la figure 3.

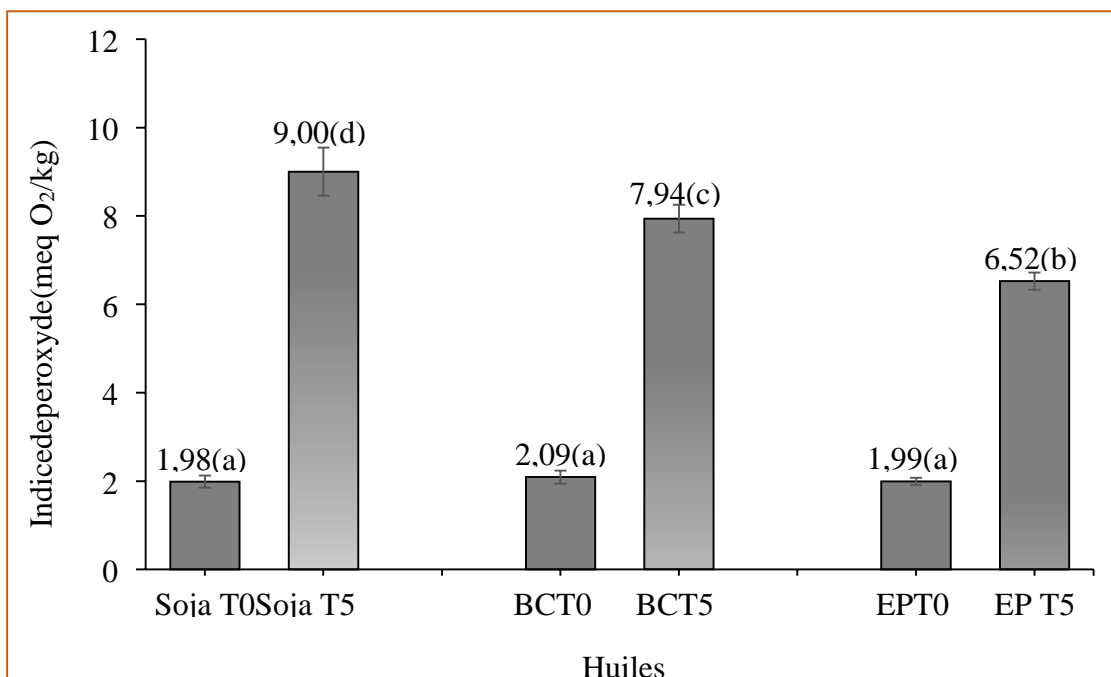


Figure 3 Effet de l'enrichissement de l'huile de soja avec le β -carotène (BC) et les caroténoïdes du sous-produit de pigment (EP) sur l'indice de peroxyde avant (T0) et après traitement thermique à 170°C/5j (T5).

Les résultats avec des lettres différentes sont statistiquement différents ($p < 0,05$).

Dans leurs globalités, les résultats consignés dans la figure 3 indiquent que les valeurs initiales d'IP pour les différentes huiles ne présentent aucune différence significative, où la valeur d'IP pour l'huile de soja témoin est de 1,98 méq d'O₂/ Kg d'huile, suivi par celle de l'huile de soja enrichi en caroténoïdes du sous-produit de piment EP qui est de 1,99 méq d'O₂ / Kg d'huile, pour l'huile de soja enrichi en β-carotène atteint une valeur de 2,09 méq d'O₂ / Kg d'huile.

Toutefois les valeurs montrent une augmentation significative de l'IP pour toutes les huiles qui ont subi le traitement thermique. L'huile la plus performante est celle enrichie en EP, qui a donné la valeur la plus faible d'IP, estimé à 6,52 méq d'O₂/ Kg d'huile, suivie de celle de l'huile de soja enrichie en β-carotène avec une proportion de 7,94 méq d'O₂/ Kg d'huile. La valeur maximale est enregistrée par l'huile de soja témoin, qui est de 9 méq d'O₂ / Kg d'huile. Ces élévations en IP sont dues à la haute température qui favorise l'oxydation en présence d'oxygène. Ce dernier se combine avec les doubles liaisons des acides gras pour former les hydroperoxydes.

Ces valeurs sont dans la norme ISO3960, qui attribue une valeur maximale de 10 méq d'O₂/Kg d'huile. **Nour et al.(2017)** dans leur étude sur l'effet des caroténoïdes extraits de déchets de tomates sèches sur les huiles végétales durant l'exposition à la lumière UV pendant 12 heures. On trouve que l'huile de soja montre une valeur de peroxyde élevée qui est de 258.4 méq d'O₂/ Kg après l'extraction de 5% de déchets de tomates équivalent à 29,2-38 mg/Kg de caroténoïdes.

Ceci démontre que les caroténoïdes d'extrait du sous-produit de piment renforcent la stabilité oxydative de l'huile de soja lors de chauffage, par piégeage de l'oxygène actif ce qui engendre la réduction des composés primaires d'oxydation.

2.2. Extinctions spécifiques dans l'UV

Le spectre UV fournit des informations sur l'état d'oxydation des huiles. En effet les diènes conjugués indiquent la présence de hydroperoxydes conjugués dans les huiles, qui résultent du déplacement de doubles liaisons en raison d'isomérisation au cours d'oxydation, présentent une bande d'absorption au voisinage de 232 nm et les triènes conjugués résultant des produits secondaires absorbent la lumière à 270 nm. Les résultats obtenus sont représentés dans les figures 4 et 5.

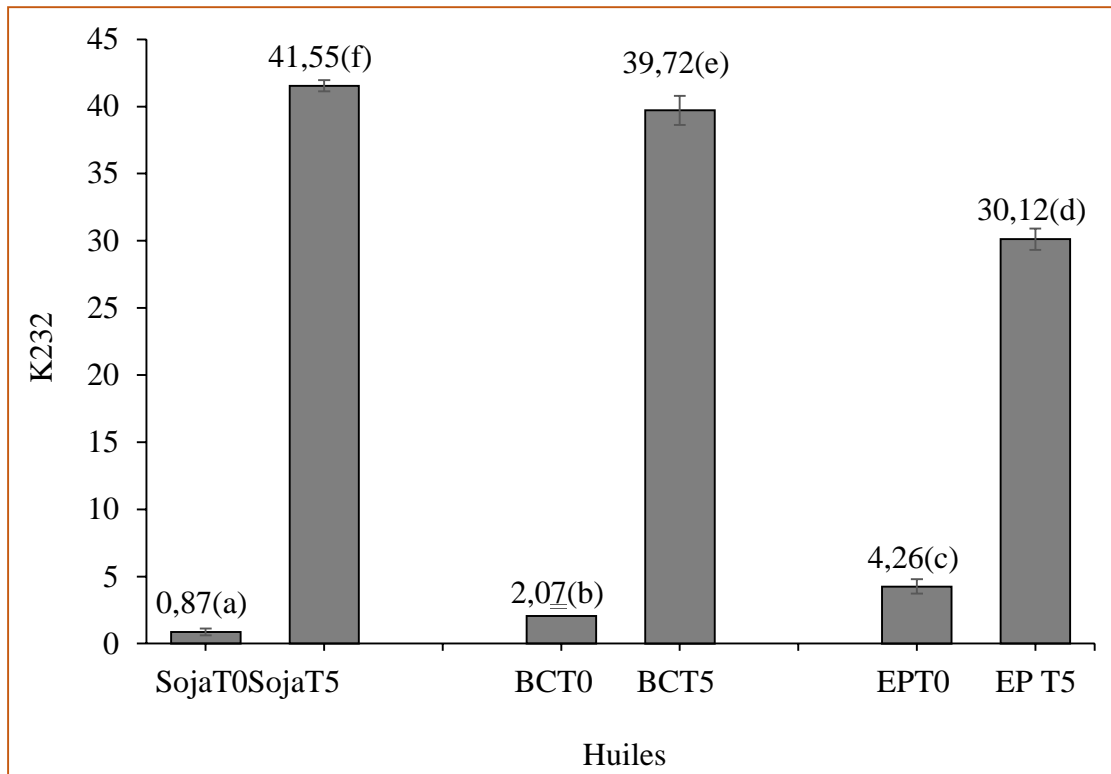


Figure 4 Effet de l'enrichissement de l'huile de soja avec le β -carotène (BC) et les caroténoïdes du sous-produit de piment (EP) sur l'extinction spécifique à 232 avant (T0) et après traitement thermique à 170°C/5j (T5).

Les résultats avec des lettres différentes sont statistiquement différents ($p < 0,05$).

K232 : L'étude statistique montre qu'il y a une différence significative entre l'ensemble des échantillons. Le coefficient d'extinction spécifique de l'huile témoin adonné une valeur de 0,87, qui est inférieure à celle de l'huile de soja enrichie en β -carotène et en EP, qui ont enregistré des valeurs de 2,07 et 4,26 respectivement avant le traitement thermique. Ceci est probablement dû à la présence de caroténoïdes qui peuvent donner des valeurs d'absorbance élevées à 234-236 nm en raison de la présence de doubles liaisons dans leur structure conjuguée.

On note une élévation considérable dans les coefficients des extinctions spécifiques après traitement thermique de 5 jours. Où une valeur de 39,72 est atteinte par l'huile de soja enrichie en β -carotène, suivie d'une valeur plus accrue de 41,55 présentée par l'huile de soja témoin, en revanche l'huile de soja enrichie en caroténoïdes du sous-produit d'EP a donné une valeur inférieure par rapport aux valeurs précédentes des autres huiles, qui est de 30,12. Cela peut s'expliquer par l'effet antioxydant des caroténoïdes contenu dans le sous-produit de piments sur la formation des composés primaires d'oxydation. Il a été rapporté auparavant que la production de la teneur élevée en diènes conjugués pourrait être liée à la teneur élevée en acides gras polyinsaturés dans les huiles comestibles (Konsoula, 2016), et l'huile de soja présente un profil

riche en AGPI ce qui explique la formation des diènes conjugué.

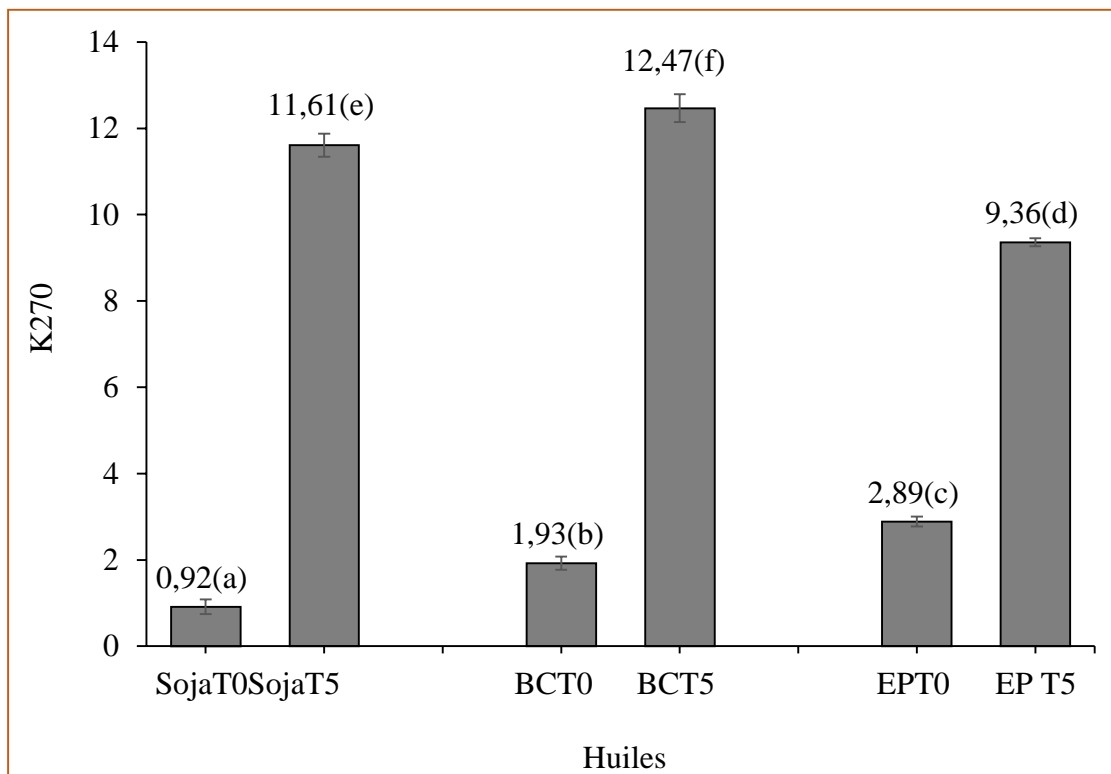


Figure 5 Effet de l'enrichissement de l'huile de soja avec le β -carotène (BC) et les caroténoïdes du sous-produit de piment (EP) sur l'extinction spécifique à 270 avant (T0) et après traitement thermique à 170°C/5j (T5).

Les résultats avec des lettres différentes sont statistiquement différents ($p < 0,05$).

❖ **K270** : La totalité des résultats présente une différence significative. La valeur initiale de l'huile de soja témoin présente le plus bas coefficient d'extinction spécifique de 0,92. Suivi par celle de l'huile de soja enrichi en β -carotène en EP (1,93; 2,89) respectivement.

Après le traitement thermique, des hausses accentuées dans le coefficient d'extinction spécifique étaient marquées par toutes les huiles. Dont la valeur minimale est obtenue avec l'huile de soja enrichi par des caroténoïdes du sous-produit d'EP, suivi de celle de l'huile de soja témoin, pour atteindre une valeur maximale de 12,47 obtenue par l'huile de soja enrichi β -carotène signifie la formation des hydroperoxydes isomères contenant des liaisons triéniques conjugués. Cette différence dans l'effet d'EP et de β -carotène en fait est due que l'EP présente un ensemble de caroténoïdes avec variété dans leur composition et le β -carotène est une classe de la famille des caroténoïdes. Dans leur étude, **Lee et Min (1988)** ont observé que l'ajout de 0,5 ; 10 et 20 ppm de β -carotène dans un système modèle huile de soja/chlorure de méthylène contenant 4 ppm de chlorophylle à la lumière (4000 lux) a réduit l'oxydation de l'huile de soja alors

que **Steensen et al. (2000)**, ont indiqué que pendant l'auto-oxydation de l'huile de soja dans l'obscurité, les produits de dégradation thermique de β -carotène agissent comme pro-oxydants.

Selon des études antérieures, ces comportements antioxydant ou pro-oxydant des caroténoïdes qui se produisent dans certaines conditions pourrait augmenter la formation d'hydroperoxydes de triglycérides autoxydés, cette activité pro-oxydante des caroténoïdes étant liée à la concentration en oxygène, à la structure chimique des caroténoïdes et à la présence d'autres antioxydants tels que les polyphénols et les tocophérols (**Shixian et al., 2005**)

D'après les résultats obtenus d'extinction spécifique à K232 et K270, on constate que les caroténoïdes sous-produit d'EPa améliorent la stabilité de l'huile de soja vis-à-vis l'oxydation en réduisant la formation des produits secondaires d'oxydation.

2.3. Test à l'acide thiobarbiturique

Ce test permet la suivie de formation des produits secondaires durant le rancissement oxydatif, il est plus spécifique des formes aldéhydiques apparaissent à partir des acides gras comportant des doubles liaisons, la formation des composés secondaires est présenté par des concentrations en MDA dans la figure 6:

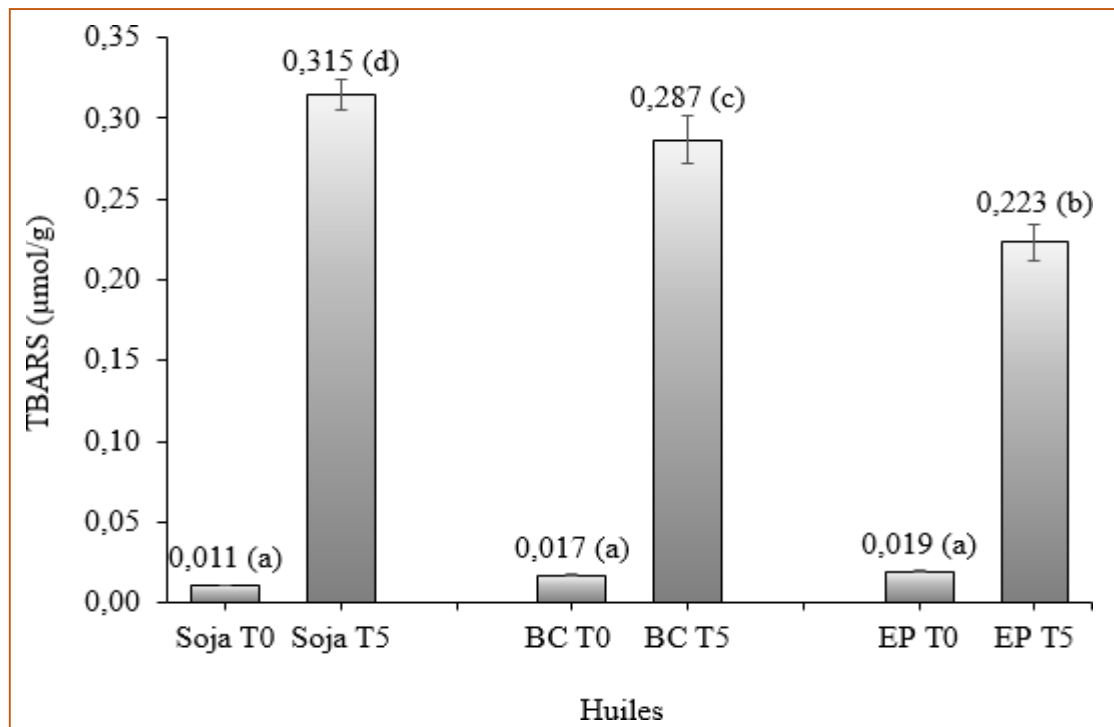


Figure 6 Effet de l'enrichissement de l'huile de soja avec le β -carotène (BC) et les caroténoïdes du sous-produit de piment (EP) sur le test au TBA avant (T0) et après traitement thermique à $170^{\circ}\text{C}/5\text{j}$ (T5).

Les résultats avec des lettres différentes sont statistiquement différents ($p < 0,05$).

L'étude statistique révèle aucune différence significative entre les échantillons avant le traitement thermique. La concentration en MDA notée se bascule entre (0,011 ; 0,017 ; 0,019) pour l'huile de soja témoin, huile de soja enrichi en β -carotène, huile de soja enrichie en caroténoïdes du sous-produit de piment (EP) respectivement. Ces valeurs initiales augmentent d'une façon significative après la mise au traitement thermique. Ce qui signifie l'assemblage des produits secondaires dans l'huile de soja, dont la valeur maximale de ces derniers se manifeste dans l'huile de soja témoin avec une concentration en MDA de $0,315\mu\text{M/g}$, l'addition des caroténoïdes du sous-produit de piment (EP) à l'huile de soja a un effet sur la production moindre de MDA par rapport à l'huile enrichie en β -carotène. Ceci est dû au pouvoir des caroténoïdes à réagir avec les hydroperoxydes qui tend à limiter leur décomposition en composés secondaires. **Kauretal. (2015)** ont étudié l'effet du lycopène, du β -carotène et du α -tocophérol sur la stabilité à l'oxydation du triacylglycérol de soja, qui a été évalué dans des conditions de four Schaal à 60°C dans l'obscurité pendant 11 jours. Ils ont trouvé que le β -carotène et le lycopène à un niveau de 200 ppm présentaient des valeurs TBARS plus élevées ce qui indique leur effet pro-oxydant. Cependant l'huile de soja traitée

avec une combinaison de lycopène et de tocophérol indique une moindre concentration en MDA, ce qui reflète leur propriété antioxydante.

2.4. Test d'acidité

L'acidité renseigne sur le taux d'AGL présent dans une huile, elle permet d'estimer le degré d'altération hydrolytique, favorisé par la présence d'eau dans l'aliment (Kpoviessi *et al.*, 2004). Dans le processus d'hydrolyse, la molécule de TG réagit avec une molécule d'eau pour donner un AGL et un diacylglycérol (Gupta, 2005). Les résultats du test de l'acidité sont illustrés dans la figure 7.

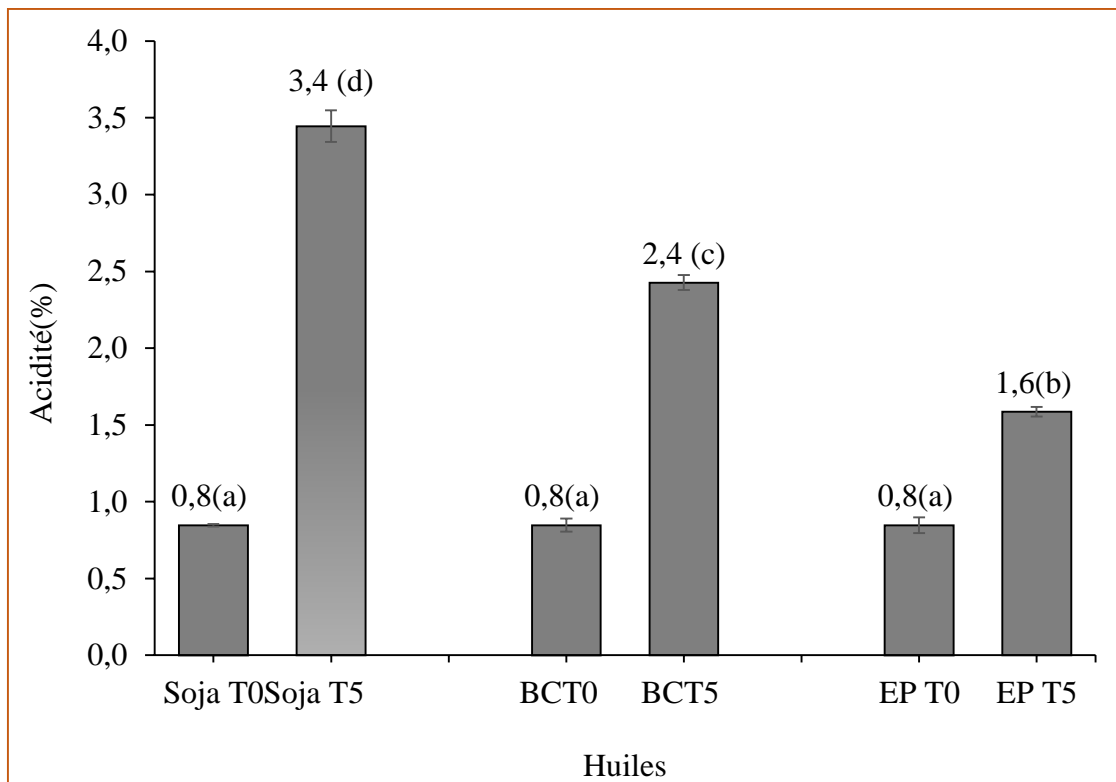


Figure 7 Effet de l'enrichissement de l'huile de soja avec le β -carotène (BC) et les caroténoïdes du sous-produit de piment (EP) sur l'acidité avant (T0) et après traitement thermique à 170°C/5j (T5).

Les résultats avec des lettres différentes sont statistiquement différents ($p < 0,05$).

Les valeurs obtenues d'indice d'acide pour toutes les huiles qui n'ont pas subi de traitement thermique ne montrent pas de différence significative (de valeur 0,8% pour soja, β carotène et extrait de piment). L'analyse de la variance a révélé pas de différence significative au seuil de 5% (p -value = 0 < 0,05).

Toutefois les valeurs montrent une augmentation significative de l'IA pour toutes les huiles qui ont subi le traitement thermique, l'huile la plus performante est celle enrichie en EP, qui a donné la valeur la plus faible d'IA estimée à 1,6% suivie de celle de l'huile enrichie en BC avec un pourcentage de 2,4%, la valeur maximale est enregistrée par l'huile de soja témoin, qui est de 3,4%.

Cependant, l'augmentation d'IA observée dans l'huile chauffée peut être le résultat d'un clivage oxydatif thermique des triglycérides conduisant à la formation des acides gras libres dans l'huile, les AGL et leur composé oxydé produisent un mauvais goût dans l'huile comestible, plus l'IA est élevée plus la détérioration ou le rancissement de l'huile est élevé.

Selon **Gupta (2005)**, dans le processus d'hydrolyse, la molécule de triacylglycérol réagit avec une molécule d'eau pour donner un AGL et un diacylglycérol. De plus, d'après **Wolff (1991)**, l'acidification des huiles est accrue en présence d'eau dans des conditions favorables, en particulier à chaud et sous pression (chauffage électrique).

2.5. Indice d'iode

L'indice d'iode « I_i » indique le nombre de doubles liaisons ou le degré d'insaturation plus globale des lipides. Cet indice renseigne sur le degré d'oxydation des huiles, donc, sur leur stabilité oxydative (**Vinaixa et al., 2005**). Selon **Kpoviessi et al. (2004)**, les valeurs élevées de l'indice d'iode indiquent que ces huiles sont riches en AGI. Les résultats sont illustrés dans la figure 8.

L'étude statistique ne révèle aucune différence significative entre les huiles non traitées thermiquement, la valeur maximale est enregistrée par le BC, estimée de 190 g d'iode/100g d'huile, suivie de celle de l'huile de soja témoin (187 g d'iode/100g d'huile), puis celle d'EP avec une valeur de 183 g d'iode/100g d'huile.

Toutefois les valeurs montrent une diminution significative de l'indice d'iode pour toutes les huiles qui ont subi le traitement thermique, l'huile la plus performante est celle de soja témoin qui a donné la valeur maximale d'indice d'iode, estimée à 161 g d'iode/100g d'huile, suivie de celle de l'huile enrichie en EP avec une proportion de 113 g d'iode/100g d'huile et celle de l'huile enrichie en BC est de 110 g d'iode/100g d'huile.

L'abaissement de cet indice est dû au phénomène d'oxydation qui cible les doubles liaisons des AG diminuant ainsi le degré d'insaturation globale de l'huile. Ainsi, la diminution du degré d'insaturation de l'huile chauffée est due principalement à l'oxydation et à la polymérisation thermique des chaînes grasses insaturées comme a été rapporté par **Grandgirard et Julliard (1987)**.

D'après **Frenot et Vierling (1997)**, les liaisons éthyléniques des acides gras sont susceptibles de fixer les halogènes (iode, brome, chlore). Dans notre étude, l'halogène utilisé est l'iode; cette réaction d'addition peut être utilisée pour déterminer quantitativement l'insaturation globale des chaînes hydrocarbonées.

La diminution même progressive de l'indice d'iode est liée à la perte des liaisons éthyléniques des AGI suite à l'oxydation. Par ailleurs, **Miller et White (1988)** attribuent cette diminution à des réactions de polymérisation se produisant au cours du chauffage de l'huile. Par conséquent, il est possible de dire que l'indice d'iode est fonction de la température et du degré d'insaturation d'une huile.

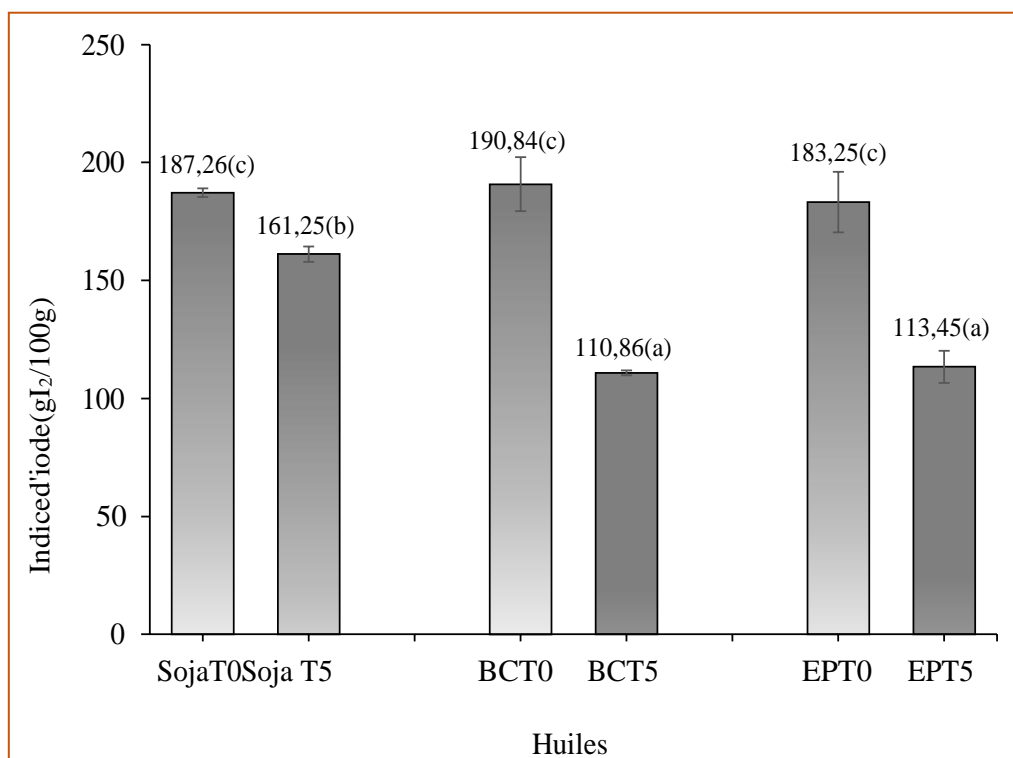


Figure 8 Effet de l'enrichissement de l'huile de soja avec le β -carotène (BC) et les caroténoïdes du sous-produit de piment (EP) sur l'indice d'iode avant (T0) et après traitement thermique à 170°C/5j (T5).

Les résultats avec des lettres différentes sont statistiquement différents ($p < 0,05$).

2.6. Activitéantiradicalaire ABTS

Dans ce test, le radicale $ABTS^{+\circ}$ est réduit par les antioxydants à son état normale ABTS. Les résultats de l'activité anti radicalaire sont exprimés en pourcentage d'inhibition d'ABTS dans la figure 9 :

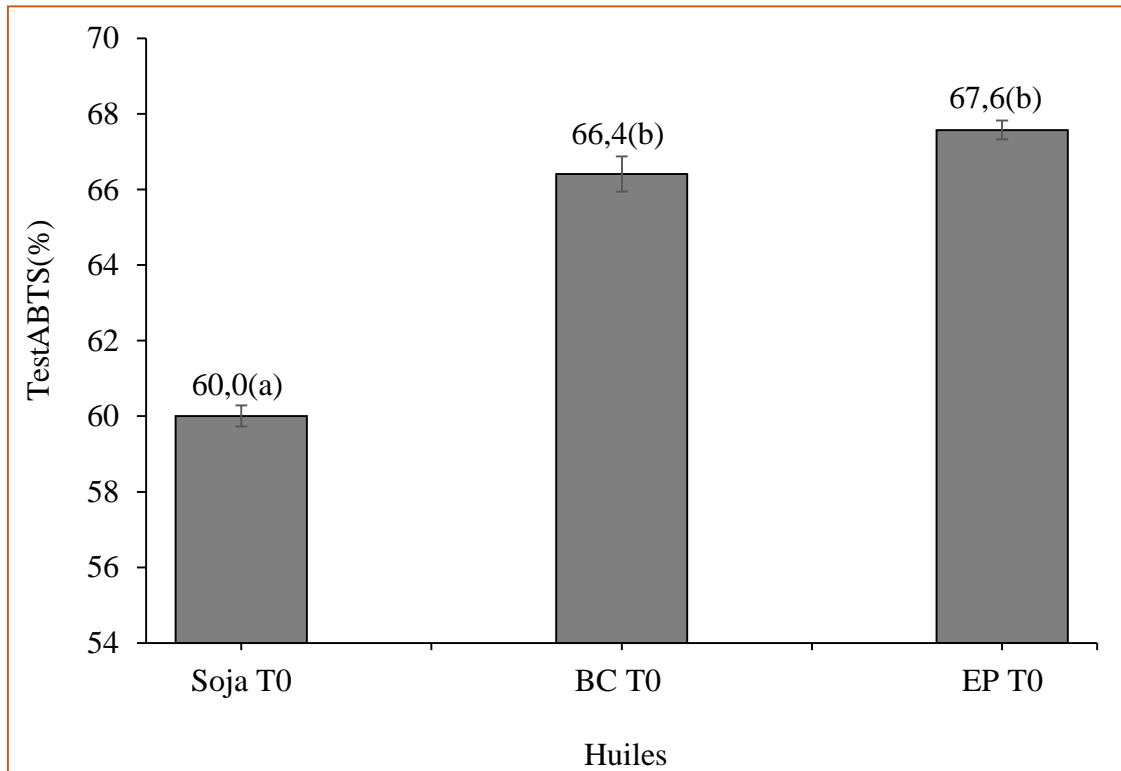


Figure 9 Activité antioxydante de l'huile de soja et l'huile de soja enrichit avec le β -carotène(BC) et les caroténoïdes du sous-produit de piment(EP) avant traitement thermique.

Les résultats avec des lettres différentes sont statistiquement différents ($p < 0,05$).

Plusieurs études ont été développées pour élucider la stabilité oxydative des huiles. En général, une quantité élevée des acides gras polyinsaturés et une faible concentration en antioxydants favorisent l'oxydation des huiles.

D'après les résultats illustrés dans la figure 9, l'étude statistique révèle une différence significative entre les huiles qui ont ne pas subi de traitement thermique à ($p < 0,05$), la valeur maximale est enregistrée dans l'EP, estimé de 67,6%, suivie de celle de BC avec une proportion de 66,4% et la valeur la plus faible est celle de l'huile de soja témoin avec une proportion de 60%.

Un fort pouvoir anti-radicalaire est noté pour l'huile enrichie en EP que l'huile enrichie en BC et l'huile de soja témoin, est fortement corrélée à sa richesse en antioxydant. Le pourcentage d'inhibition de radical $ABTS^{+\circ}$ est augmenté, ce qui confirme que les huiles ont manifesté une activité antiradicalaire, avec un pouvoir piègeage des radicaux libre réactionnel $ABTS^{+\circ}$ par l'huile enrichie en caroténoïde du sous-produit de piment.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion et perspectives

Ce présent travail a été mené en vue de l'extraction des caroténoïdes contenus dans le sous-produit de piment utilisé dans la fabrication de la conserve Harissa par CEVITAL, les caroténoïdes sont incorporés dans l'huile de soja afin d'étudier sa stabilité oxydative.

Dans notre étude, l'huile de soja de marque « Elio » est enrichie par des caroténoïdes extraits à partir du sous-produit de piment. Une huile témoin et une autre contenant le standard β -carotène est préparée aussi. Un traitement thermique est réalisé pour les huiles à une température de 170 °C, dans la perspective d'évaluer leurs stabilités oxydatives.

L'évolution de la stabilité oxydative des huiles est suivie par la mesure d'un certain nombre d'indices de qualité, indicateurs du déroulement des réactions de détérioration: IA, IP, Ii, l'extinction dans l'UV, Activité anti radicalaire ABTS et test à l'acide thiobarbiturique. Les résultats du dosage des caroténoïdes dans le sous-produit de piment est de 61,50 mg/kg par matière sèche.

À la lumière des résultats obtenus, l'huile de soja a eu une meilleure stabilité à l'oxydation par hydrolyse (acidité) suite à l'ajout des caroténoïdes. Il résulte que les caroténoïdes de sous-produit de piment réduisent la génération des peroxydes dans l'huile de soja lors de traitement thermique à 170 °C. En parallèle ils diminuent la transformation des radicaux formés en produits secondaires, comme il a été observé lors de la mesure de substance réactive au MDA et les extinctions spécifiques.

L'activité antiradicalaire de l'huile contre le radical ABTS varie d'un échantillon à un autre. Toutes les huiles étudiées présentent une capacité à piéger le radical ABTS. L'huile enrichie en caroténoïdes exerce la meilleure activité antiradicalaire.

Sur la base de ces propriétés, il serait possible d'utiliser l'extrait du sous-produit de piment pour formuler de nouveaux produits à utiliser dans l'industrie alimentaire comme antioxydants naturels.

Pour compléter notre étude, il serait intéressant d'envisager d'autres aspects à savoir:

- Effectuer une analyse sensorielle pour l'huile enrichie;
- Quantification et identification des caroténoïdes de l'extrait du sous-produit de piment ;
- Utiliser une autre méthode d'enrichissement comme la méthode d'enrichissement assisté par ultrasons.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

A

Anbudhasan, P., Surendraraj, A., Karkuzhali, S., Sathishkumaran, P. (2014). Natural antioxidants and its benefits. *International journal of food and nutritional sciences*, 3(6), 225.

Anderson, E. J., Ali, M. L., Beavis, W. D., Chen, P., Clemente, T. E., Diers, B. W., Tilmon, K. J. (2019). Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] Breeding: History, improvement, production and future opportunities. In: Al-Khayri, M.J., Johnson, J.D. (eds.). *Advances in plant breeding strategies: Legumes*. Cham, Switzerland: Springer, p. 431-516.

Arimboor, R., Natarajan, R. B., Menon, K. R., Chandrasekhar, L. P., Moorkoth, V. (2015). Red pepper (*Capsicum annum*) carotenoids as a source of natural food colors: analysis and stability a review. *Journal of food science and technology*, 52(3), 1258-1271.

B

Bailey, A. E., Shahidi, F. (2005). *Bailey's industrial oil & fats products*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 362 p.

Bartosz, G. (2013). *Food oxidants and antioxidants: chemical, biological, and functional properties*. New York: CRC press, 537 p.

Benbouriche, A., Benchikh, Y., Boudries, H., Guemghar-Haddadi, H. (2021). The industrial by-product of chili paste: optimized carotenoids extraction. *Algerian Journal of Environmental Science and Technology*, 7(3), 1996-2002.

Bhattacharya, C. B., Korschun, D. (2008). Stakeholder marketing: Beyond the four Ps and the customer. *Journal of Public Policy & Marketing*, 27(1), 113-116.

Biesalski, H. K., Grimm, P. (2001). *Atlas de poche de nutrition*. Paris: Maloine.

C

Chatenet, C. (2007). Nutrition: Le soja, une plante étonnante, un aliment incontournable. *Actualités Pharmaceutiques*, (469), 37-42.

Choe, E., Min, D. B. (2006). Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 5(4), 169-186.

Références bibliographiques

Cillard, J., Cillard, P. (2006). Mécanismes de la peroxydation lipidique et des anti-oxydations. *Oleagineux, corps gras, lipides*, 13(1), 24-29.

Codex Alimentarius,(2005).Codex StandardforNamedVegetableOils,Codex-Stan210-1999.

Codexalimentarius.(1999).Normepourleshuilesvégétalesportantunnoms spécifique.

FAO/OMS,Rome, p.41.

Collomb, V., Mayor, M. (2007). Le soja, la reine des légumineuses? *Haute école de santé filière diététique, Genève*.

Cordeiro, A. M. T. M., Medeiros, M. L., Silva, M. A. A. D., Silva, I. A. A., Soledade, L. E. B., Souza, A. L., Queiroz,N.,Souza, A. G. (2013). Rancimat and PDSC accelerated techniques for evaluation of oxidative stability of soybean oil with plant extracts. *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 114(2), 827-832.

Cossut, J., Defrenne, B., Desmedt, C., Ferroul, S., Garnet, S., Humbert, S., Roelstraete, L., Vanuxeem, M., Vidal, D. (2002). Les corps gras: entre tradition et modernité (Mémoire de maîtrise, Université de Lille).

Cuvelier, M. E.,Maillard, M. N. (2012). Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage. *Oilseeds and fats crops and lipids*, 19(2), 125-132.

D

Dridi, W. (2016). Influence de la formulation sur l'oxydation des huiles végétales en émulsion eau-dans-huile (Thèse de doctorat, université de Bordeaux).

E

Lusas, E. W. (2007). Animal and Vegetable Fats, Oils, and Waxes. In: Kent, A.J., Bommaraju, V.T., Barnicki, D.S. (eds.) *Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology*. Cham, Switzerland: Springer, p. 1549-1656.

Eymard, S. (2003). Mise en évidence et suivi de l'oxydation des lipides au cours de la conservation et de la transformation du chinchard (Trachurus trachurus): choix des procédés (Thèse de doctorat, Université de Nantes).

F

Farr,W.E.,(2000).Refiningoffatsandoils.In:O'Brien,R.D.,Farr,W.E.,Wan,P.I.(Eds.),*Introduction toFats and OilsTechnology*.Champaign : AOCS Press,p.136–157.

Références bibliographiques

Frenot M., Vierling E. (1997). Biochimie des aliments : Diététique du sujet bien portant. 1^{ère} édition : Doin, 304 p.

J

Jeantet, R., Croguennec, T., Schuch, P., Brule, G. (2007). Science des aliments: Biochimie-Microbiologie-Procédés-Produits, Vol 2: Technologie des produits alimentaires. Paris : Tech et Doc, 456 p.

Jeuge S., Carler M., Vendevre J.L., Nassy G. (2012). L'oxydation des produits carnés : Méthodes de mesure et moyens de maîtrise. Rapport d'étude, Pole Viande et Charciterie.

Jomova, K., Michael, L., Marian, V. (2013). Mechanisms of Antioxidant Activity. In: Bartosz G.(eds.). *Food Oxidants and Antioxidants Chemical, Biological, and Functional Properties*. London: CRC Press, p.325-339.

Judde, A. (2004). Prévention de l'oxydation des acides gras dans un produit cosmétique: mécanismes, conséquences, moyens de mesure, quels antioxydants pour quelles applications?. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, 11(6), 414-418.

H

Hamitri-Guerfi, F., Ouahrani, S., Benbouriche, A., Bey, M. B., Boulekbache-Makhlouf, L., Madani, K. (2020). Impact of the extraction method on physico-chemical properties, phytochemicals and biological activity of sesame seeds oil. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI-Food Technology*, 44(1), 82-103

Hoffmann, J. F. (2015). Thermal Storage Based on Natural or Recycled Materials for Concentrating Solar Power. (Thèse de doctorat, Université de Perpignan).

Hubert, J. (2006). Caractérisation biochimique et propriétés biologiques des micronutriments du germe de soja: étude des voies de sa valorisation en nutrition et santé humaines (Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse).

He, H., Hou, T. (2021). Lipid. In: Chen, K., Kan, J.(eds.). *Essentials of Food Chemistry*. Singapore: Springer, p. 197-253.

I

Iwashina, T., Oyoo, M. E., Khan, N. A., Matsumura, H., Takahashi, R. (2008). Analysis of

Références bibliographiques

flavonoids in flower petals of soybean flower color variants. *Crop science*, 48(5), 1918-1924.

G

Gornay, J. (2006). Thermal transformation of triglycerides and fatty acids. Application to the chemical valorisation of lipid waste (Thèse de doctorat, université de Lorraine).

Grandgirard, A., Julliard, F. (1987). Influence de divers paramètres sur la dégradation d'huiles végétales au cours du chauffage: nature de l'huile, température et durée du chauffage. *Revue française des corps gras*, 34(4), 213-219.

Guillén, M. D., Cabo, N. (2002). Fourier transform infrared spectra data versus peroxide and anisidine values to determine oxidative stability of edible oils. *Food Chemistry*, 77(4), 503-510.

Gutierrez, R., Gonzalez, O., Dobarganes, M. C. (1988). Analytical procedures for the evaluation of used frying fats. In: Varela, G., Bender, A.E., Morton, I.D. (eds.). *Frying of food: Principles, changes, new approaches*. Chichester, England: VCH-Ellis Horwood Ltd, p. 141-154.

Gülçin, İ. (2010). Antioxidant properties of resveratrol: A structure-activity insight. *Innovative food science & emerging technologies*, 11(1), 210-218.

Gulcin, I. (2009). Antioxidant activity of L-adrenaline: a structure-activity insight. *Chemicobiological Interactions*, 179(2), 71-80.

K

Kanazawa, A., Sawa, T., Akaik, T., Maeda, H. (2000). Formation of abasic sites in DNA by t-butyl peroxy radicals: implication for potent genotoxicity of lipid peroxy radicals. *Cancer letters*, 156(1), 51-55.

Kanner, J. (2010). Metals and food oxidation. In: Decker, E., Elias, R., McClements, D.J. (eds.). *Oxidation in Foods and Beverages and Antioxidant Applications. Volume 1: Understanding Mechanisms of Oxidation and Antioxidant Activity*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, p. 36-56.

Kaur, D., Sogi, D. S., Wani, A. A. (2015). Oxidative stability of soybean triacylglycerol using carotenoids and γ -tocopherol. *International Journal of Food Properties*, 18(12), 2605-2613.

Kiokias, S., Gordon, M. H. (2004). Antioxidant properties of carotenoids in vitro and in

Références bibliographiques

vivo. *Food Reviews International*, 20(2), 99-121.

Kiritsakis, A., Markakis, P. (2012). Olive Oil Analysis. In: Linskens, H.F., Jackson, J.F. (Eds.), *Essential oils and waxes*. New York: Springer, p. 1–20.

Konsoula, Z. (2016). Comparative efficacy of pomegranate juice, peel and seed extract in the stabilization of corn oil under accelerated conditions. *International Journal of Nutrition and Food Engineering*, 10 (9), 556-563.

Kpoviessi, D. S. S., Accrombessi, G. C., Kossouoh, C., Soumanou, M. M., Moudachirou, M. (2004). Propriétés physico-chimiques et composition de l'huile non conventionnelle de pourghère (*Jatropha curcas*) de différentes régions du Bénin. *Comptes Rendus Chimie*, 7(10-11), 1007-1012.

L

Labalette, F., Bourrel, C., Jouffret, P., Lecomte, V., Quinsac, A., Ledoux, S. (2010). Panorama et futur de la filière du soja français. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 17(6), 345-355.

Labat, E. (2013). *Le soja: influence de sa consommation sur la santé humaine et conséquences de l'expansion de sa culture au niveau mondial* (Thèse de doctorat, Université Toulouse III-Paul Sabatier).

Laguerre, M., López-Giraldo, L. J., Lecomte, J., Pina, M., Villeneuve, P. (2007). Outils d'évaluation in vitro de la capacité antioxydante. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 14(5), 278-292.

Lecerf, J. M. (2011). Les huiles végétales: particularités et utilités: Vegetable oils: Particularities and usefulness. *Médecine des maladies Métaboliques*, 5(3), 257-262.

Lee, E. C., MIN, D. B. (1988). Quenching mechanism of β -carotene on the chlorophyll sensitized photooxidation of soybean oil. *Journal of Food Science*, 53(6), 1894-1895.

Lee, K. Y., Rahman, M. S., Kim, A. N., Jeong, E. J., Kim, B. G., Lee, M. H., Kim, H.J., Choi, S. G. (2021). Oil yield, physicochemical characteristics, oxidative stability and microbial safety of perilla seeds stored at different relative humidity. *Industrial Crops and Products*, 165 (1), 1-9.

Liu, D., Ma, F. (2011). Soybean phospholipids. In: Krezhova, D. (eds.). *Recent Trends for Enhancing the Diversity and Quality of Soybean Products*. Rijeka, Croatia: Intech Open, p.483-499.

Références bibliographiques

Leong, L. P., Shui, G. (2002). An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. *Food chemistry*, 76(1), 69-75.

M

Mangena, P. (2018). Water stress: morphological and anatomical changes in soybean (*Glycine max* L.) plants. In: Andjelkovic, V. (eds.). *Plant, Abiotic Stress and Responses to Climate Change*. London: Intechopen, p. 9-31.

Mariod, A., Matthiaus, B., Eichner, K., Hussein, I.H. (2012). Effects of deodorization on the Perspectives. *The journal of Food*, 37 (4), 189–196.

Márquez-Ruiz, G., Holgado, F., Velasco, J. (2013). Mechanisms of oxidation in food lipids. In: Bartosz G.(eds.). *Food oxidants and antioxidants: chemical, biological, and functional properties* London: CRC Press, p.79-114.

Martínez, M. L., Penci, M. C., Ixtaina, V., Ribotta, P. D., Maestri, D. (2013). Effect of natural and synthetic antioxidants on the oxidative stability of walnut oil under different storage conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 51(1), 44-50.

Matthiaus, B. (2012). Oil technology. In: Gupta, S.K. (eds.), *Technological Innovations in Major World Oil Crops, Volume 2*. Heidelberg, Germany: Springer, p.405.

Miller, L. A., White, P. J. (1988). High-temperature stabilities of low-linolenate, high-stearate and common soybean oils. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 65(8), 1324-1327.

Moon, J. K., Shibamoto, T. (2009). Antioxidant assays for plant and food components. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(5), 1655-1666.

N

Nour, V., Corbu, A. R., Rotaru, P., Karageorgou, I., Lalas, S. (2018). Effect of carotenoids, extracted from dry tomato waste, on the stability and characteristics of various vegetable oils. *Grasas y Aceites*, 69 (1), e238-e238.

Novidzro, K. M., Wokpor, K., Fagla, B. A., Koudouvo, K., Dotse, K., Osseyi, E., Koumaglo, K. H. (2019). Etude de quelques paramètres physicochimiques et analyse des éléments minéraux, des pigments chlorophylliens et caroténoïdes de l'huile de graines de *Griffoniasimplicifolia*. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(4), 2360-2373.

O

Osman, A. M., Wong, K. K. Y., Fernyhough, A. (2006). ABTS radical-driven oxidation of polyphenols: Isolation and structural elucidation of covalent adducts. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 346(1), 321-329.

P

Perrin, J. L. (1992). Analyse des corps gras, détermination de l'altération. In: Tec. Et Doc. (eds.). *Manuel des corps gras*. Paris : Lavoisier, p. 1198-1218.

Karleskind, A. (1992). Détermination des caractéristiques physiques des corps gras. *Manuel des corps gras*, 1290 p.

Platon J.F, (1988). Raffinage de l'huile de soja. American Soybean Association. pp 3-19.

Pokorny, J. (2003). Problème de stabilité des produits alimentaires liés à la présence des lipides. In : Tec. Et Doc. (eds.). *Lipides et corps gras alimentaires*. Paris: Lavoisier, p. 51-74.

Poljsak, B., Šuput, D., Milisav, I. (2013). Achieving the balance between ROS and antioxidants: when to use the synthetic antioxidants. *Oxidative medicine and cellular longevity.*, 2013 (1), 1-11.

Prior, E. (2003). Usage des corps gras alimentaires dans différents secteurs de la technologie alimentaire. In : Tec. Et Doc. (eds.). *Lipides et corps gras alimentaires*. Paris: Lavoisier, p 147-186.

R

Régis, J., Joffre, F., Fine, F. (2016). Impact de la trituration et du raffinage sur la teneur en micronutriments des huiles végétales de colza, soja et tournesol. *Oléagineux, corps gras, lipides*, 23(3), 1-5.

Rolland, Y. (2004). Actualité des lipides en cosmétique: Antioxydants naturels végétaux. *Oléagineux corps gras, lipides*, 11(6), 419-424.

Reische, D. W., Lillard, D. A., Eitenmiller, R. R. (2002). Antioxidants in: Akoh, C.C., Min D.B. (eds.). *Food lipids*. Marcel Dekker: New York, P. 489-516.

Rodriguez-Amaya, D. B. (2015). *Food carotenoids: chemistry, biology and technology*. John Wiley & Sons.

S

Références bibliographiques

Saad, B., Sing, Y. Y., Nawi, M. A., Hashim, N., Ali, A. S. M., Saleh, M. I., Sulaiman, F.S., Talib, M.K., Ahmad, K. (2007). Determination of synthetic phenolic antioxidants in food items using reversed-phase HPLC. *Food chemistry*, 105(1), 389-394.

Schaich, K. M. (1992). Metals and lipid oxidation. Contemporary issues. *Lipids*, 27(3), 209-218.

Silva, F. A., Borges, F., Ferreira, M. A. (2001). Effects of phenolic propyl esters on the oxidative stability of refined sunflower oil. *Journal of Agricultural and Chemistry*, 49(8), 3936-3941.

Shahidi, F., Ambigaipalan, P. (2017). Antioxidant in oxidation control. In: Apak, R., Capanoglu, E., Shahidi, F. (eds). *Measurement of Antioxidant Activity and Capacity: Recent Trends and Applications*. USA: Wiley, p. 287-310.

Shixian, Q., Dai, Y., Kakuda, Y., Shi, J., Mittal, G., Yeung, D., Jiang, Y. (2005). Synergistic anti-oxidative effects of lycopene with other bioactive compounds. *Food Reviews International*, 21(3), 295-311.

Shurtleff, W., Aoyagi, A. (2004). History of World Soybean Production and Trade. *Soyfoods Center, Lafayette, California*.

Solovchenko, A. E., Merzlyak, M. N. (2008). Screening of visible and UV radiation as a photoprotective mechanism in plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 55(6), 719-737.

Steenson, D. F., Min, D. B. (2000). Effects of β -carotene and lycopene thermal degradation products on the oxidative stability of soybean oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77(11), 1153-1160.

T

Trombino, S., Cassano, R., Procopio, D., Di Gioia, M. L., Barone, E. (2021). Valorization of Tomato Waste as a Source of Carotenoids. *Molecules*, 26(16), 5062.

U

United States, Department of Agriculture. (2021). « World Agricultural Production », Circular Series WAP 8-21, août, 43.

V

Verleyen, T., Sosinska, U., Ioannidou, S., Verhé, R., Dewettinck, K., Huyghebaert, A., De Greyt,

Références bibliographiques

W. (2002). Influence of the vegetable oil refining process on free and esterified sterols. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79(10), 947-953.

Y

Yang, Y., Song, X., Sui, X., Qi, B., Wang, Z., Li, Y., Jiang, L. (2016). Rosemary extract can be used as a synthetic antioxidant to improve vegetable oil oxidative stability. *Industrial Crops and Products*, 80 (1), 141-147.

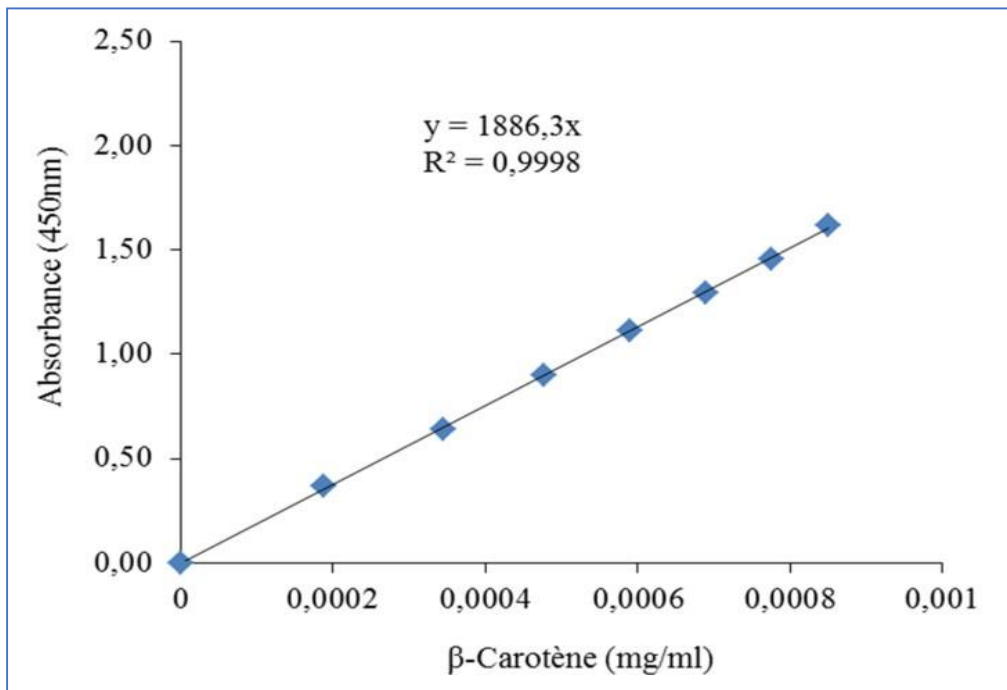
W

Wang, T., Johnson, L. A. (2001). Refining high-free fatty acid wheat germ oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 78(1), 71-76.

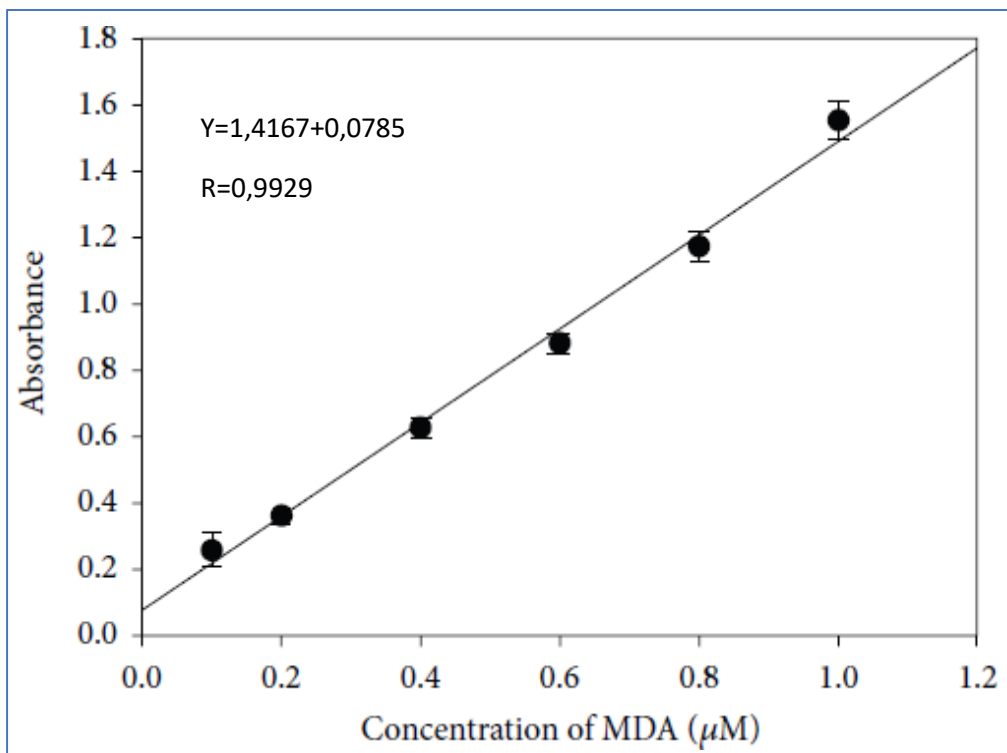
Wei, J., Chen, L., Qiu, X., Hu, W., Sun, H., Chen, X. L., Bai, Y. Q., Gu, X. Y., Wang, C. L., Chen, H., Hu, R. B., Zhang, H., Shen, G. (2015). Optimizing refining temperatures to reduce the loss of essential fatty acids and bioactive compounds in tea seed oil. *Food and Bioprocess Processing*, 94 (1) 136-146.

ANNEXES

Annexes



AnnexeI Courbed'étalonnagedescaroténoïdes



AnnexeII Courbed'étalonnagede malondialdéhyde(MDA)

Résumé

La présente étude porte sur l'extraction des caroténoïdes à partir du sous-produit de piment, et leur possible valorisation en tant qu'antioxydants naturels. Leur activité antioxydante a été comparée à celle d'un antioxydant synthétique: β carotène. Une concentration de 0,5 ppm de chaque antioxydant a été additionnée séparément à des échantillons d'huile de soja. L'effet des antioxydants sur la stabilité oxydative de l'huile de soja a été évalué sous un traitement thermique de 170°C à l'air atmosphérique et exposé à la lumière. L'évolution de l'état d'oxydation a été mesurée par l'indice d'acide (IA), indice d'iode (Ii), indice de peroxyde (IP), l'extinction spécifique dans l'ultraviolet et le test à l'acide thiobarbiturique, ont été utilisés comme indicateurs pour les produits d'oxydation des lipides primaires et secondaires. Tandis que l'activité antioxydante est déterminée par l'activité scavenger sur le radical ABTS. Les résultats ont indiqué que l'huile contenant des caroténoïdes du sous-produit de piment a subi une détérioration moins accentuée que l'huile témoin (sans ajout d'antioxydant) et l'huile enrichie en standard β carotène. La meilleure stabilité oxydative de l'huile de soja est celle enrichie par les caroténoïdes du sous-produit de piment.

Mots clés : huile de soja, Sous-produit de piment, caroténoïdes, antioxydants, stabilité oxydative.

Abstract

The present study examines the extraction of carotenoids from the chili by-product, and their possible valorization as natural antioxidants. Their antioxidant activity has been compared to that of a synthetic antioxidant: β carotene. A concentration of 0.5 ppm of each antioxidant was added separately to soybean oil samples. The effect of antioxidants on the oxidative stability of soybean oil was evaluated under heat treatment of 170 ° C in atmospheric air and exposed to light. The evolution of the oxidation state was measured by the acid number (IA), iodine number (Ii), peroxide number (IP), the specific extinction in the ultraviolet and the test with thiobarbituric acid, have been used as indicators for the oxidation products of primary and secondary lipids. While the antioxidant activity is determined by the scavenger activity on the ABTS radical. The results indicated that the oil containing carotenoids from the chili by-product suffered less deterioration than the control oil (without the addition of antioxidants) and the oil enriched with the β -carotene standard. The best oxidative stability of soybean oil is that enriched by carotenoids from the chili by-product.

Keywords: Soybean oil, chilli by-product, carotenoids, antioxidants, oxidative stability.