

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*  
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Sciences Alimentaires  
Filière : Sciences Alimentaires  
Spécialité : Conservation des Aliments et Emballage.



Réf:.....

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

**MASTER**

**Thème**

**Etude de l'impact de l'emballage sur l'oxydation  
de l'huile de soja produite par Cevital.**

Présenté par :

**FENGAL Nadjib & BELLOUT Hania**

Soutenu le : **03/07/2024**

Devant le jury composé de :

BOUAROUDJ Kh.

MCB

Présidente

TAMENDJARI-METTOUCHI S.

MCA

Promotrice

BENRAMDANE E.

MCB

Examineur

**Année universitaire : 2023 / 2024**

## ***Remerciements***

Au nom d'Allah le plus grand merci lui revient de nous avoir aidés tout au long de ce travail.

Au terme de réalisation de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promotrice Mme ***TAMENDJARI-METTOCHI Soraya*** pour son encadrement de qualité ainsi pour son soutien moral et scientifique qui nous a permis de mener à terme ce projet.

Nous exprimons nos meilleurs sentiments de gratitude aux honorables membres du jury qui ont eu l'amabilité d'endurer patiemment notre humble et maladroite capacité à nous exprimer en public.

Nous présentons aussi nos vifs et sincères remerciements au responsable qualité de recherche et développement Cevital ***Mr HADJAL Samir*** de nous avoir accueilli dans son service, ainsi que ***Mr ALIANE Khellaf*** pour leur disponibilité et leur encouragement.

À nos encadrants de l'usine Cevital : Mr ***HAMITRI Mourad*** et toute l'équipe qui ont été un mentor précieux pour nous, en nous montrant les ficelles du métier. Ainsi qu'à toute l'équipe du laboratoire de raffinerie des huiles chacun en son nom. Nous tenons aussi à remercier profondément ***Mr BOUDJOUANE Fares*** et Mme ***BRADAY*** pour leur disponibilité et leur aide précieuses.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Ce fut un plaisir et un honneur de travailler avec vous.

***FENGAL Nadjib***

***BELLOUT Hania***

## **Dédicace**

*A mon père **BELLOUT Kaci***

*Au meilleur père mon précieux offre du dieu qui doit ma vie et ma réussite ; qui m'a appris le sens du travail et de la responsabilité, ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as déployé pour mon éducation, j'implore le tout-puissant pour qu'il t'accorde une bonne santé, une vie longue et heureuse.*

*A ma très chère mère **AMRANI Fatiha***

*Quoi que je fasse ou que je dise ; je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de la force pour affronter les différents obstacles que dieu te garde pour nous en bonne santé.*

*A ma chère grande sœur **Dhia** qui est toujours prête à me donner tout ce que je veux et qui m'encourage à chaque étape de ma vie.*

*A mes frères **Hani** et **Abd el Hadi** les meilleurs frères du monde qui me donnent la force, le courage et le soutien moral.*

*A ma petite adorable sœur **Nihal** pour son soutien morale qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.*

*A ma meilleure amie **Cherifa** « Foufa » qui a été toujours à mes côtés comme une sœur mérite mille fois l'Amour ainsi que sa famille.*

*A toutes mes chères amies qui partagent avec moi les bons moments tout au long mon parcours universitaire : **Amel, Hanane, Maria, Mimou, Mina, Kenza, Lilia Sara, Asma, Souheyla, Meriama, Wafa, Nadia.***

*A mon binôme **Nadjib***

*Sans oublier tous les camarades de ma promotion **M2 CAE**, qui ont partagé ce parcours avec moi.*

**Hania**

## **Dédicace**

*À mon père, qui nous a quitté bien trop tôt. Chaque jour, je ressens ton absence, mais aussi la force de ton amour et de tes enseignements qui me guident. Ton souvenir est gravé dans mon cœur, et ta présence spirituelle m'accompagne dans chaque réussite. Repose en paix, papa, en sachant que tu es toujours avec moi.*

*À ma mère, que Dieu la protège. Ta tendresse, ton soutien inlassable et ta résilience face aux épreuves sont ma plus grande source d'inspiration. Merci de croire en moi, même quand j'avais du mal à le faire moi-même. Ton amour est la lumière qui éclaire mon chemin.*

*À mes frères et ma sœur, pour leur amour, leur soutien et leurs encouragements constants. Vous êtes ma force et ma motivation. Ensemble, nous avons surmonté tant d'obstacles, et c'est avec vous à mes côtés que je trouve le courage de poursuivre mes rêves. Merci d'être ma famille, mon refuge, et ma source de joie.*

*À ma chère et précieuse amie **M.Amina** merci pour ton aide inestimable et ta disponibilité constante. Ta présence dans les moments difficiles m'a donné la force de continuer.*

*Ainsi que mes camarades, pour leur amitié sincère, leur soutien et les moments inoubliables que nous avons partagés. Ensemble, nous avons traversé les joies et les difficultés de nos études. Merci pour votre camaraderie, votre aide précieuse, et pour avoir rendu cette expérience encore plus enrichissante. Vous avez tous une place spéciale dans mon cœur.*

*À ma binôme **Hania**, ainsi que toute la promotion **M2 CAE***

**Nadjib**

## SOMMAIRE

<b>Introduction</b> .....	1
<b>partie théorique</b>	
<b>chapitre I : généralités sur les huiles végétales</b> .....	2
<b>I.1. Définition</b> .....	2
<b>I.2. Composition de l'huile de soja</b> .....	2
<b>I.3. Technologie de l'obtention de l'huile brute</b> .....	2
<b>I.4. Raffinage de l'huile de soja</b> .....	3
<b>I.4.1. Démucilagination ou dégomme</b> : .....	3
<b>I.4.2. Neutralisation</b> : .....	4
<b>I.4.3. Lavage et séchage</b> : .....	4
<b>I.4.4. Décoloration</b> : .....	4
<b>I.4.5. Désodorisation</b> : .....	4
<b>I.5. Les altérations des huiles végétales raffinées</b> .....	5
<b>I.5.1. Altération biologique</b> .....	5
<b>I.5.2. Altération chimique</b> .....	5
<b>I.6. Facteurs influençant l'oxydation</b> .....	9
<b>I.6.1. Teneur en oxygène</b> .....	9
<b>I.6.2. Température</b> .....	9
<b>I.6.3. Présence d'agents antioxydants</b> .....	10
<b>I.6.4. Présence d'agents pro-oxydants</b> .....	10
<b>I.6.5. Teneur en acides gras libres</b> .....	10
<b>I.6.6. Activité de l'eau</b> .....	10
<b>II. Emballage alimentaire</b> .....	11
<b>II. Les types d'emballages</b> .....	11
<b>II.1. Le polyéthylène téréphtalate (PET)</b> .....	11
<b>II.1.1. Définition du PET</b> .....	11
<b>II.1.2. Synthèse de PET</b> : .....	11
a) <b>Estérification</b> .....	12
b) <b>Transestérification</b> .....	13
<b>II.1.3. Propriétés du PET</b> .....	13
<b>II.1.4. Dégradation du PET</b> .....	14
<b>II.2. Le Tetra Pak</b> .....	15

II.2.1. Définition du tetra pak.....	15
II.2.2. Les différentes couches qui composent les briques de Tetra pak.....	15

### Partie pratique 16

Objectif de l'étude .....	17
I. Echantillonnage .....	17
II. Analyses physico-chimiques .....	17
II.1. Acidité :.....	17
II.2. Humidité et matières volatiles .....	18
II.3. Indice de peroxyde.....	18
II.4. Indice d'iode.....	19
III. La chlorophylle .....	20
IV. Test de stabilité oxydative : « rancimat » .....	20
V. Test de migration ( FTIR) .....	20
Analyse statistique.....	21

### Résultats et discussions 22

I. Analyses physico-chimiques : .....	23
I.1. Humidité .....	23
I.2. Acidité .....	24
I.3. Indice de peroxyde .....	25
I.4. Indice d'iode .....	27
II. La chlorophylle.....	28
III. Test de stabilité oxydative (rancimat) .....	29
IV. Composition en Acides gras.....	31
V. Test de migration.....	32
Conclusion.....	32
Références bibliographiques .....	Erreur ! Signet non défini.
Annexe 01 : Présentation de l'Entreprise .....	40

## Liste des tableaux

<b>Tableau I</b> : composition de l'huile de soja raffinée en acides gras ( % en poids) .....	2
<b>Tableau II</b> : temps d'induction des huiles en heures TIR .....	29
<b>Tableau III</b> : composition en acides gras de l'huile de soja (%) .....	31
<b>Tableau IV</b> : composition en acides gras des échantillons d'huile (%) .....	31

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : procédé d'extraction de l'huile brute .....	03
<b>Figure 2</b> : motif de répétition du polyéthylène téréphtalate .....	11
<b>Figure 3</b> : réaction d'estérification entre l'acide téréphtalique et l'éthylène glycol .....	12
<b>Figure 4</b> : réaction de transestérification entre le diméthyle téréphtalate et l'éthylène glycol ....	13
<b>Figure 5</b> : évolution de l'humidité (%) des échantillons au cours de la durée de stockage.....	23
<b>Figure 6</b> : évolution de l'acidité (%) des échantillons au cours de la durée de stockage.....	25
<b>Figure 7</b> : évolution de l'indice de peroxyde au cours de la durée de stockage .....	26
<b>Figure 8</b> : évolution de l'indice d'iode lors de durée de stockage .....	28
<b>Figure 9</b> : évolution de la chlorophylle au cours de la durée de stockage .....	28
<b>Figure 10</b> : les spectres infrarouges (IR) de deux huiles de soja, l'une conditionnée dans un emballage PET et l'autre dans un emballage Tetra Pak TP, après 70 jours de stockage dans une étuve à 40°C.....	32
<b>Figure 11</b> : deux spectres infrarouges (IR) en transmission (T%) en fonction du nombre d'onde (K en cm <sup>-1</sup> ) pour le polyéthylène téréphtalate (PET) à deux temps différents.....	35
<b>Figure 12</b> : les spectres infrarouges (IR) en transmission (T%) en fonction du nombre d'ondes (K en cm <sup>-1</sup> ) pour le polyéthylène (PE) à deux moments différents.....	36



## Liste des abréviations

**AG** : acide gras.

**AGL** : acide gras libre.

**AGPL** : acide gras polyinsaturé.

**CG** : corps gras.

**RH** : acide gras insaturés.

**ROO°** : radical libre peroxyde instable.

**PEBD** : polyéthylène à basse densité.

**PETr** : polyéthylène téréphtalate remplie a plein.

**PETm** : polyéthylène téréphtalate remplie a moitié.

**TETRAr** : Tetra Pack remplie a plein.

**TETRAm** : Tetra Pack remplie a moitié.

# **Introduction**

Les huiles constituent une partie importante de l'alimentation humaine et contiennent de nombreux nutriments essentiels (**Fine et al., 2013**). L'huile de soja est l'une des principales denrées alimentaires au monde, en raison de sa disponibilité, de son coût et de sa polyvalence dans un large éventail d'applications alimentaires. (**Rakariyatham et al., 2024**). Elle est considérée comme une huile à faible teneur en acides gras saturés et riche en acides gras polyinsaturés (**List, 2016**). Bien que l'huile de soja soit une bonne source d'acides gras essentiels, sa richesse en acides gras polyinsaturés, qui ne sont pas stables à l'oxydation à haute température, ce qui pose un problème pour certaines applications, où l'huile peut subir diverses réactions chimiques, telles que l'hydrolyse, l'oxydation et la polymérisation. Ces changements peuvent avoir des effets néfastes sur la santé (**Rakariyatham et al., 2024**). Aussi, les conditions d'entreposage et d'emballage des huiles est souvent non conforme à la norme, ce qui peut accélérer ces réactions d'oxydation.

Les emballages en plastique ont connu un essor considérable ces dernières années en raison des avantages qu'ils procurent à la société dans d'innombrables applications (**Mehdar, 2024**).

Les bouteilles en PET offrent une excellente barrière contre l'oxygène et les rayons UV, protégeant ainsi l'huile de l'oxydation. Cependant, elles peuvent être sensibles aux températures élevées et risquent de libérer des substances indésirables dans le produit. Les emballages Tetra Pak, quant à eux, sont composés de plusieurs couches de carton, de plastique et d'aluminium, offrant une protection optimale contre la lumière, l'oxygène et les contaminants externes. Ils sont également légers, faciles à transporter et à stocker (**Coltro et al., 2003 ; Federica et al., 2023**).

Le choix de l'emballage pour le stockage s'avère important pour assurer une durée de vie maximale à l'huile, cet effet est encore plus marqué au cours de l'utilisation de l'huile à l'échelle domestique ou les bouteilles entamées sont stockées pour de longues période. C'est dans cette optique que cette étude a été entreprise dans le but de suivre la qualité d'une huile de soja stockée à 40°C conditionnée dans du PET et du Tétrapack à deux niveaux de remplissage.

Le présent document est structuré en deux parties :

La première partie est l'étude bibliographique qui aborde des notions générales sur l'huile de soja ainsi que des généralités sur les deux emballages utilisés dans notre étude PET et Tetra Pack.

Quant à la deuxième partie de ce manuscrit, elle est dédiée à la partie expérimentale organisée en deux parties ; la première est consacrée à la description des matériels utilisés et méthodologies suivies, la deuxième porté sur la présentation des résultats obtenus et leurs interprétations.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur l'huile de soja**

### I.1. Définition

L'huile de soja est l'une des huiles comestibles la plus populaire et la plus utilisée dans le monde. Cette huile végétale est riche en acides gras polyinsaturés et monoinsaturés (AGPI, AGMI) et pauvre en acides gras saturés et en acides gras trans. L'huile de soja est considérée comme plus saine que les autres de sa variété d'acides gras essentiels nécessaires à un régime alimentaire sain (Poiana *et al.*, 2016).

### I.2. Composition de l'huile de soja

L'huile de soja est une huile végétale extraite des graines de soja (*Glycine max*), reconnue comme l'huile végétale la plus courante et la plus saine, car elle contient une grande quantité d'acides gras polyinsaturés, notamment les acides linoléique (47 %) et linoléique (26 %). En outre, l'huile est une source d'acides gras polyinsaturés. En outre, l'huile est une source d'acides gras monoinsaturés et saturés, à savoir l'acide oléique (12 %), palmitique (9 %) et stéarique (4 %) respectivement (Olagunju, 2022). La composition en acides gras de l'huile de soja est présentée dans le tableau I.

**Tableau I** : Composition en acide gras de l'huile de soja (% en poids) (Claude, 2013).

Acide gras	En poids (%)
Acide palmitique 16 :0	8-13
Acide stéarique 18 :0	2-5
Acide oléique 18 :1 (n-9)	17-26
Acide linoléique 18 :3 (n-6)	50-62
Acide linoléique 18 :3 (n-3)	4-10
Acide arachidique 20 :0	<1

### I.3. Technologie de l'obtention de l'huile brute

Le procédé d'extraction de l'huile brute est résumé dans la figure 01:

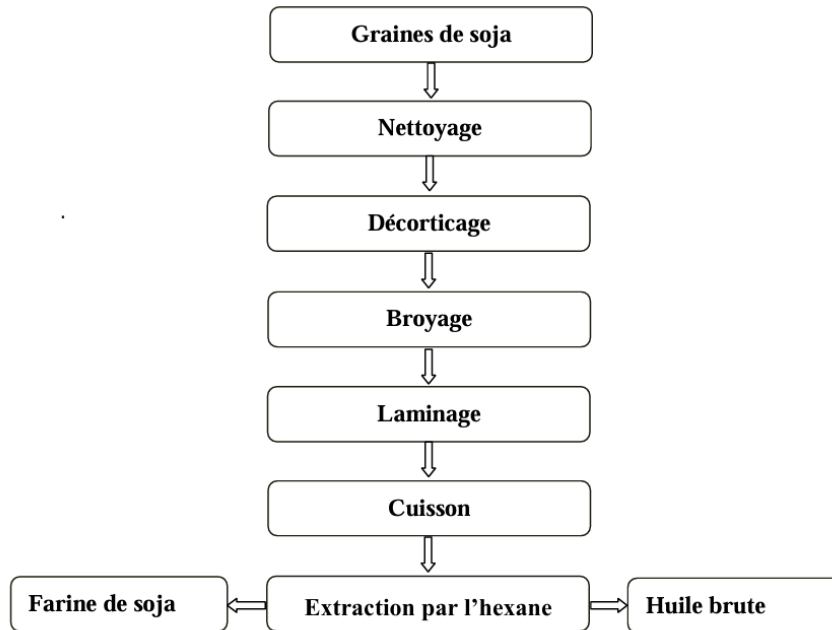


Figure 1 : procédé d'extraction de l'huile brute (Multon, 2002).

#### I.4. Raffinage de l'huile de soja

Le processus de raffinage, qu'il soit physique ou chimique, permet l'élimination de substances inacceptables, telles que les phospholipides, les acides gras libres (AGL) et les pigments, qui peuvent conduire à un produit de qualité inférieure du produit final (Costa *et al.*, 2010).

Le rôle du raffinage est d'éliminer les produits indésirables par des méthodes physiques ou chimiques. Le processus le plus courant et le plus fiable pour obtenir une huile de soja de haute qualité est le raffinage chimique. Cela se déroule en plusieurs étapes (Bauer *et al.*, 2010).

Le raffinage nécessite plusieurs étapes : dégommeage, neutralisation, lavage, séchage, décoloration et désodorisation. Chaque étape joue un rôle essentiel et spécifique dans l'élimination des composés indésirables (Jamoussi *et al.*, 2022).

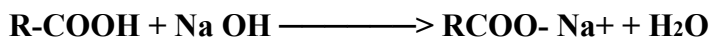
##### I.4.1. Démucilagination ou dégommeage :

La démucilagination est la première étape du raffinage, avec pour objectif d'éliminer les phospholipides (PL) et autres substances mucilagineuses (Yu *et al.*, 2012 ; Motri *et al.*, 2021). Cette étape permet de réduire le taux de phosphore à un niveau bas (< 10 ppm) avant de passer aux

étapes suivantes (**Chew *et al.*, 2017**). Il existe plusieurs méthodes de dégommeage : à l'eau, à l'acide et enzymatique (**Motri *et al.*, 2021**). Le procédé le plus courant consiste à disperser des acides forts (acide phosphorique, acide citrique) dans l'huile brute pour séparer les mucilages, principalement composés de phospholipides hydratables et non hydratables (**Bauer *et al.*, 2010 ; Motri *et al.*, 2021**). Le mécanisme implique l'ajout d'eau à l'huile brute, induisant la formation de précipités à l'interface huile-eau par combinaison des groupements polaires des phospholipides avec l'eau (**Motri *et al.*, 2021**). Les formes non hydratables des phospholipides peuvent réagir avec les acides forts pour former des sels monovalents hydratables qui précipitent (**Zufarov *et al.*, 2008**).

#### **I.4.2. Neutralisation :**

La neutralisation à la soude est une étape qui consiste principalement à éliminer les acides gras libres sous forme du savon (**Evrard *et al.*, 2007**), communément appelés pâtes de neutralisation ou soapstocks, qu'on élimine par centrifugation et ne devrait pas dépasser 3% dans les huiles brutes (**Bauer *et al.*, 2010 ; Ghazani et Marangoni, 2013**).



#### **I.4.3. Lavage et séchage :**

Le lavage s'effectue avec l'eau chaude à 90°C, dans le but d'éliminer complètement le savon, l'excès de soude, les dernières traces des métaux et les phospholipides par centrifugation. Cette opération est plus efficace lorsqu'un deuxième lavage est effectué (**Bauer *et al.*, 2010**).

Le séchage est nécessaire pour éliminer l'humidité présente dans l'huile par pulvérisation dans un sécheur sous vide (**Ghazani et Marangoni, 2013**), afin d'éviter le colmatage rapide des filtres et assurer le bon déroulement des étapes suivantes de raffinage (**Bauer *et al.*, 2010**).

#### **I.4.4. Décoloration :**

La décoloration ou « blanchiment » elle vise à éliminer les pigments responsables de la couleur foncée indésirable (chlorophylle, caroténoïdes) par voie physique en utilisant des agents décolorants (terres décolorantes, charbons actifs, etc.) (**Bauer *et al.*, 2010**).

#### **I.4.5. Désodorisation :**

La désodorisation consiste à éliminer les substances volatiles indésirables par distillation, à la vapeur d'eau sous vide, très poussée (**Régis *et al.*, 2016**). Cette dernière est indispensable à la fin de processus du raffinage pour améliorer la qualité et le goût de l'huile végétale (**Jamoussi *et al.*, 2022**).

**I.5. Les altérations des huiles végétales raffinées**

L'altération des huiles alimentaires constitue un problème majeur en industrie des corps gras. En effet, il est évident que l'oxydation des huiles conduit en général à des conséquences indésirables, en portant préjudice aux qualités organoleptiques, nutritionnelles et dans des conditions extrêmes, des substances toxiques peuvent se former.

**I.5.1. Altération biologique**

Les huiles végétales, dont l'huile de soja, sont généralement moins affectées par les micro-organismes que d'autres types d'aliments. Elles subissent principalement des modifications d'ordre physique et chimique plutôt que des altérations microbiologiques. **(Guiraud, 2003).**

**I.5.2. Altération chimique**

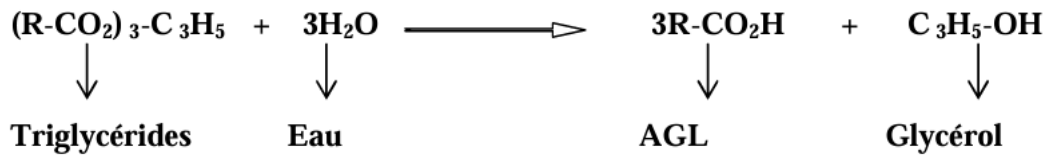
L'hydrolyse et l'oxydation sont les principales voies d'altération des lipides au cours de la production, du stockage et de la transformation des huiles. Ces modifications diminuent la durée de stockage, altèrent la qualité organoleptique, nutritionnelle et la sécurité alimentaire de ces aliments **(choe *et al.*, 2006).**

**a) Hydrolyse :**

L'hydrolyse des triacylglycérols (triglycérides) implique la rupture des liaisons esters par l'eau, produisant des acides gras et des composés avec des groupes hydroxyles. **(Pérez *et al.*, 2017).** Cette hydrolyse des lipides peut se produire de deux manières :

Voie "hydrothermale" : Comme dans le cas des huiles de friture, l'apport d'eau (par l'alimentation) entraîne l'hydrolyse, et l'évaporation de l'eau emporte avec elle des produits volatils. **(Perrin, 1992)** ; Voie "enzymatique" : Les lipases bactériennes et fongiques agissent à l'interface eau-huile et hydrolysent les liaisons esters des glycérides, libérant des acides gras, diglycérides et monoglycérides. L'hydrolyse enzymatique nécessite une bonne dispersion du milieu pour que les lipases puissent agir efficacement. Lors du raffinage des huiles, ces enzymes sont dénaturées **(Allen et Hamilton, 1999).**





### b) Isomérisation :

À des températures élevées (supérieures à 200°C), les doubles liaisons des AGPI subissent des réactions d'isomérisation. Ces réactions d'isomérisation forment le plus souvent des systèmes de doubles liaisons conjuguées. Les doubles liaisons migrent alors vers une configuration géométrique trans, plus stable que la forme cis. Cette isomérisation des AGPI se produit généralement au cours de la désodorisation des huiles végétales (Chardigny *et al.*, 2005).



### c) Polymérisation et cyclisation :

Elles sont responsables du réarrangement inter et intramoléculaires qui sensibilisent l'huile utilisée pour frire, cuire ou rôtir certains aliments à l'oxydation et conduisent à l'augmentation de sa viscosité apparente. La polymérisation est un critère pertinent pour la détérioration des huiles ; elle peut être inhibée par les antioxydants (Prior, 2003).

#### Réactions de polymérisation :

Acides gras insaturés (RCH=CHR') + Acides gras insaturés (R'CH=CHR) → Dimères/Oligomères d'acides gras (R-CH-CH-R')

#### Réactions de cyclisation :

Acides gras insaturés (RCH=CHR') → Composés cycliques (structures à 5 ou 6 chaînons)

### d) Oxydation :

Tous les CG subissent au cours de leur conservation ou de leur utilisation des altérations oxydatives. Les principaux composés oxydables sont les AGI, à l'état libre ou estérifiés en TG, au contact de l'oxygène et de l'air, le radical libre formé à partir des AGI s'oxyde en radical peroxyde puis en hydro-peroxyde. (Graille, 2003). Le phénomène d'oxydation des AG, conduit à une

dégradation organoleptique, avec l'apparition d'une flaveur caractéristique «rance» qui modifie la qualité marchande du produit (**Bonnefils, 2005**).

Tous les acides gras (CG), qu'ils soient libres ou estérifiés en triglycérides (TG), sont sujets à des altérations oxydatives lors de la conservation ou de l'utilisation des huiles (**Graille, 2003**).

Les acides gras insaturés (AGI) sont les principaux composés oxydables. Au contact de l'oxygène et de l'air, ils forment des radicaux libres qui s'oxydent en radicaux peroxydes puis en hydroperoxydes (**Graille, 2003**). Ce phénomène d'oxydation des acides gras conduit à une dégradation organoleptique, avec l'apparition d'une saveur rance caractéristique, ce qui dégrade la qualité marchande du produit (**Bonnefils, 2005**).

L'auto-oxydation qui est catalysée par la température, les ions métalliques et les radicaux libres. La photo-oxydation qui est initiée par la lumière en présence de photo-sensibilisateurs. L'oxydation enzymatique qui est initiée par la lipoxygénase et la cyclooxygénase. (**Eymard, 2003**).

- **Auto-oxydation :**

L'auto-oxydation altère les huiles alimentaires par dégradation des AGE, dont les conséquences sont une baisse de la valeur nutritionnelle et la formation de produits de décomposition. Ces derniers leur donnent une odeur et une flaveur indésirables, voir une certaine toxicité (**Pokorney, 2003**). L'auto-oxydation des lipides est une réaction autocatalytique. Elle s'agit d'un enchainement de réactions radicalaires se déroulant en trois étapes (**Eymard, 2003**)

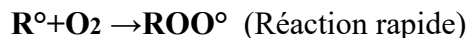
- ✓ **Initiation** (amorçage)

L'initiation primaire correspond à la formation de radicaux libres. Un radical libre est une molécule possédant un électron non apparié, souvent noté  $R^\circ$ . Les acides gras insaturés (RH) perdent un atome d'hydrogène pour former un radical libre centré sur le carbone ( $R^\circ$ ), appelé radical alkyle. Cette réaction nécessite une énergie d'activation élevée et est catalysée par la lumière, la chaleur et les ions métalliques, selon la réaction :  $RH \rightarrow R^\circ + H^\circ$ .

La vitesse de la réaction d'initiation augmente avec le degré d'insaturation des lipides, la température et l'énergie des radiations ionisantes ou solaires (**Pokorny, 2003**). Lorsque la teneur en peroxydes s'accroît, on observe une oxydation dite secondaire qui résulte de la décomposition de ces peroxydes.

- **Propagation**

Le radical libre formé ( $R^\circ$ ) très réactif, fixe une molécule d'oxygène et forme un radical libre peroxyde instable ( $ROO^\circ$ ) (2) qui peut réagir avec une nouvelle molécule d'acide gras (RH) pour former un hydro-péroxyde non radicalaire plus stable (ROOH) (3) (**Judde, 2004**) ;



- **Terminaison**

Pendant cette phase, les espèces radicalaires réagissent entre elles pour donner des espèces non radicalaires (aldéhydes, cétones, époxydes...) mettant ainsi fin aux cycles réactionnels selon la réaction suivante :



**e) Photo-oxydation**

La photo-oxydation est une voie importante de production d'hydroperoxydes, en présence d'oxygène, de lumière et de photo-sensibilisateurs (hémoprotéines, riboflavine, etc.).

Il existe deux types de photo-oxydation : (**Judde, 2004**).

**La photo-oxydation directe** : la lumière accélère les cinétiques des réactions d'oxydation, sans changer les mécanismes chimiques.

**L'oxydation photo-sensibilisée** : un agent photo-sensibilisateur (chlorophylle, colorants, vitamines) active l'oxygène de l'air, le faisant passer de son état fondamental "triplet" à un état excité "singulet". Cet oxygène actif peut alors se fixer directement sur les acides gras, sans passer par l'étape radicalaire. Les mécanismes réactionnels et les produits formés sont alors différents.

**f) Oxydation enzymatique**

Le phénomène d'oxydation des acides gras insaturés des fruits oléagineux peut être d'origine enzymatique. L'enzyme principalement impliquée est la lipo-oxygénase (**Aissi et al.**,

**2011).** La lipo-oxygénase catalyse l'insertion d'une molécule d'oxygène sur un acide gras insaturé selon une réaction stéréospécifique, et aboutit à la formation d'hydro-péroxyde. Elle agit spécifiquement sur les acides gras non estérifiés.

**g) Alteration thermo-oxydative :**

Les corps gras alimentaires, dont les huiles végétales, peuvent subir différents traitements thermiques, que ce soit lors du raffinage ou lors de leur utilisation (cuisson, friture, etc.). En présence d'air, ces traitements thermiques entraînent de nombreuses transformations et modifications chimiques des corps gras. Ces altérations résultent :

De la destruction des liaisons insaturées ; De l'addition d'oxygène aux molécules ; De la scission des triglycérides en acides gras libres et en composés ayant une chaîne plus courte. (**Grandgirard, 1992**).

## **I.6. Facteurs influençant l'oxydation**

Les facteurs qui influencent l'oxydation sont nombreux. Il s'agit de facteurs intrinsèques tels que la composition en AG des lipides (nombre et position des insaturations oxydants ions métalliques, enzymes, etc.) ou d'antioxydants naturels (tocophérols, caroténoïdes, etc.) et des facteurs externes tels que la température, le pH, la lumière, la pression partielle en oxygène, l'activité de l'eau, les conditions de stockage et de transformation.

### **I.6.1. Teneur en oxygène**

La teneur en oxygène est le facteur prépondérant, car cette molécule initie ces réactions d'oxydation. Pour assurer une bonne conservation des aliments riches en lipides, il faut les placer sous emballage non poreux et en atmosphère pauvre en oxygène (**Frenot et Vierling, 2001**).

### **I.6.2. Température**

Une élévation de la température favorise l'oxydation des lipides. Cette dernière est d'autant plus rapide que la température est importante (l'abstraction des hydrogènes allyliques et la décomposition des hydro-péroxydes en produits secondaires sont favorisés). L'effet de la température sur l'oxydation des lipides est complexe et dépend toutefois de la concentration en oxygène dans le milieu (**Frenot et Vierling, 2001**).

**I.6.3. Présence d'agents antioxydants**

Les aliments contiennent soit naturellement, soit sous forme d'additif, des molécules plus oxydables que les lipides, qui sont les tocophérols, l'acide ascorbique, les acides aminés soufrés et les protéines complexent les métaux pro-oxydants (**Frenot et Vierling, 2001**). Ainsi que, ces molécules permettent de stopper la phase de propagation de l'autooxydation et augmentent les cinétiques de la réaction de terminaison pour protéger les AG de l'oxydation (**Graille, 2003**).

**I.6.4. Présence d'agents pro-oxydants**

La présence des métaux activateurs des oxydations tels que le fer, cuivre et manganèse, peut accélérer la décomposition des lipides (**Graille, 2003**).

**I.6.5. Teneur en acides gras libres**

Les acides gras libres, du fait de leur dispersion plus grande, sont plus sensibles à l'oxydation que les estérifiés. Les lipases accélèrent l'oxydation des AG des TG (**Frenot et Vierling, 2001**).

**I.6.6. Activité de l'eau**

L'activité de l'eau ( $A_w$ ) peut avoir un effet dual sur la vitesse d'oxydation des lipides :

Elle peut l'augmenter en augmentant la mobilité des réactants. Elle peut également la ralentir en retardant la décomposition des hydroperoxydes et en diluant les catalyseurs et inhibiteurs. La stabilité maximale des lipides est observée pour des  $A_w$  comprises entre 0,2 et 0,4. Au-delà d'une  $A_w$  de 0,7, la vitesse d'oxydation des lipides diminue (**Sekour, 2012**). L'activité antioxydante de l'eau s'explique par sa capacité à convertir les sels de métaux lourds en hydrates, diminuant leur solubilité dans les huiles (**Djioua et Hadouchi, 2003**). La formation de liaisons hydrogène entre les molécules d'eau et les hydroperoxydes (**Djioua et Hadouchi, 2003**).

# **Chapitre II**

## **Généralités sur l'emballage alimentaire**

L'emballage alimentaire joue un rôle crucial dans la préservation de la qualité et de la sécurité des produits alimentaires. Il est essentiel de comprendre les interactions entre l'emballage et les aliments pour garantir leur intégrité et leur fraîcheur tout au long de la chaîne d'approvisionnement ; Selon la directive européenne 94/62/CE, l'emballage est défini comme : tout produit constitué de matériaux de toute nature, destiné à contenir et à protéger des marchandises données, allant des matières premières aux produits finis, à permettre leur manutention et leur acheminement du producteur au consommateur ou à l'utilisateur, et à assurer leur présentation (Debeaufort *et al.*, 2022).

Les matériaux d'emballage alimentaire les plus courants sont : les plastiques, le verre, le papier, le carton, le métal et le bois. Chacun de ces matériaux a des avantages et des inconvénients spécifiques qui doivent être pris en compte afin de sélectionner le matériau le plus approprié pour le produit alimentaire, cosmétique ou pharmaceutique visé.

## II. Les types d'emballages

### II.1. Le polyéthylène téréphtalate (PET)

#### II.1.1. Définition du PET

Le polyéthylène téréphtalate (PET) est un polymère semi-cristallin appartenant à la famille des polyesters thermoplastiques, considéré comme un excellent matériau pour de nombreuses applications. Il est largement utilisé pour la fabrication des bouteilles. La raison de cette évolution est que le PET présente une excellente résistance aux chocs, une résistance chimique, une clarté, un poids très faible des bouteilles par rapport aux bouteilles en verre, une bonne barrière aux gaz et une faible absorption d'humidité (Al Rayes, 2013).

**II.1.2. Synthèse de PET :** Le polyéthylène téréphtalate (PET) est un polyester linéaire dont l'unité de répétition est représentée dans la figure 02.

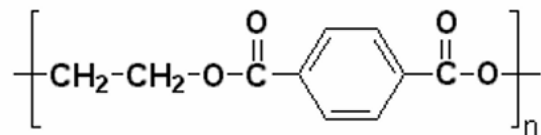


Figure 2 : Motif de répétition du polyéthylène téréphtalate (Naït-Ali, 2008).

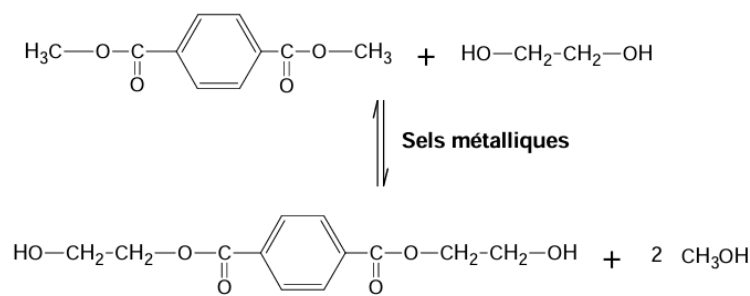




température en cours de réaction. Cela génère des réactions secondaires qui peuvent modifier fortement les propriétés du polymère obtenu (Al Rayes, 2013).

**b) Transestérification**

Quand les réactifs (DMT et EG) sont en présence, le mélange est porté à une température variante entre 160 et 180°C, sous vide. L’addition d’un catalyseur (sel métallique) est nécessaire. Lorsque le rapport [EG]/[DMT] (diméthyle téréphthalate) est compris entre 1,7 et 2, le catalyseur est désactivé pour éviter une augmentation de la vitesse de dégradation thermique du polymère. A la fin de la réaction, les excès en EG et en méthanol sont distillés (Naït-Ali, 2008).



**Figure 4:** Réaction de transestérification entre le diméthyle téréphthalate et l’éthylène glycol (Naït-Ali, 2008).

**II.1.3. Propriétés du PET**

Le PET possède une bonne résistance aux produits chimiques, une faible perméabilité aux gaz et à la vapeur d’eau, un faible poids moléculaire, une remarquable résistance aux chocs et un procédé de recyclage assez facile à mettre en œuvre. On peut classer ces propriétés en quatre types (Ceretti *et al.*, 2010).

**a) Propriétés barrières**

Le PET semi-cristallin est bien connu pour sa faible perméabilité aux gaz et à certains solvants. A titre d’exemple la faible perméabilité aux gaz est une qualité importante dans le cadre de la fabrication de bouteilles contenant des sodas ou des boissons gazeuses, dont il est indispensable de préserver le plus longtemps possible la nature gazeuse (Nistico, 2020).

**b) Propriétés thermiques**

L'analyse thermique du PET par DSC (Differential Scanning Calorimetry ou Analyse Thermique)

La première transition, vers 75°C, correspond à la température de transition vitreuse (T<sub>g</sub>) du PET. Cela marque un changement dans la mobilité moléculaire des chaînes de la phase amorphe. Au-delà de cette température, le PET devient caoutchoutique.

La seconde transition, vers 145°C, correspond à une recristallisation du PET amorphe. Cette transition exothermique est observée pour des matrices avec un faible taux de cristallinité initial, et disparaît progressivement lorsque le taux de cristallinité augmente.

Enfin, la troisième transition, entre 260-270°C, est une transition endothermique correspondant à la fusion du polymère. La rigidité des chaînes, due à la présence de cycles aromatiques, explique le point de fusion élevé du PET par rapport aux polyesters aliphatiques. Cette température de fusion élevée confère une bonne stabilité thermique au PET en l'absence de contraintes. L'analyse thermogravimétrique montre que la masse du PET change entre 320 et 500°C et qui est dû à la dégradation du PET (Al Rayes, 2013).

**c) Propriétés thermomécaniques**

Le PET, principalement utilisé à température ambiante, se présente dans un état vitreux et apparaît donc comme un matériau rigide. L'extrusion et l'injection de ce polymère se font généralement à une température supérieure à la température de fusion où les chaînes de ce polymère sont suffisamment mobiles (Al Rayes, 2013).

**II.1.4. Dégradation du PET**

Le PET peut subir différents types de dégradation qui peuvent altérer ses propriétés

**a) Dégradation thermique**

La dégradation thermique est une dégradation due à une forte température en absence d'oxygène. Elle forme divers types de regroupements finis sur la chaîne des polymères comme les carboxyles, ce qui entraîne la formation des acétaldéhydes (Nistico, 2020).

**b) Dégradation hydrolytique**

La dégradation hydrolytique du PET implique la coupure des liaisons esters présentes dans la structure du polymère. Ce processus est initié par l'attaque nucléophile de l'eau sur les groupements carbonyles des liaisons esters. Cette réaction engendre la formation d'acide téréphtalique et d'éthylène glycol, qui sont les monomères constitutifs du PET (**Pirzadeh *et al.*, 2007**).

**c) Dégradation thermo-oxydative**

L'agent responsable de la dégradation thermooxydative des polymères est l'oxygène. Ce processus conduit à la formation des hydro-péroxydes thermiquement instables au niveau des groupements méthylènes (**Panowicz *et al.*, 2021**).

**Photo-dégradation**

L'exposition du PET aux rayonnements ultraviolets (UV) induit la formation de radicaux libres réactifs au sein du polymère. Ces radicaux peuvent ensuite réagir avec l'oxygène présent pour former des espèces oxydantes telles que des hydroperoxydes. Les réactions en chaîne provoquées par ces espèces oxydantes entraînent la coupure des chaînes polymériques (**Dumazert *et al.*, 2021**).

**II.2. Le Tetra Pak****II.2.1. Définition du tetra pak**

Tetra Pak est un matériau en carton multi-laminé composé d'une double couche extérieure de carton (environ 75 % en poids), d'un noyau en feuille d'aluminium (~5 % en poids) et d'une couche intérieure en polyéthylène basse densité (LDPE). (~20 % en poids) (**Platnieks *et al.*, 2020**). En raison de ses excellentes propriétés barrières, ses bonnes propriétés de flexion, sa légèreté et sa facilité tetra Pak est couramment utilisé pour produire des emballages alimentaires aseptiques dans le but de conserver une large gamme de produits alimentaires, du lait aux boissons en passant par les jus et les nectars, (**Ekere *et al.*, 2022**).

**II.2.2. Les différentes couches qui composent les briques de Tetra pak**

**Le carton** : fournit une résistance mécanique et une stabilité à l'emballage.

**La couche intérieure d'aluminium** : joue un rôle crucial pour prévenir l'oxydation et protéger les produits alimentaires de la lumière. (Baskoro *et al.*, 2017), évitant ainsi la photodégradation (Guan *et al.*, 2022).

**La couche de PEBD** : la couche de polyéthylène basse densité (PEBD) dans les emballages Tetra Pak est essentielle pour assurer l'étanchéité, la protection contre l'oxygène et la lumière, la flexibilité, la sécurité alimentaire et la recyclabilité des emballages.

Elle est fondamentale pour assurer l'adhérence entre les couches et pour protéger les matériaux de l'humidité extérieure, responsable de l'altération des aliments (Vilarinho *et al.*, 2021 ; Ekere *et al.*, 2022). De cette manière, les produits alimentaires peuvent être facilement distribués et stockés dans des conditions ambiantes, jusqu'à six mois ou plus. (Korkmaz *et al.*, 2009)

# **Partie pratique**

# **Matériel et méthodes**

## Objectif de l'étude

Cette étude a pour but de suivre les caractéristiques physicochimiques et la stabilité d'une huile de soja de marque « Elio » produite par CEVITAL, conditionnée à une température de 40°C dans deux types d'emballage PET et Tetra Pak, à deux niveaux de remplissage. Cette étude a été effectuée au niveau du complexe CEVITAL, laboratoire de biochimie et département de génie des procédés de l'université de Bejaia. Cette étude nous permettra d'évaluer l'impact du type d'emballage et du niveau de remplissage sur la stabilité et la qualité de l'huile de soja au cours du temps.

## I. Echantillonnage

Un échantillon d'huile raffinée de soja produite par Cevital a fait l'objet de cette étude. Cette huile a été conditionnée dans deux emballages différents le tetra pack et le polyéthylène tetraptalate (PET), un échantillon a été rempli totalement et un autre à moitié. Ces huiles ont été étuvées à 40°C pendant 70 jours. Des prélèvements ont été effectués tous les 10 jours pour analyse.

Les échantillons analysés dans cette étude sont désignés comme suite :

- Pour l'huile emballée en PET :

Une bouteille en PET remplie à plein (**PETr**) et Une bouteille en PET remplie à moitié (**PETm**)

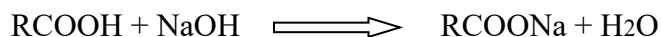
- Pour l'huile emballée en tetra Pak :

Une brique de tetra Pack remplie à plein (**TETRAr**) et une brique de tetra Pak remplie à moitié (**TETRAm**).

## II. Analyses physico-chimiques

### II.1. Acidité :

La neutralisation des acides gras par une base en présence de phénol phtaléine a lieu selon la réaction suivante



La méthode décrite par (**ISO 660 Quatrième édition mars-20**) a été adoptée dans laquelle un volume de 75 ml d'alcool neutralisé (éthanol + phénolphtaléine + NaOH) est placé dans un erlenmeyer de 250ml. Une quantité de 10g d'huile à analyser est ajoutée. L'ensemble est chauffé

sur une plaque chauffante avant d'être titré avec le NaOH jusqu'à apparition d'une couleur rose persistante.

L'acidité est donnée par la formule suivante :

$$A\% = (N \times V \times M) / 10 \times m$$

**A** : Acidité de l'huile en %.

**N** : Normalité de NaOH (0.1N).

**V** : Volume de NaOH (ml).

**m** : Poids de la prise d'essai (m = 10g).

**M** : équivalent gramme de l'acide oléique (masse molaire de l'acide oléique M=282g/mol).

## II.2. Humidité et matières volatiles

La méthode décrite par (ISO 662 Troisième édition avril-16) a été adoptée dans laquelle une masse de 20g d'huile est placée dans un bécher préalablement séché et pesé ( $M_0$ ). Le bécher contenant la prise d'essai est ensuite mis dans l'étuve pendant 1 heure à 103°C puis refroidi dans un dessiccateur avant d'être repesé.

le taux d'humidité est donné par cette formule :

$$\text{Humidité et matières volatiles} = (P_1 - P_2) 100 / M$$

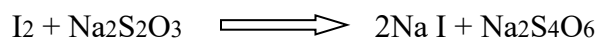
**P<sub>1</sub>** : est le poids du cristalliseur avec la matière grasse avant étuvage.

**P<sub>2</sub>** : est le poids du cristalliseur avec la matière grasse après étuvage.

**M** : masse de la prise d'essai.

## II.3. Indice de peroxyde

L'analyse d'une prise d'essai, en solution dans l'acide acétique et du chloroforme par une solution d'iodure de potassium, titrage de l'iode libéré par une solution de thiosulfate de sodium, se fait par la réaction suivante :





La méthode décrite par (**ISO 3960 Cinquième édition février-17**) a été adoptée dans laquelle une quantité de 5g d'huile a été additionnés de 12 ml de chloroforme, 18 ml d'acide acétique et 1ml d'une solution d'iodure de potassium Le mélange est agité pendant 1min et laissé reposer 1min à l'abri de la lumière, à une température comprise entre 15 et 20°C. Ensuite, 75ml d'eau distillée et quelques gouttes d'empois d'amidon ont été ajoutés. L'iode libéré est titré avec une solution de thiosulfate de sodium  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  à 0,01N.

L'indice de peroxyde est calculé par la formule suivante :

$$\text{Indice de peroxyde} = (V_1 - V_0) \times N \times 1000 / M$$

$V_0$  : le volume de thiosulfate de sodium en utilisé pour le blanc

$V_1$  : le volume de thiosulfate de sodium en ml utilisé pour l'essai

$N$  : la normalité de thiosulfate de sodium

$M$  : la masse de la prise d'essai en grammes

#### II.4. Indice d'iode

Cette réaction d'addition est utilisée pour déterminer quantitativement le degré d'insaturation des corps gras.

La méthode décrite par (**ISO 3961 Sixième édition aout-18**) a été adoptée dans laquelle une prise d'essai de 3g de d'huile est placée dans un flacon. 20ml de tétrachlorure de carbone ( $\text{CCl}_4$ ) et 25 ml du réactif de wijs (une solution de monochlorure d'iode  $\text{ICl}$ ) sont additionnés. Le mélange est agité et laissé reposer pendant une heure à l'abri de la lumière. Ensuite, 20ml d'iodure de potassium ( $\text{KI}$  à 10%) et 150ml d'eau distillée sont ajoutés. Après agitation, l'iode libéré est titré avec une solution de thiosulfate de sodium (0,1N) en présence d'empois d'amidon.

L'indice d'iode est calculé par la formule suivante :

$$\text{Indice d'iode} = (V_0 - V_1) 1,269 / P$$

$V_0$  : volume en ml du thiosulfate de sodium (0,1N) utilisé pour l'essai à blanc.

$V_1$  : volume en ml du thiosulfate de sodium (0,1N) utilisé pour titrer l'excès d'iode.

$P$  : masse de Prise d'essai d'iode qui correspond à 0,1ml de thiosulfate de sodium (0,1N).

**1,269**: Nombre de gramme d'iode.

### III. La chlorophylle

Cette méthode est applicable aux huiles neutralisées et blanchies mais ne l'est pas aux huiles hydrogénées et désodorisées.

La méthode décrite par (**méthode AOCS (6) méthode conventionnel**) a été adoptée dans laquelle l'huile est chauffée à 30°C et les absorbances sont lues à 630, 670 et 710nm par rapport au tétra chlorure de carbone.

La teneur en chlorophylle est calculée par la formule suivante :

$$\text{Chlorophylle en ppm} : [A_{670} - (A_{630} + A_{710}) / 2] / 0.0964 \times L$$

**A** : absorbance à la longueur d'onde indiquée.      **L** : longueur de la cuve en centimètre.

### IV. Test de stabilité oxydative : « rancimat »

Le principe du Rancimat consiste à vieillir prématurément les huiles et graisses par décomposition thermique. Les produits de dégradation apparaissant sont expulsés par un courant d'air et transférés dans la cellule de mesure remplie d'eau distillée. Le temps d'induction est déterminé par conductimètre. L'évaluation est effectuée de façon entièrement automatique. Pour déterminer la stabilité oxydative des huiles extraites, on a réglé le Rancimat à une température de 110°C et un débit d'air de 20L/h.

La méthode décrite par (**ISO 1996**) a été adoptée dans laquelle 70 ml d'eau distillée sont ajoutés 3 g d'huile dans le tube de Rancimat. La température de l'appareil est fixée à 110°C, le débit d'air à 20 L/h. le temps d'induction donné en heures est lu directement (**Rahmani, 2007**).

### V. Test de migration (FTIR)

La spectroscopie infrarouge (IR), est une méthode d'analyse structurale exploitant l'interaction entre la matière et la lumière infrarouge. C'est une technique d'analyse rapide permettant d'identifier les fonctions chimiques des molécules présentes dans les matériaux analysés qui apparaissent sous forme de bande d'absorption. Les spectres infrarouges des différents échantillons (huile et emballage), ont été enregistré à l'aide d'un spectrophotomètre infrarouge à transformée de fourrier (IRTF) de modèle **SHIMADZU FTIR-8400S** avec une résolution de 4 cm<sup>-1</sup> et dans la région 4000 cm<sup>-1</sup> à 400 cm<sup>-1</sup> avec un nombre de scans de 32 sur des films.

**Analyse statistique**

Une analyse statistique est réalisée pour la comparaison des résultats et la mise en évidence des différences significatives entre les échantillons, pour chaque paramètre en appliquant une analyse de la variance (ANOVA) suivie du test de 'Newman Keuls' à l'aide d'un logiciel STATISTICA 5.5. Le degré de signification des résultats est pris à la probabilité  $p < 0,05$ .

# **Résultats et discussions**

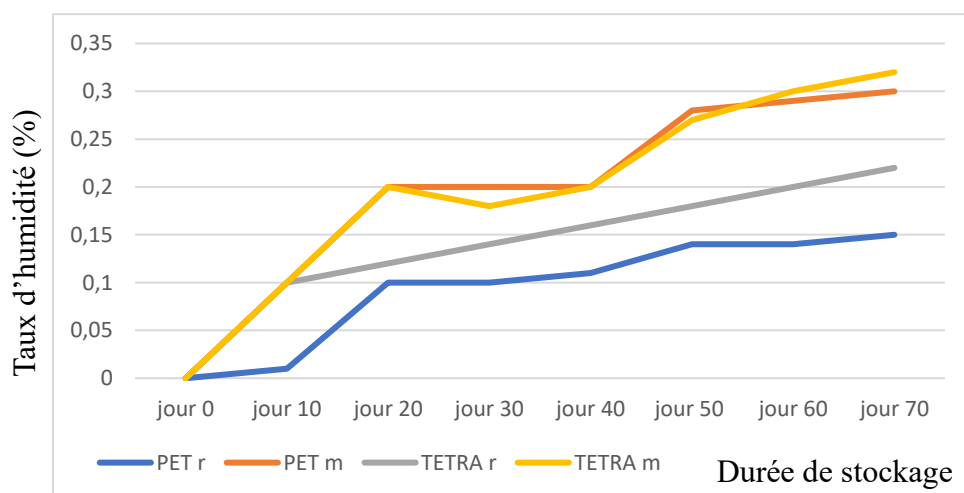
## I. Analyses physico-chimiques :

### I.1. Humidité

Les données présentées dans la **figure 05** montrent l'évolution de l'humidité d'une huile de soja conditionnée à 40°C dans différents types d'emballages sur une période de 70 jours.

L'analyse statistique a montré une différence significative de l'humidité entre les différents types d'emballages et niveaux de remplissage.

Avant étuvage à  $t=0$ , l'humidité était de 0% pour tous les échantillons d'huiles. Après 10 jours, une légère augmentation de l'humidité a été observée pour tous les échantillons. A partir du 20<sup>e</sup> jour, l'humidité a continué d'augmenter de manière plus prononcée dans le PET rempli à moitié (PETm) et les briques Tetra Pak remplies à moitié (TETRAm), atteignant 0,2% pour ces deux emballages. Vers la fin de la période d'étuvage (60 et 70 jours), les huiles conditionnées dans le PETm et le TETRAm ont marqué les niveaux d'humidité les plus élevés, 0,29% et 0,32%, Contre moins de 0,25% pour les huiles conditionnées dans les deux emballages à un niveau rempli.



**Figure 05:** évolution de l'humidité (%) des échantillons au cours de la durée de stockage

#### Effet de l'emballage et du niveau de remplissage sur l'humidité des huiles

- Parmi les emballages remplis à plein, le PETr a montré une meilleure résistance à l'absorption d'humidité par rapport au TETRAr.
- Le PET rempli à moitié (PETm) et la brique Tetra Pak remplie à moitié (TETRAm) ont permis une absorption d'humidité plus rapide que leurs homologues remplis à plein.

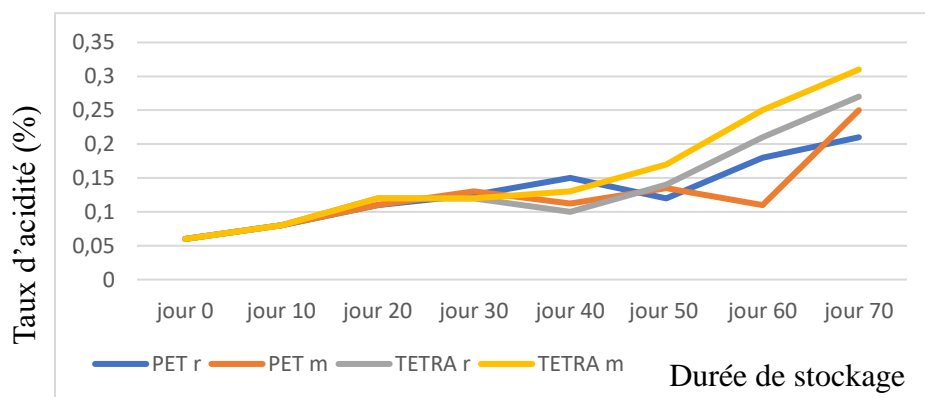
- En général, les emballages remplis à moitié ont été plus sensibles aux variations d'humidité, probablement en raison de l'espace d'air plus important à l'intérieur.

L'humidité est un facteur important pour prévenir l'oxydation des huiles. Dans cette optique, **Nayak et al. (2016)** ont montré que l'hydrolyse des triglycérides implique la rupture des triglycérides en présence d'eau et de vapeur. Produisant des acides gras libres. L'étendue de l'hydrolyse dépend de la température de l'huile, de la zone d'interface entre l'huile et la phase aqueuse, des quantités d'eau et de vapeur.

En conclusion, le choix de l'emballage et de son niveau de remplissage peut influencer de manière significative la capacité de l'huile de soja à maintenir un niveau d'humidité souhaité lors du stockage à des températures élevées.

## I.2. Acidité

L'indice d'acidité est un paramètre important pour évaluer la qualité et la stabilité des huiles végétales. Une augmentation de cet indice indique une dégradation de l'huile (**Judde, 2004**). Les résultats du suivi de l'acidité de l'huile de soja conditionnée à 40°C sont illustrés dans la **figure 06**



**Figure 06 :** Suivi de l'acidité (%) des échantillons au cours de la durée de stockage

L'analyse statistique montre une augmentation de l'acidité de l'huile au cours du stockage, et ce pour l'ensemble des échantillons étudiés. Cependant, une augmentation plus marquée est notée à partir du 40ème jour de stockage.

Les résultats montrent que l'huile conditionnée dans les briques Tetra Pack remplies à moitié (TETRAm) enregistre l'augmentation la plus importante d'acidité, atteignant une acidité de 0,31% au jour 70. En comparaison, les briques Tetra Pak remplies à plein (TETRAr) présentent

une acidité légèrement inférieure à 0,27% au jour 70. Le TETRAm n'est pas conforme à la norme de l'entreprise qui est 0,3% maximum.

D'autre part, les échantillons conditionnés dans les bouteilles en PET (PETr et PETm) affichent une acidité plus faible que les briques Tetra Pack pour tous les temps de stockage. Il apparaît clairement que, l'huile conditionnée en PET montre une augmentation importante de l'acidité à seulement 60j de stockage, mais qui ne dépasse pas les 0,25%. Alors que l'huile conditionnée dans l'emballage Tetra pack, montre une augmentation importante de l'acidité à partir du 40eme jours de stockage, pour atteindre à la fin de la période de stockage (70eme jour) une valeur de 0,27% et 0,32% pour Tetra r et Tetra m, respectivement. Cela suggère une meilleure conservation de l'huile dans les emballages en PET.

Les résultats mettent en évidence également, une oxydation plus marquée des huiles conditionnées dans des emballage remplis à moitié, et ce pour les deux types d'emballages étudiés.

#### **Analyse de l'influence du niveau de remplissage**

En effet, En comparant les échantillons remplis à plein et à moitié pour chaque type d'emballage, on constate que les emballages remplis à moitié (PETm et TETRAm) présentent une acidité plus élevée. Cela peut être attribué à la présence d'une plus grande quantité d'air dans les emballages partiellement remplis, favorisant l'oxydation de l'huile.

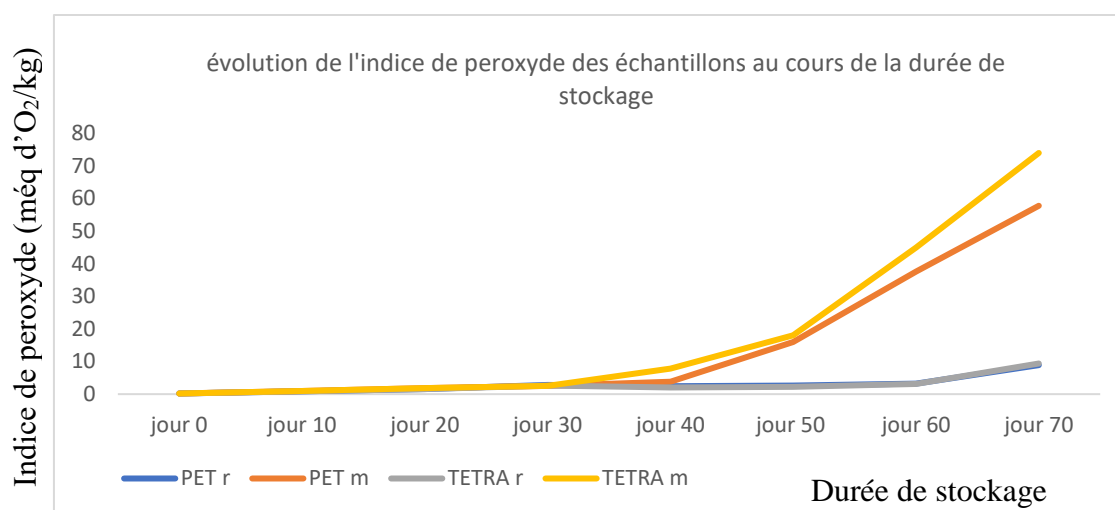
**Makni *et al.* (2015)** explique ce phénomène par l'hydrolyse des triglycérides favorisée par l'humidité et l'oxygène menant à une augmentation de l'acidité, lors de leur étude sur une huile de soja exposée à la lumière du jour et conservée à température ambiante dans différents récipients ayant la même surface d'exposition à l'air, soit dans des bouteilles en verre transparent, soit en verre opaque.

En conclusion, les résultats soulignent l'importance du choix de l'emballage et du niveau de remplissage pour assurer une meilleure conservation de l'huile de soja. Les emballages en PET remplis à plein semblent offrir la meilleure protection contre l'oxydation de l'huile.

### **I.3.Indice de peroxyde**

Les résultats de la mesure de l'indice de peroxyde sont présentés dans la **figure 07**. L'analyse statistique montre une augmentation de l'indice de peroxyde de l'huile au cours du

stockage, et ce pour l'ensemble des échantillons étudiés. Cependant, une augmentation plus marquée est notée à partir du 40ème jour de stockage.



**Figure 07** : évolution de l'indice de peroxyde des échantillons au cours de la durée de stockage.

Les résultats de l'étude de l'indice de peroxyde au jour 0 est de 0,2 méq d'O<sub>2</sub>/kg pour l'huile fraîche. Au cours des 30 premiers jours, l'indice de peroxyde augmente de manière similaire pour tous les échantillons, atteignant des valeurs comprises entre 2,5 méq d'O<sub>2</sub>/kg et 2,8 méq d'O<sub>2</sub>/kg.

Les échantillons conditionnés dans les bouteilles en PET (PETr et PETm) affichent un indice de peroxyde faible par rapport aux briques Tetra Pack pour tous les temps de stockage.

L'huile conditionnée dans les briques Tetra Pack remplies à moitié (TETRAm) enregistre l'augmentation la plus importante, atteignant un IP de 74 méq d'O<sub>2</sub>/kg au jour 70, indiquant une oxydation très avancée. Pour un même niveau de remplissage, l'huile conditionnée en PET enregistre un IP tout aussi important (58,4 méq d'O<sub>2</sub>/kg).

De ces résultats ressort l'impact du niveau de remplissage des contenants sur la stabilité des huiles. Il est cependant important de souligner que la norme d'entreprise en termes de valeur maximale est de 10 méq d'O<sub>2</sub>/kg, ce qui rend compte d'avantage du degré d'oxydation des huiles étudiées dans les conditions citées.

Les résultats suggèrent que les emballages remplis à plein (PETr et TETRAr) offrent une meilleure protection contre l'oxydation pour l'huile de soja que les emballages remplis à moitié



(PETm et TETRAm). Cela est dû à la présence d'une plus grande quantité d'air dans les emballages remplis à moitié, favorisant l'oxydation lipidique.

De plus, les briques Tetra Pak remplies à moitié (TETRAm) semblent être les plus sensibles à l'oxydation, avec l'indice de peroxyde le plus élevé à partir du jour 40. Cela est lié à des différences de perméabilité à l'oxygène entre les matériaux d'emballage. Selon **Marsh et Bugusu, (2007)** La perméabilité à l'air du PET se mesure par le taux de transmission de l'oxygène à travers le matériau. Cette valeur indique la quantité d'oxygène qui peut passer à travers l'emballage sur une période donnée. Plus ce taux est élevé, plus le PET laisse passer l'air et l'oxygène.

Une étude similaire sur ce point a été entreprise par **Kucuk et Caner, (2005)**, a démontré une moindre stabilité à l'oxydation de l'huile de tournesol conditionnée dans du polyéthylène téréphtalate (PET) avec un espace libre en comparaison à l'huile stockée dans le même matériaux d'emballage mais sans espace libre.

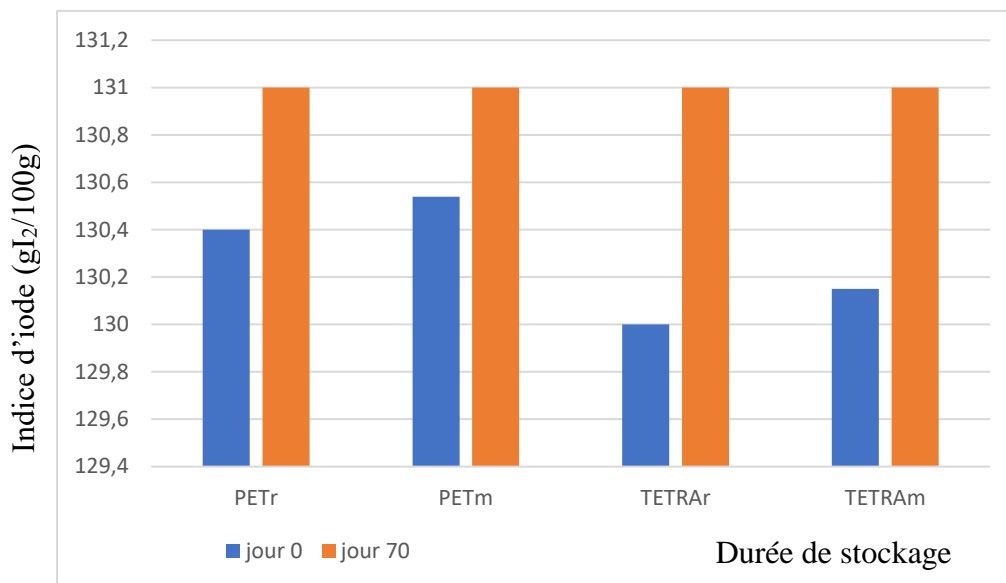
**Conclusion partielle :** il est recommandé d'utiliser des emballages opaques et étanches à l'air pour prolonger la durée de conservation de l'huile de soja et favoriser u remplissage à ras des contenants.

#### **I.4.Indice d'iode**

L'indice d'iode est un paramètre important qui indique le degré d'insaturation d'une huile. Une valeur plus élevée signifie une plus grande quantité d'acides gras insaturés (**Anwar et al., 2007**). Dans cette étude, l'indice d'iode initial de l'huile de soja était de 130 g d'I<sub>2</sub>/100g pour tous les échantillons d'huile de soja (**figure 08**)

L'analyse statistique montre qu'il n'y a aucune différence significative entre les valeurs de l'indice d'iode entre les échantillons.

Après 70 jours de stockage à 40°C, l'indice d'iode a augmenté pour atteindre 131 gI<sub>2</sub>/100g, indépendamment du type d'emballage ou du niveau de remplissage. Selon **Srivastava et al., (2017)**, une augmentation de l'indice d'iode peut être attribuée à l'oxydation des acides gras insaturés au cours du temps.



**Figure 08** : Indice d'iode des échantillons d'huile conditionnés en PET et en Tetra pack stockée à 40°C.

### Conclusion partielle

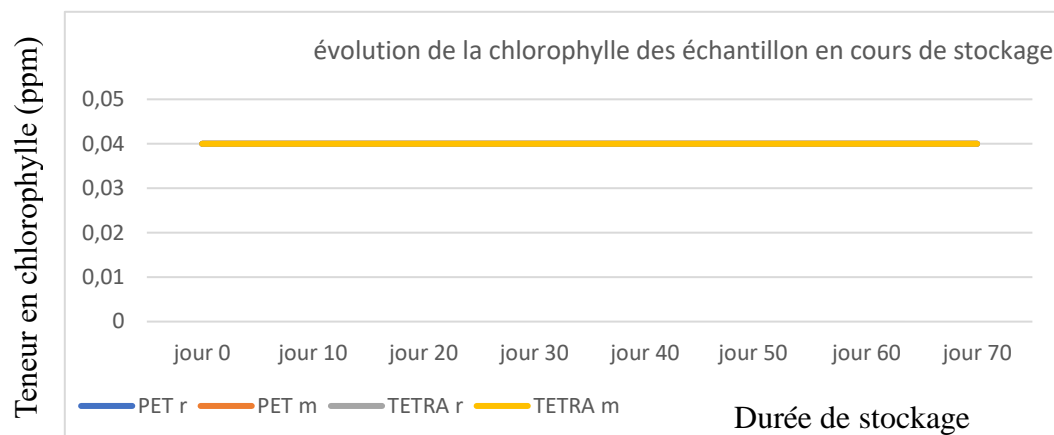
Les résultats suggèrent que le type d'emballage (PET ou Tetra Pak) et le niveau de remplissage n'ont pas eu d'impact majeur sur l'évolution de l'indice d'iode au cours de la période de stockage.

### II.La chlorophylle

Les résultats de **la figure 09** montrent que ni le type d'emballage (PET ou Tetra Pak), ni le niveau de remplissage (plein ou moitié) n'ont d'effet significatif sur l'évolution de la teneur en chlorophylle dans l'huile de soja stockée à 40°C pendant 70 jours

La valeur initiale de la teneur en chlorophylle de 0,04 ppm reste constante dans toutes les conditions testées.

La faible teneur en chlorophylle des échantillons étudiés témoigne sur l'efficacité du procédé de raffinage ; ce qui va garantir une durée de conservation plus longue. La stabilité de la chlorophylle dans l'huile de soja stockée à long terme à 40°C est liée à l'absence d'exposition à la lumière et à l'oxygène.



**Figure 09:** évolution de la chlorophylle des échantillons au cours de la durée de stockage

La chlorophylle est une molécule photosensible qui se dégrade rapidement en présence de lumière. De plus, les conditions anaérobies limitent l'oxydation de la chlorophylle par les radicaux libres. Ainsi, le stockage dans des emballages opaques permet de maintenir la teneur en chlorophylle stable dans l'huile de soja (**Chen et Sun, 2023**).

### III. Test de stabilité oxydative (rancimat)

La période d'induction ou l'indice de stabilité oxydative est l'une des méthodes utilisées pour évaluer la capacité d'une huile à résister à l'oxydation à des températures élevées. (**Tinnello et al., 2020**). La stabilité de l'huile est proportionnelle au temps d'induction, plus le temps d'induction est important, plus l'huile est stable (**Li et al., 2018**).

Les résultats de l'étude de la stabilité oxydative des échantillons d'huiles étudiées sont présentés dans le tableau II.

**Tableau II:** Temps d'induction des huiles en heures TIR (test de stabilité oxydative).

Échantillon	PETr	PETm	TETRAr	TETRAm
TIR(h)	8,62	0,08	8,38	4,06

Sachant que le temps d'induction (TIR) de l'huile de soja fraîche est de 14,32 heures, ce qui indique une bonne stabilité à l'oxydation initiale. En outre, le seuil minimal de stabilité à l'oxydation pour l'entreprise Cevital est de 12 heures. Sur cette base, il ressort de l'étude de la stabilité oxydative des échantillons d'huiles, après 70 jours de stockage à 40°C que :

Les échantillons d'huiles étudiées ont montré une réduction importante du temps d'induction en comparaison à une huile fraîche.

- ✓ L'échantillon PETr a un TIR de 8,62 heures, soit une diminution de 40% par rapport à l'huile fraîche.
- ✓ L'échantillon PETm a un TIR de seulement 0,08 heure, soit une chute de 99,4% par rapport à l'huile fraîche. Cela indique une très faible stabilité à l'oxydation, sinon que l'huile analysée a été déjà au préalable oxydé.
- ✓ L'échantillon TETRAr a un TIR de 8,38 heures, soit une diminution de 41% par rapport à l'huile fraîche,
- ✓ L'échantillon TETRAm a un TIR de 4,06 heures, soit une baisse de 72% par rapport à l'huile fraîche

Les résultats montrent que le stockage à 40°C pendant 70 jours a fortement affecté la stabilité à l'oxydation des échantillons, avec des réductions importantes du temps d'induction.

Il apparait clairement que les échantillons PETr et TETRAr ont mieux résisté à l'oxydation que les échantillons PETm et TETRAm, ce qui indique que les échantillons PETm et TETRAm ne seraient pas adaptés pour une utilisation à haute température en raison de leur faible stabilité à l'oxydation.

La combinaison de la température élevée, de la durée de stockage prolongée et des paramètres physico-chimiques initiales de l'huile a entraîné une diminution significative de la stabilité oxydative des échantillons, plus marquée pour certains d'entre eux.

L'étude publiée par **Farhoosh *et al.*, (2013)**, sur la stabilité oxydative des huiles de soja, de colza et d'olive soumises à des conditions de friture à 180°C pendant 8 heures a montré que le TIR des huiles a diminué de 8,7 heures à 2,1 heures, après 4 heures de fritures, il n'est que 0,9 heures (90%) de diminution après 8 heures de fritures. En comparaison à ces résultats. Il est possible de conclure que les huiles conditionnées à moitié dans le Tetra m et PET m présentent la même stabilité

oxydative qu'une huile soumise à 8h de friture, démontrant ainsi la mauvaise condition de stockage des huiles en emballage remplis à moitié.

Ces résultats soulignent l'impact majeur que peut avoir la température sur la stabilité des huiles végétales, en particulier pour les bouteilles non remplies totalement. Ils mettent en évidence la nécessité de bien contrôler les conditions de stockage et d'utilisation pour préserver la qualité de l'huile.

#### IV. Composition en Acides gras

La composition en acides gras (en %) de l'huile de soja à t=0 est présentée dans le tableau N°. Au total, cinq acides gras ont été identifiés, incluant l'acide palmitique (C16:0), l'acide stéarique (C18:0), l'acide oléique (C18:1), l'acide linoléique (C18:2) et l'acide linoléique (C18:3).

**Tableau III :** Composition en acides gras de l'huile de sojas (%)

Acides gras	C16 :0	C18 :0	C18 :1	18 :2	C18 :3
%	10,76	3,97	24,36	54,6	6,82

L'acide gras majoritaire dans l'huile analysée est l'acide linoléique (C18:2), suivi de l'acide oléique (C18:1), puis de l'acide palmitique (C16:0), les acides stéarique (C18:0) et linoléique (C18:3) sont présents en faible quantité.

Le profil en acide gras a été analysé pour les quatre échantillons d'huiles (tableau IV) stockées à 40°C et conditionnées dans le PET et le tetra pack remplis et à moitié.

**Tableau IV :** Composition en acides gras des échantillons d'huiles (%)

	C16 :0	C18 :0	C18 :1	18 :2	C18 :3
PETr	10,72	4	24,17	54,31	6,77
PETm	10,60	4,02	24,42	53,55	6,47
TETRAr	10,69	4,02	24,28	54,23	6,74
TETRAm	10,60	4,05	24,3	53,64	6,42

Les résultats montrent que le profil en acides gras est qualitativement et quantitativement similaire pour les quatre échantillons, l'acide linoléique est l'acide gras majoritaire., ce résultat n'est pas similaire à celui publié par **Park *et al.* (2015)**, qui a démontré une modification du profil en acides gras après chauffage des huiles.

Il ressort de ces résultats, que le stockage de l'huile à 40°C n'affecte pas le profil en acides gras de l'huile de soja quel que soit le type d'emballage utilisé. Ces résultats sont conformes à la composition attendue de l'huile de soja, riche en acides gras insaturés.

En comparant les différents types d'emballages, on constate que les teneurs en acides gras sont très similaires, avec de légères variations dues au taux de remplissage. Cependant, ces variations restent faibles et ne semblent pas montrer d'impact significatif du type d'emballage ou du niveau de remplissage sur la composition en acides gras de l'huile de soja à 40°C. Ce résultat ne corrobore pas celui de **Alamri *et al.* (2021)** qui stipule que le choix de l'emballage est important pour maintenir la composition en acides gras des huiles.

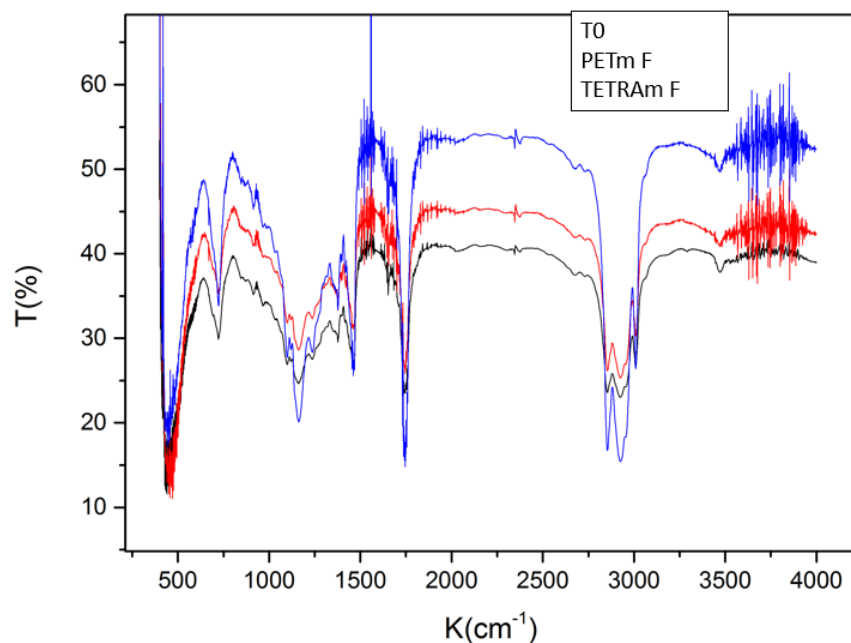
## **V. Test de migration**

L'étude présentée dans la figure compare les spectres infrarouges (IR) de deux huiles de soja, l'une conditionnée dans un emballage PET et l'autre dans un emballage Tetra Pak remplies à moitié, après 70 jours de stockage dans une étuve à 40°C, et chaque 10 jours des échantillons ont été prélevés. L'objectif est d'analyser les modifications induites par le type d'emballage et les conditions de stockage sur la composition chimique de l'huile de soja.

**T0 (noir)** : Échantillon témoin d'huile de soja.

**PETm F (rouge)** : Huile de soja conditionnée dans un emballage PET, remplie à moitié et conservée dans une étuve pendant 70 jours à 40°C.

**TETRAm F (bleu)** : Huile de soja conditionnée dans un emballage Tetra Pak, conservée dans les mêmes conditions que H PETm F.



**Figure 10** : les spectres infrarouges (IR) de deux huiles de soja, l'une conditionnée dans un emballage PET et l'autre dans un emballage Tetra Pak TP, après 70 jours de stockage dans une étuve à 40°C

- **Zone 2800-3000  $\text{cm}^{-1}$  : Groupes C-H (aliphatique)**

Les pics dans cette zone correspondent aux vibrations d'étirement des liaisons C-H dans les chaînes hydrocarbonées des acides gras.

**T0** : Montre les caractéristiques standard des liaisons C-H dans une huile de soja fraîche.

**PETm F** et **TETRAm F** : Les différences dans l'intensité et la forme des pics indiquent des modifications dans la structure des chaînes hydrocarbures dues à l'oxydation ou à d'autres réactions chimiques induites par les conditions de conservation.

- **Zone 1700  $\text{cm}^{-1}$  : Groupes C=O (ester)**

Les pics dans cette zone sont associés aux vibrations d'étirement des liaisons C=O des esters, qui sont les principales liaisons dans les triglycérides.

**T0** : Un pic clair et net indiquant l'intégrité des triglycérides dans l'huile fraîche.

**PETm F et H TETRAm F** : La diminution de l'intensité ou le déplacement du pic suggèrent une hydrolyse ou oxydation partielle des triglycérides, ce qui est typique de l'altération des huiles.

▪ **Zone 1000-1300  $\text{cm}^{-1}$  : Groupes C-O (ester)**

Les pics dans cette région sont attribués aux vibrations des liaisons C-O des esters.

**T0** : Caractéristiques standard des esters dans une huile fraîche.

**PETm F et TETRAm F** : Les changements dans cette zone peuvent indiquer des modifications structurales ou la formation de nouveaux composés oxydés.

▪ **Zone 3400-3600  $\text{cm}^{-1}$  : Groupes O-H (acides gras libres ou produits d'oxydation)**

Un pic dans cette zone pourrait indiquer la présence de groupes hydroxyles résultant de l'oxydation ou de l'hydrolyse.

**T0** : Faible ou absence de pic, typique d'une huile non oxydée.

**PETm F et TETRAm F** : Une augmentation de l'intensité dans cette zone indiquerait une oxydation accrue, formation de peroxydes ou autres produits oxydés.

L'emballage PET semble montrer des altérations moins prononcées que le Tetra Pak, comme indiqué par les variations moins importantes dans les zones  $1700 \text{ cm}^{-1}$  et  $3400-3600 \text{ cm}^{-1}$ . Cela peut être dû à la perméabilité différente de ces matériaux à l'oxygène et à la lumière, où le PET semble offrir une meilleure protection contre l'oxydation dans cette étude particulière.

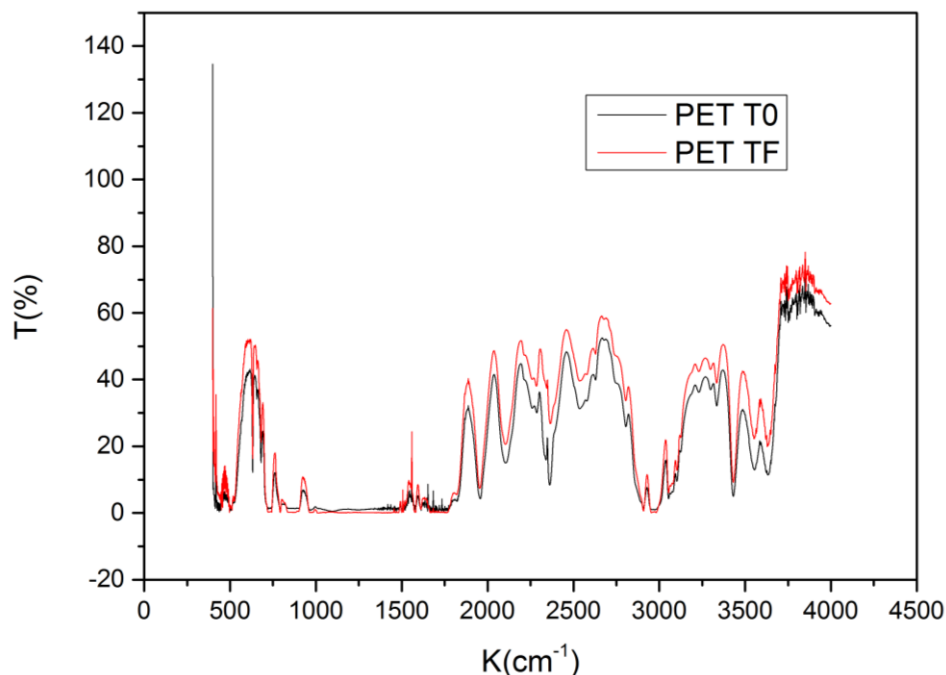
Les résultats montrent que les deux types d'emballage permettent une dégradation oxydative de l'huile de soja sous les conditions de l'étude, mais l'emballage PET semble offrir une meilleure protection contre l'oxydation que le Tetra Pak.

Les changements spectroscopiques dans les zones caractéristiques des esters et des groupes hydroxyles corroborent l'augmentation des produits oxydés et des acides gras libres, témoignant de l'altération de la qualité de l'huile.

Pour minimiser la dégradation de l'huile de soja, le PET apparaît comme un meilleur choix d'emballage comparé au Tetra Pak dans cette étude, surtout pour des durées de stockage prolongées et sous des conditions de température élevée.



La figure montre deux spectres infrarouges (IR) en transmission (T%) en fonction du nombre d'onde (K en  $\text{cm}^{-1}$ ) pour le polyéthylène téréphtalate (PET) à deux temps différents :  $T_0$  (noir) et  $T_F$  (rouge). Ces spectres correspondent à des échantillons de PET ayant été conditionnés dans des emballages remplis à moitié d'huile et vieillis dans une étuve à  $40^\circ\text{C}$  pendant 70 jours.



**Figure 11** : deux spectres infrarouges (IR) en transmission (T%) en fonction du nombre d'onde (K en  $\text{cm}^{-1}$ ) pour le polyéthylène téréphtalate (PET) à deux temps différents

#### Analyse par région spectrale :

##### Région $3000\text{-}2800 \text{ cm}^{-1}$ :

Un large pic intense est observé dans cette région pour les deux spectres, caractéristique des liaisons C-H des alcanes et des aromatiques du PET.

La diminution de l'intensité du pic C-H à  $2920 \text{ cm}^{-1}$  dans le spectre  $T_F$  (rouge) par rapport à  $T_0$  (noir) est due à une dégradation des chaînes aliphatiques du PET

##### Région $1700\text{-}1600 \text{ cm}^{-1}$ :

Un pic intense est observé autour de  $1715 \text{ cm}^{-1}$  pour les deux spectres, caractéristique des liaisons C=O des esters dans la structure du PET. La diminution de l'intensité du pic C=O à  $1715 \text{ cm}^{-1}$  dans le spectre  $T_F$  (rouge) due à une dégradation des esters du PET.

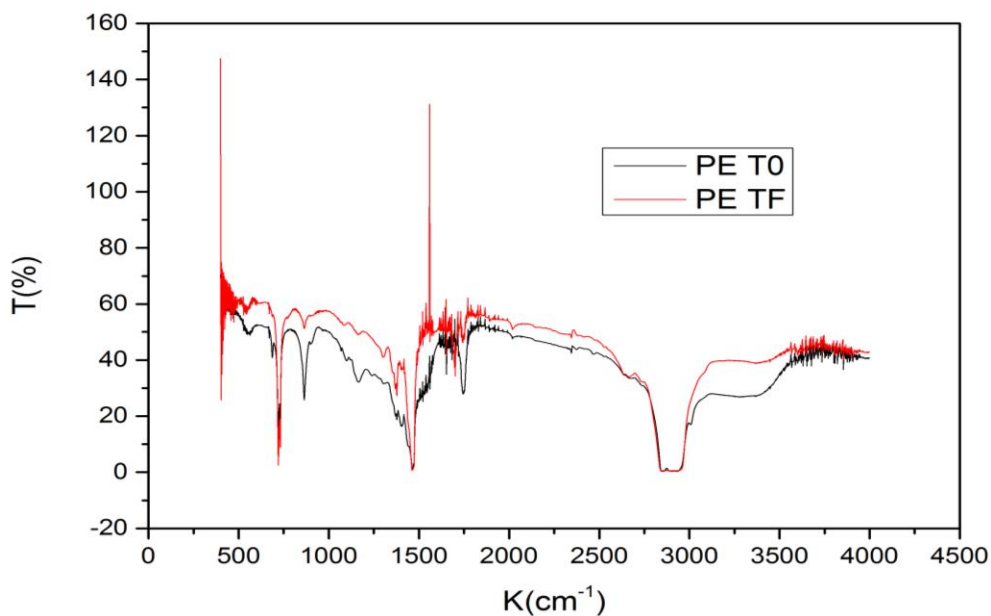
##### Région $1500\text{-}1400 \text{ cm}^{-1}$ :

Des pics d'absorption sont présents autour de  $1510 \text{ cm}^{-1}$  et  $1600 \text{ cm}^{-1}$  pour les deux spectres, caractéristiques des liaisons C=C des noyaux aromatiques du PET.

L'intensité des pics aromatiques est légèrement plus élevée dans le spectre T<sub>F</sub> (rouge) par rapport à T<sub>0</sub> (noir), indiquant une possible augmentation de la concentration des noyaux aromatiques.

Ces changements suggèrent que le vieillissement du PET à 40°C pendant 70 jours entraîne une dégradation des chaînes aliphatiques et des esters, ainsi qu'une formation accrue de noyaux aromatiques. Ces modifications de la structure du PET pourraient affecter ses propriétés physiques et mécaniques.

La figure n°8 montre les spectres infrarouges (IR) en transmission (T%) en fonction du nombre d'ondes (K en cm<sup>-1</sup>) pour le polyéthylène (PE) à deux moments différents : PE T<sub>0</sub> (noir) et PE T<sub>F</sub> (rouge) représentent l'analyse du vieillissement du PE dans des emballages remplis à moitié d'huile et vieillis dans une étuve à 40°C pendant 70 jours.



**Figure 12:** les spectres infrarouges (IR) en transmission (T%) en fonction du nombre d'ondes (K en cm<sup>-1</sup>) pour le polyéthylène (PE) à deux moments différents

➤ **Région 3000-2800 cm<sup>-1</sup> :**

Un large pic intense est observé dans cette région pour les deux spectres, caractéristique des liaisons C-H des alcanes du PE.

La diminution de l'intensité du pic C-H à 2920 cm<sup>-1</sup> dans le spectre T<sub>F</sub> (rouge) due à une dégradation des chaînes aliphatiques du PE.

➤ **Région 1465-1455  $\text{cm}^{-1}$  :**

Des pics d'absorption sont présents dans cette région pour les deux spectres, caractéristiques des groupements méthylène ( $\text{CH}_2$ ) du PE.

L'augmentation de l'intensité des pics  $\text{CH}_2$  à 1465 et 1455  $\text{cm}^{-1}$  dans le spectre  $T_F$  (rouge) peut être due à une oxydation des chaînes aliphatiques du PE, qui convertit les groupes méthyles ( $\text{CH}_3$ ) en groupements méthylène ( $\text{CH}_2$ ).

➤ **Région 720-700  $\text{cm}^{-1}$  :**

Un pic d'absorption est présent dans cette région pour les deux spectres, caractéristique des groupements méthyles ( $\text{CH}_3$ ) du PE.

L'augmentation de l'intensité du pic  $\text{CH}_3$  à 720  $\text{cm}^{-1}$  dans le spectre  $T_F$  (rouge) due à une fragmentation des chaînes aliphatiques du PE, qui produit des groupements méthyles libres.

### **Conclusion partielle**

L'analyse des spectres infrarouges du PE vieilli à 40°C pendant 70 jours met en évidence des changements dans sa structure, suggérant une dégradation des chaînes aliphatiques, une oxydation et une fragmentation. Ces modifications de la structure du PE pourraient affecter ses propriétés physiques et mécaniques. Des analyses complémentaires seraient nécessaires pour confirmer ces observations et quantifier les changements de manière précise.

Dans cette même optique, **Chaisupakitsin *et al.* (2017)** ont réalisé une étude sur 3 échantillons de PET (remplie d'eau et boisson gazeuse) exposés au soleil pendant 8 mois. Il a été observé, une augmentation des groupes hydroxyles au cours de la conservation, indiquant une hydrolyse des liaisons ester du PET. Une augmentation des groupes carbonyles a également été notée, corroborant la dégradation hydrolytique des esters du PET. L'augmentation des groupes carbonyles indique que la structure chimique du PET subit des modifications significatives en raison de l'exposition prolongée aux éléments extérieurs. Donc le PET subit une dégradation sous l'effet de la chaleur et la lumière.

# **Conclusion**

Ce travail a été mené dans le but d'évaluer l'impact des conditions de stockage, notamment la température, le type d'emballage et le niveau de remplissage, sur les caractéristiques physico-chimiques de l'huile de soja « Elio » stockée à 40°C. Le profile en acides gras, la stabilité oxydative des huiles et la migration entre l'emballage et l'huile.

Les résultats obtenus ont révélé plusieurs modifications dans la stabilité des huiles conditionnées. Celles-ci sont dues à l'action combinée de la température élevée appliquée et de l'oxygène présent dans les emballages. Le niveau d'altération des huiles augmente avec le temps.

Les températures élevées accélèrent le processus de dégradation de l'huile, entraînant une augmentation de l'acidité, de l'indice de peroxyde et une altération des propriétés organoleptiques. L'emballage joue également un rôle crucial dans la préservation de la qualité de l'huile. Les emballages opaques et étanches à l'air ont permis de minimiser l'exposition à la lumière et à l'oxygène, ralentissant ainsi l'oxydation.

En ce qui concerne le niveau de remplissage, les emballages remplis à moitié ont présenté une dégradation plus rapide par rapport aux emballages remplis complètement. Cela s'explique par la présence d'un volume d'air plus important dans les emballages à moitié pleins, favorisant l'oxydation et la détérioration de l'huile.

Pour une meilleure perspective, il est pertinent d'examiner les effets des différentes températures de stockage (réfrigération et chaleur) sur la stabilité de l'huile selon les divers types d'emballages. Il est conseillé de conserver l'huile dans des emballages hermétiques et de les remplir au maximum afin de minimiser l'espace d'air. Certains matériaux d'emballage peuvent réagir avec l'huile, provoquant des migrations de substances indésirables ou l'absorption d'arômes. Par conséquent, il est crucial d'étudier la compatibilité entre l'emballage et le produit.

L'inclusion de sachets ou de films absorbant l'oxygène dans les emballages peut contribuer à éliminer l'oxygène résiduel, prolongeant ainsi la durée de vie de l'huile. De plus, remplir les emballages avec de l'azote avant de les sceller peut évacuer l'oxygène et diminuer les risques d'oxydation. Ces résultats pourraient être pris comme point de départ pour développer un emballage Bag in Box plus adapté pour l'huile raffinée.

# **Références bibliographiques**

### A

**Aissi, M. V., Tchobo, F. P., Natta, A. K., Piombo, G., Villeneuve, P., Sohounhloue, D. C. K., & Soumanou, M. M.** (2011). Effet des prétraitements post-récolte des amandes de *Pentadesmabutyracea* (Sabine) sur la technologie d'extraction en milieu réel et la qualité du beurre. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, 18(6), 384–392.

**Alamri, M. S., Qasem, A. A. A., Mohamed, A. A., Hussain, S., Ibraheem, M. A., Shamlan, G., ... Qasha, A. S.** (2021). Food packaging's materials: A food safety perspective. *Saudi Journal of Biological Sciences*.

**Al Rayes** (2013), Etude des interactions PET - eau minérale dans les eaux embouteillées au Liban et approches analytiques des risques sanitaires. Thèse de doctorat chimie analytique. Université Claude Bernard- Lyon I, École doctorale des Sciences et de Technologie (Beyrouth), 5P.

**Anwar, F., S. A. S. Chatha, et A. I. Hussain.** 2007. "Assessment of oxidative deterioration of soybean oil at ambient and sunlight storage." *Grasas y Aceites* 58(4) 390-395.

### B

**Baskoro, Lokahita, Muhammad, Aziz, Yoshikawa, K. & Takahashi, F.** (2017). Energy and resource recovery from Tetra Pak waste using hydrothermal treatment. *Applied Energy*, 207, 107–113. Bauer WJ, Badoud R, Löliger J. *Principes de chimie des constituants et de technologie des procédés*. Romande : Etna, 2010 : 736.

**Benbouriche, A., Haddadi-Guemghar, H., Bachir-bey, M., Boulekbache-Makhlouf, L., Hadjal, S., Kouadri, L., ... & Madani, K.** (2022). Improvement of thermo-resistance and quality of soybean oil by blending with cold-pressed oils using simplex lattice mixture design. *OCL*, 29, 33.

**Benyathiar, P., P. Kumar.** (2022). "Polyethylene Terephthalate (PET) Bottle-to-Bottle Recycling for the Beverage Industry: A Review." *Polymers (Basel)* 14(12).

### C

**Ceretti, E., Galli, M., Ramelli, M., Gelmi, G., Perrini, G., & Frisoli, A.** (2010). Mechanical and thermal characterization of PET bottles and preforms. *Packaging Technology and Science*, 23(8), 423-433.

**Chardigny, J.-M., & Sebedio, J.-L.** (2005). Trans and conjugated fatty acids in human nutrition and health: an update. *OCL*, 12(5-6), 359-366.

**Chen, X. and S. Sun** (2023). "Color reversion of refined vegetable oils: A review." *Molecules* 28(13): 5177.

**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.

**Chevalier D, Debeuf C, Joubrel G, Kocken M, Planchenault N.** Les aliments au soja : consommation en France, qualités nutritionnelles et données scientifiques récentes sur la santé. *OCL* 2016 ;23 :15-2.

**Claude, J.** (2013). Huiles végétales : Composition, propriétés et applications. *Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire*, F1500 v2.

**Cossut, J., Defrenne, B., Desmedt, C., Ferroul, S., Garnet, S., Roelstraete, L., ... & Vidal, D.** (2002). Les corps gras: Entre tradition et modernité. *Projet du DESS QUALIMAPA*, Université des Sciences et Technologies de Lille, France.

**Costa, J., Mafra, I., Amaral, J. S., & Oliveira, M. B. P. P.** (2010). Monitoring genetically modified soybean along the industrial soybean oil extraction and refining processes by polymerase chain reaction techniques. *Food Research International*, 43(1), 301-306.

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

### D

**Debeaufort, F., M. Kurek.** (2022). Matériaux et procédés d'emballage pour les industries alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques, ISTE Group.



## Références bibliographiques

**Dumazert, L., Gallard, B., Beigbeder, J., & Longuet, C.** (2021). Polyéthylène téréphtalate (PET) : de la synthèse à la dégradation. Techniques de l'Ingénieur, traité Plastiques et composites, AM3310 V2.

### E

**Ekere, I., Johnston, B., Tchuembou-Magaia, F., Townrow, D., Wojciechowski, S., Marek, A., Zawadiak, J., Duale, K., Zieba, M., Sikorska, W., Adamus, G., Goslar, T., Kowalczyk, M., & Radecka, I.** (2022). Bioconversion Process of Polyethylene from Waste Tetra Pak® Packaging to Polyhydroxyalkanoates. *Polymers*, 14(14), 2840.

### F

**Farhoosh, R., Hoseini-Yazdi, S-Z.** (2013). Evolution of oxidation kinetic parameters of oils during deep-frying in shallow oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90(7), 1041-1049.

**Frenot, A., & Vierling, P.** (2001). Lipid oxidation in food products. Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire, F1520.

### G

**Graille Jean.** 2003. Lipides et corps gras alimentaires. Paris : Lavoisier Tec et Doc, 469 p. (Collection sciences et techniques agro-alimentaires) ISBN 2-7430-0594-7.

**Grandgirard, A., Grynberg, A., & Athias, P. Ribot, E., Sébédio, J. L.,** (1992). Incorporation of cyclic fatty acid monomers in lipids of rat heart cell cultures. *Lipids*, 27(1), 79–81.

**Guan, T., Li, N., Zhang, G., & Xue, P.** (2022). Characterization and evaluation of sodium alginate-based edible films by incorporation of star anise ethanol extract/ hydroxypropyl- $\beta$ -cyclodextrin inclusion complex. *Food Packaging and Shelf Life*, 31, Article 100785.

**Guillermo H. Crapiste, Marta I.V. Brededan, Amalia A. Carelli.** (1999). Oxidation of Sunflower Oil During Storage. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76(12), 1437-1443.

### H

**Hartal, O., Madinzi, A., Rifi, S. K., Haddaji, C., Kurniawan, T. A., Anouzla, A., & Souabi, S.** (2024). Optimization of coagulation-flocculation process for wastewater treatment from vegetable oil refineries using chitosan as a natural flocculant. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 22, 100.

### J

**Judde A.** (2004). Prévention de l'oxydation des acides gras dans un produit cosmétique : Mécanismes, conséquences, moyens de mesure, quels antioxydants, pour quelles applications. *OCL*, n° 6, vol.11, pp : 414 – 418.

### K

**Korkmaz, A., Yanik, J., Brebu, M., & Vasile, C.** (2009). Pyrolysis of the Tetra Pak. *Waste Management*, 29(11), 2836–2841.

**Kouagou D. B., Ahoussi, E., et Allavo M.** (2019). Production de yaourts de soja à partir du lait obtenu par différents procédés. *EPAC/UAC*.

**Kucuk, M. and C. Caner** (2005). "Effect of packaging materials and storage conditions on sunflower oil quality." *Journal of Food Lipids* 12(3): 222-231.

### L

**List, G. R.** (2016). Oilseed composition and modification for health and nutrition. In T. A. B. Sanders (Ed.), *Functional dietary lipids* (pp. 23–46). Elsevier.

### M

**Makni, M., A. Haddar, A. Ben Fraj & N. Zeghal.** 2015. "Physico-chemical properties, composition, and oxidative stability of olive and soybean oils under different conditions." *International journal of food properties* 18(1): 194-204.

**Marsh, K., & Bugusu, B.** (2007). Food packaging—roles, materials, and environmental issues. *Journal of food science*, 72(3), R39-R55.

**Mehdar, Y. T. H.** (2024). Investigating the Impact of temperature and storage time on antimony release from polyethylene terephthalate (PET) plastic used for bottled drinking water. *Desalination and Water Treatment*, 319, 474.

**Motri S, Hsan ST, Rahali S, Grayaa S.** Etude comparative des procédés de dégommeage (à l'eau et enzymatique) de l'huile de soja. *IJARTech* 2021 ; 1737-7463.

**Multon J.L.** (2002). Industrie des corps. In : additifs et auxiliaires de fabrication dans l'industrie agroalimentaire. 3<sup>ème</sup> éd. Paris : Lavoisier, 2002. 627p (Collection Science & techniques agroalimentaires). ISBN 2-7430-0436-3.

### N

**Nait-Ali Kako Linda,** le PET recycle en emballages alimentaires : approche expérimentale et modélisation, 220p. Thèse : Chimie des Matériaux : Montpellier : 2008.

**Nayak, P. K., U. Dash.** (2016). "Physio-chemical changes during repeated frying of cooked oil: A Review." *Journal of Food Biochemistry* 40(3): 371-390.

**Nistico R.** 2020. Polyethylene terephthalate (PET) in the packaging industry. *Polymer testing*, 90, p106-707.

### O

**Olagunju, A. I., Adalakin, O. S., & Olawoyin, M. S.** (2022). The effect of rice bran extract on the quality indices, physicochemical properties and oxidative stability of soybean oil blended with various oils. *Measurement: Food*, 6, 100032.

### P

**Panowicz. R, Konarzewski. M, Durejko. T, Szala. M, Lazinska. M, Czerwinska. M, Prasula. P.** 2021. Properties of Polyethylene Terephthalate (PET) after Thermo-Oxidative Aging. *Materials*, 14 :3833

**Pierre-Yves pennarun** 2001, « Migration à partir de bouteilles en PET recyclé. Elaboration et validation d'un modèle applicable aux barrières fonctionnelles »,292p. Thèse : Chimie : Reims (France)

**Pirzadeh. E, Zadhoush. A, Haghigat. M.** 2007. Hydrolytic and Thermal Degradation of PET Fibers and PET Granule: The Effects of Crystallization Temperature and Humidity. *Journal of Applied Polymer Science*, 106 :1544–1549.

**Poiana, M.-A., T. Trasca., D, Moigradean., C, Gaita.** 2016. "Study on thermo-oxidative stability of soybean oil during convective heating at simulated frying temperature." *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* 22(2): 108-113.

**Prior, E.** (2003). *Frying of food: oxidation, nutrient and non-nutrient antioxidants, biologically active compounds and high temperatures.* Woodhead Publishing.

### R

**Rahmani, M.** (2007). Méthodes d'évaluation de la stabilité oxydative des lipides. *Les technologies de laboratoire*, 2(2).

**Rakariyatham, K., A. Teerawutgulrag.** (2024). "Combinatorial effects of longan (*Dimocarpus longan*) peel extract and lecithin on stability of soybean oil and the oxidative stability of fried shrimp crackers during storage." *Lwt* 198: 116065.

**Régis J., Joffre F et Fine F.** (2016). Impact de la trituration et du raffinage sur la teneur en Micronutriments des huiles végétales de colza, soja et tournesol. *Consommations et fonctionnalité des lipides : nouveaux horizons.* *OCL*, 23(3) D302.

**Rizzo, G., & Baroni, L.** (2018). Soy, soy foods and their role in vegetarian diets. *Nutrients*, 10(1), 43.

### S

**Saeed, R. and S. Naz** (2019). "Effect of heating on the oxidative stability of corn oil and soybean oil." *Grasas y Aceites* 70(2): e303-e303.

**Srivastava, Y., A. D. Semwal.** (2017). "Melting, crystallization and storage stability of virgin coconut oil and its blends by differential scanning calorimetry (DSC) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)." *Journal of food science and technology* 54: 45-54.

### T

**Tinello, F., & Lante, A. J. L.** (2020). Accelerated storage conditions effect on ginger-and turmeric-enriched soybean oils with comparing a synthetic antioxidant BHT. 131, 109797.

### V

**Vilarinho, F., Stanzione, M., Buonocore, G. G., Barbosa-Pereira, L., Send' on, R., Vaz, M. F., & Sanches Silva, A.** (2021). Green tea extract and nanocellulose embedded into polylactic acid film: Properties and efficiency on retarding the lipid oxidation of a model fatty food. *Food Packaging and Shelf Life*, 27, Article 100609.

# **Annexe**

**Annexe 01 : Présentation de l'Entreprise**

- **Historique :**

L'entreprise SPA cevital est une industrie agroalimentaire d'une grande distribution. Créé en 1998 à Bejaia par son fondateur Issad Rebrab en étant le premier complexe privé agroalimentaire sur tout le territoire algérien. Cette industrie a réussi à être élu comme le leader du marché algérien grâce à la bonne qualité et la conformité de ses produits.

- **Localisation géographique :**

Le complexe Cevital est repéré à l'arrière port de Bejaia, à 3km Sud-Ouest de la ville. Sa situation géographique lui attribue beaucoup d'avantages sur le plan économique.

- ✓ **Unités de Cevital agro-alimentaires :**

Cevital propose une large gamme de produits conformant à la norme ISO22000 et regroupe plusieurs unités de production au niveau de Bejaia ville, El-Kseur et Tizi Ouzou :

Deux raffineries de sucre.

Une unité de sucre liquide.

Une unité osmose.

Une margarinerie.

Une unité d'inter-estérification.

Raffinerie d'huile (trois lignes de raffinage).

Une unité de conditionnement d'eau minérale (Tizi Ouzou).

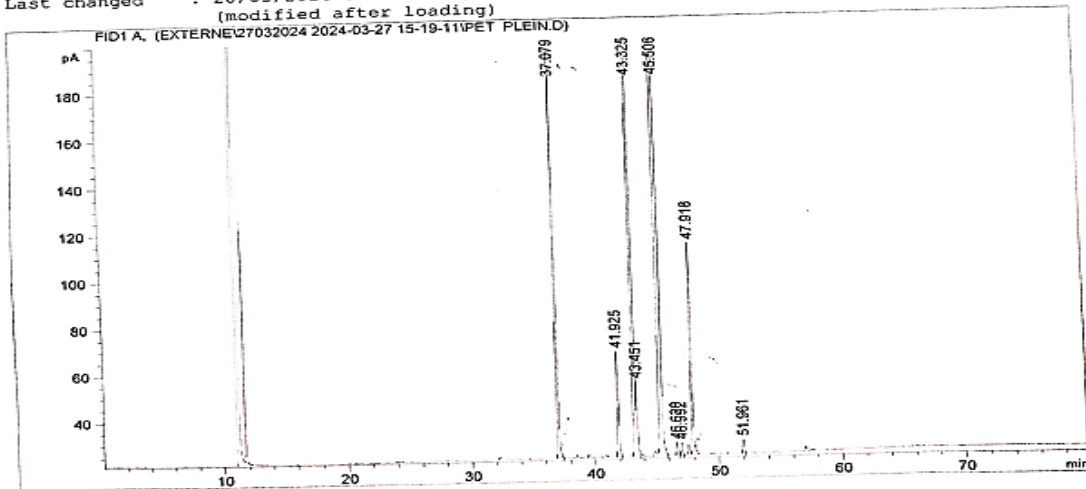
Une unité de fabrication et de conditionnement de boissons rafraîchissantes.

Une plasturgie à Sétif.

## Annexe 02 : résultats de la CPG de l'huile conditionnée en PET remplie à plein à jour 0

Data File C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\27032024 2024-03-27 15-19-11\PET PLEIN.D  
Sample Name: PET PLEIN

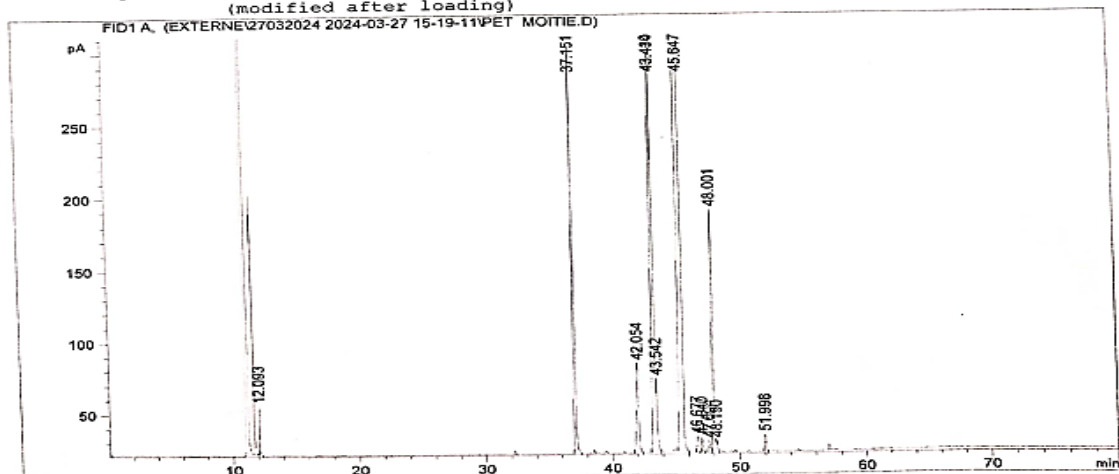
```
=====
Acq. Operator   : DJAMILA                      Seq. Line :    1
Acq. Instrument : Instrument 1                 Location  : Vial 101
Injection Date  : 27/03/2024 15:20:57        Inj       :    1
                                                Inj Volume: 1 µl
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\27032024 2024-03-27 15-19-11\DJAMILAE.M
Last changed    : 12/10/2023 16:40:51 by djamila
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\COOLDOWN.M
Last changed    : 28/03/2024 08:27:43 by DJAMILA
                (modified after loading)
```



## Annexe 03 : résultats de la CPG de l'huile conditionnée en PET remplie à moitié à jour 0

Data File C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\27032024 2024-03-27 15-19-11\PET MOITIE.D  
Sample Name: PET MOITIE

```
=====
Acq. Operator   : DJAMILA                      Seq. Line :    2
Acq. Instrument : Instrument 1                 Location  : Vial 102
Injection Date  : 27/03/2024 16:44:22        Inj       :    1
                                                Inj Volume: 1 µl
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\27032024 2024-03-27 15-19-11\DJAMILAE.M
Last changed    : 12/10/2023 16:40:51 by djamila
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\COOLDOWN.M
Last changed    : 28/03/2024 08:27:43 by DJAMILA
                (modified after loading)
```

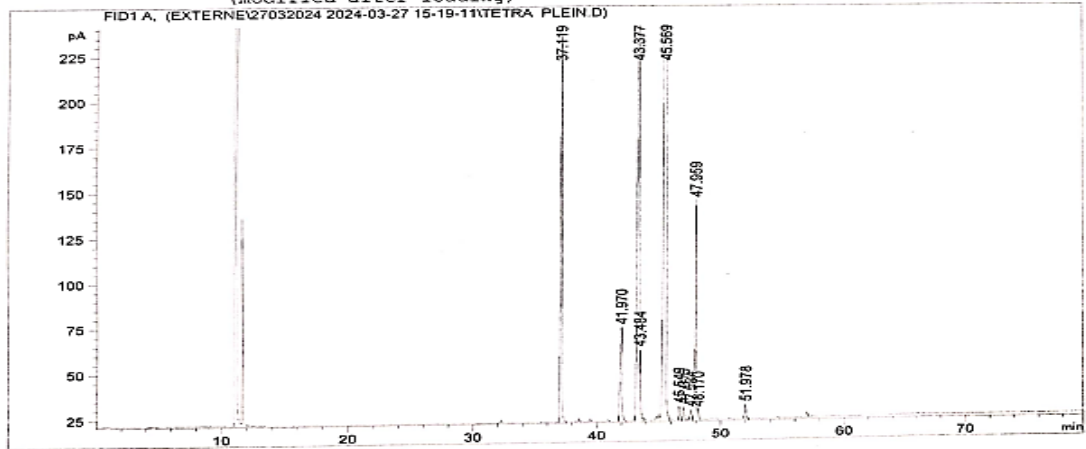




Annexe 04 : résultats de la CPG de l'huile conditionnée en tetra Pak remplie à plein à jour 0

Data File C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\27032024 2024-03-27 15-19-11\TETRA PLEIN.D  
 Sample Name: TETRA PLEIN

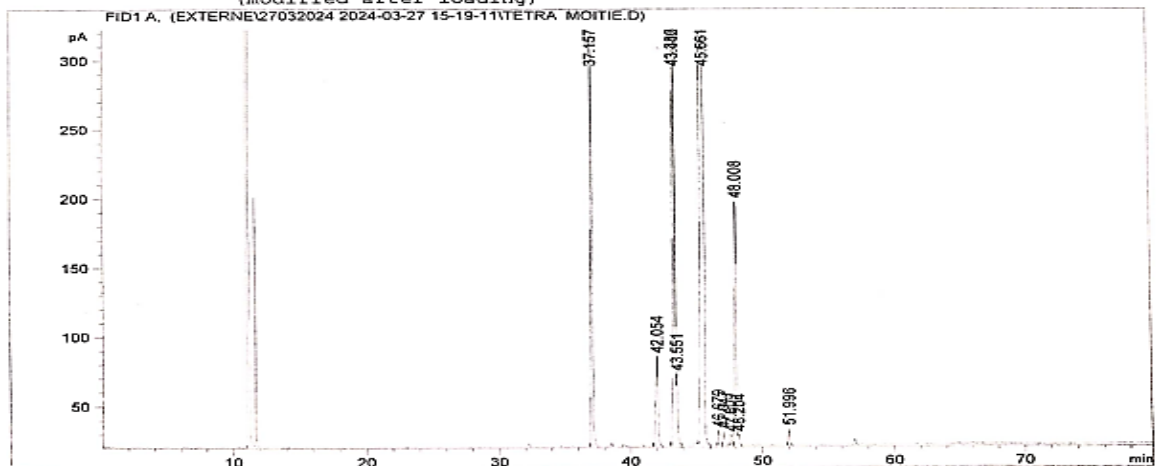
```
=====
Acq. Operator   : DJAMILA                      Seq. Line :    3
Acq. Instrument : Instrument 1                 Location  : Vial 103
Injection Date  : 27/03/2024 18:07:48         Inj       :    1
                                                Inj Volume: 1 µl
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\27032024 2024-03-27 15-19-11\DJAMILAE.M
Last changed    : 12/10/2023 16:40:51 by djamila
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\COOLDOWN.M
Last changed    : 28/03/2024 08:27:43 by DJAMILA
                (modified after loading)
=====
```



Annexe 05 : résultats de la CPG de l'huile conditionnée en tetra Pak remplie à moitié à jour 0

Data File C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\27032024 2024-03-27 15-19-11\TETRA MOITIE.D  
 Sample Name: TETRA MOITIE

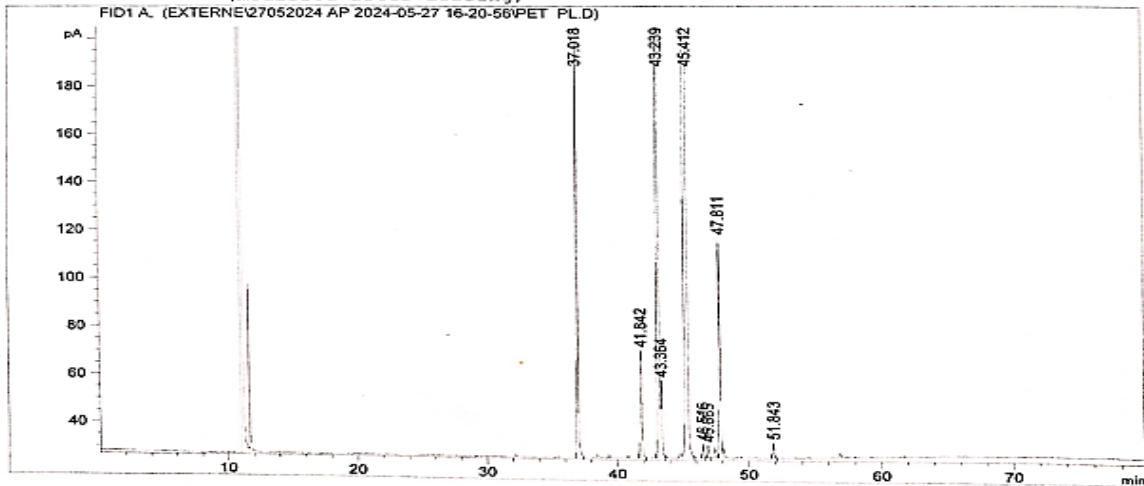
```
=====
Acq. Operator   : DJAMILA                      Seq. Line :    4
Acq. Instrument : Instrument 1                 Location  : Vial 104
Injection Date  : 27/03/2024 19:31:12         Inj       :    1
                                                Inj Volume: 1 µl
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\27032024 2024-03-27 15-19-11\DJAMILAE.M
Last changed    : 12/10/2023 16:40:51 by djamila
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\COOLDOWN.M
Last changed    : 28/03/2024 08:27:43 by DJAMILA
                (modified after loading)
=====
```



## Annexe 06 : résultats de la CPG de l'huile conditionnée en PET remplie à plein à jour 70

Data File C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\27052024 AP 2024-05-27 16-20-56\PET PL.D  
Sample Name: PET PL

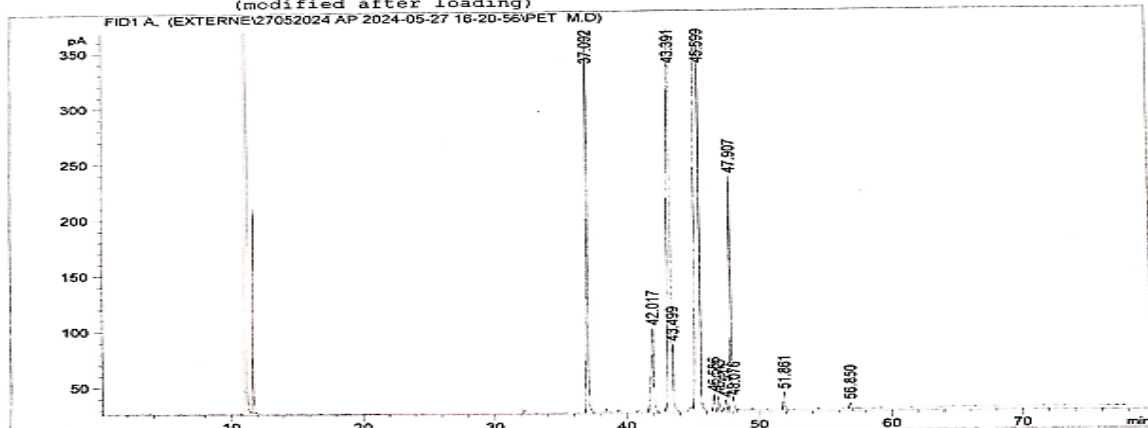
```
-----  
Acq. Operator   : MOURAD                      Seq. Line :    4  
Acq. Instrument : Instrument 1                 Location  : Vial 104  
Injection Date  : 27/05/2024 20:32:45        Inj       :    1  
                                           Inj Volume: 1 µl  
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\27052024 AP 2024-05-27 16-20-56\DJAMILAE.M  
Last changed    : 12/10/2023 16:40:51 by djamila  
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\COOLDOWN.M  
Last changed    : 27/05/2024 10:11:15 by MOURAD  
                (modified after loading)
```



## Annexe 07 : résultats de la CPG de l'huile conditionnée en PET remplie à moitié à jour 70

Data File C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\27052024 AP 2024-05-27 16-20-56\PET M.D  
Sample Name: PET M

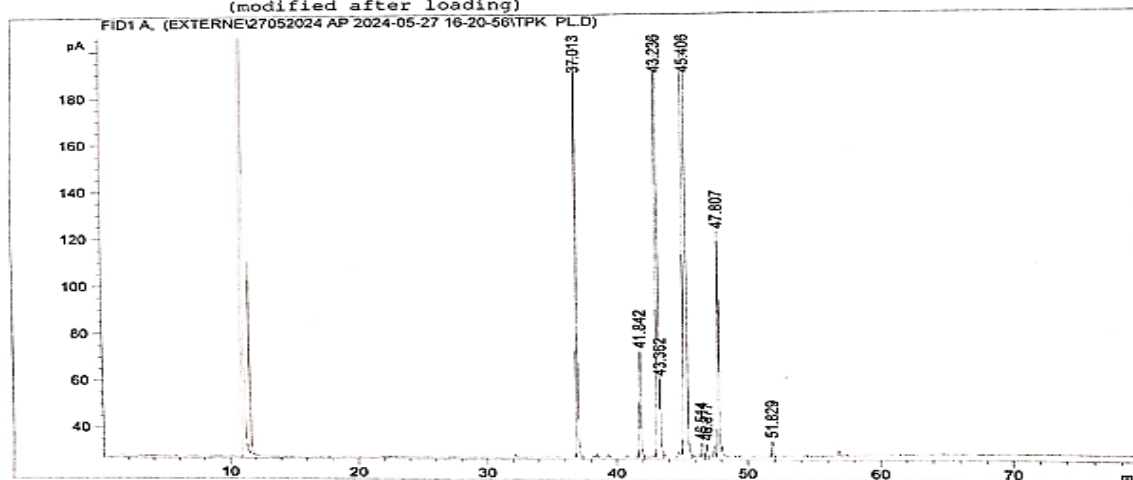
```
-----  
Acq. Operator   : MOURAD                      Seq. Line :    5  
Acq. Instrument : Instrument 1                 Location  : Vial 105  
Injection Date  : 27/05/2024 21:56:24        Inj       :    1  
                                           Inj Volume: 1 µl  
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\27052024 AP 2024-05-27 16-20-56\DJAMILAE.M  
Last changed    : 12/10/2023 16:40:51 by djamila  
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\COOLDOWN.M  
Last changed    : 27/05/2024 10:11:15 by MOURAD  
                (modified after loading)
```



## Annexe 08 : résultats de la CPG de l'huile conditionnée en tetra Pak remplie à plein à jour 70

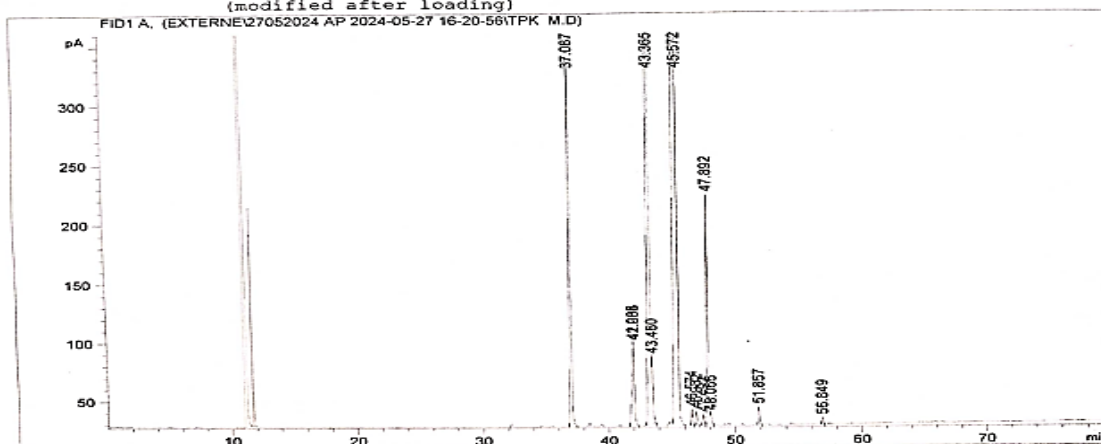
ata File C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\27052024 AP 2024-05-27 16-20-56\TPK PL.D  
 ample Name: TPK PL

```
=====
Acq. Operator   : MOURAD                      Seq. Line :    6
Acq. Instrument : Instrument 1                 Location  : Vial 106
Injection Date  : 27/05/2024 23:19:48        Inj       :    1
                                                Inj Volume: 1 µl
Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\27052024 AP 2024-05-27 16-20-56\DJAMILAE.M
Last changed   : 12/10/2023 16:40:51 by djamila
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\COOLDOWN.M
Last changed   : 27/05/2024 10:11:15 by MOURAD
                (modified after loading)
```



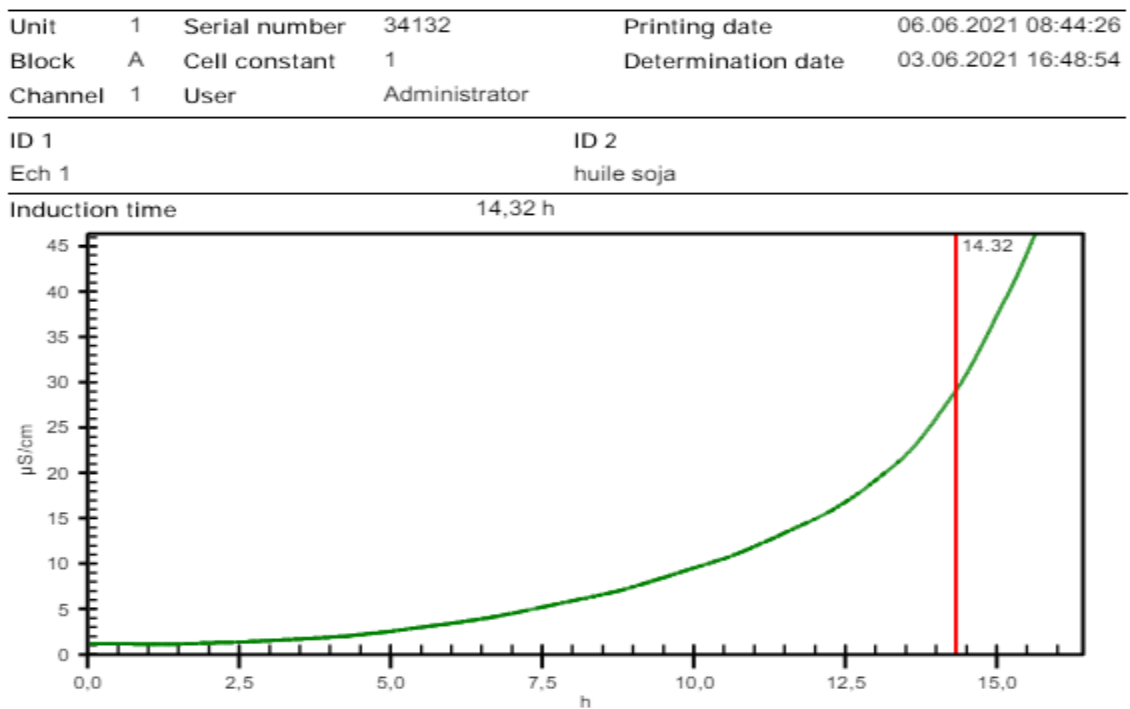
ata File C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\27052024 AP 2024-05-27 16-20-56\TPK M.D  
 ample Name: TPK M

```
=====
Acq. Operator   : MOURAD                      Seq. Line :    7
Acq. Instrument : Instrument 1                 Location  : Vial 107
Injection Date  : 28/05/2024 00:43:11        Inj       :    1
                                                Inj Volume: 1 µl
Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\27052024 AP 2024-05-27 16-20-56\DJAMILAE.M
Last changed   : 12/10/2023 16:40:51 by djamila
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\COOLDOWN.M
Last changed   : 27/05/2024 10:11:15 by MOURAD
                (modified after loading)
```

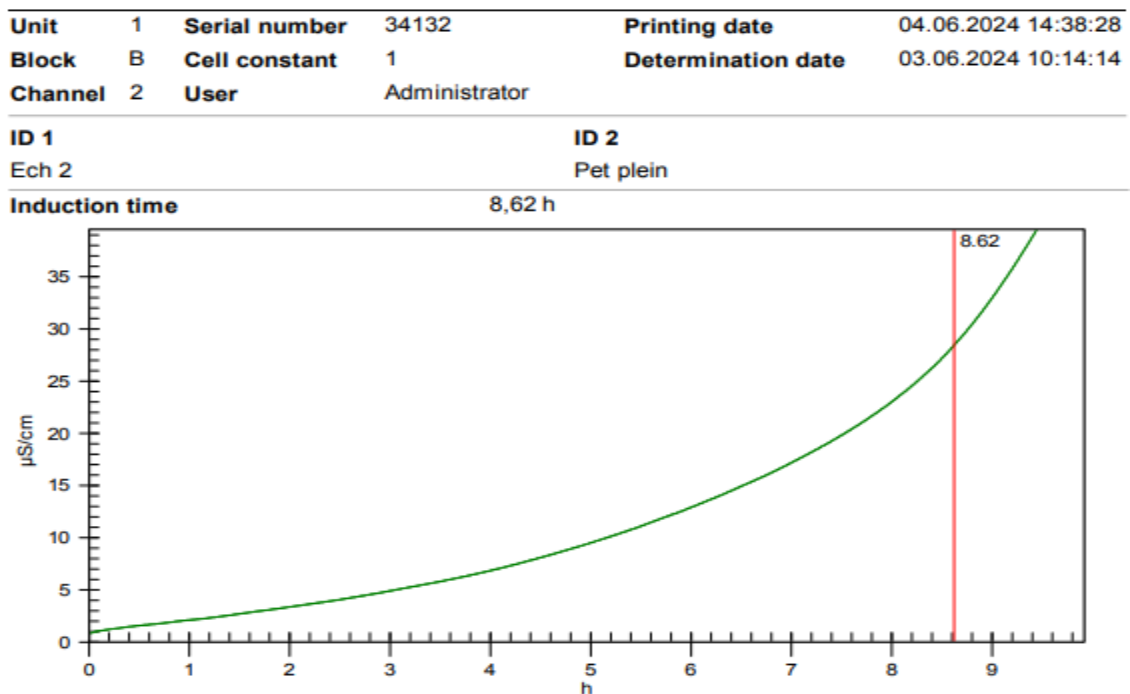


## Annexe 09 : résultats de la CPG de l'huile conditionnée en tetra Pak remplie à moitié à jour 70

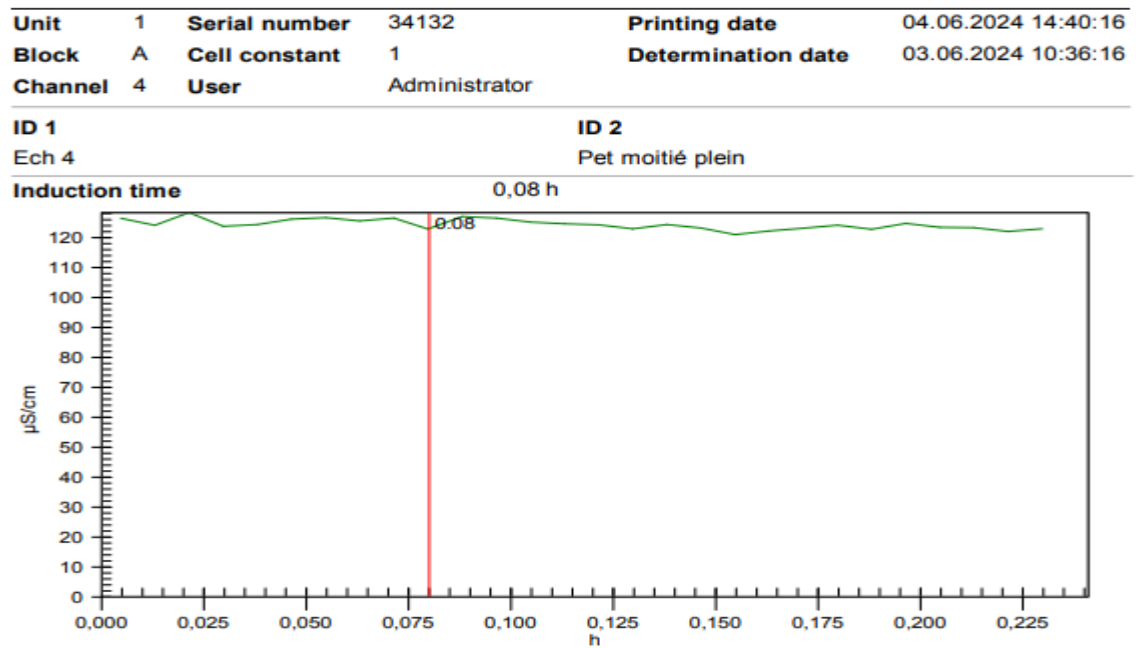
annexe 10 : résultats du test rancimat pour l'huile fraiche (jour 0)



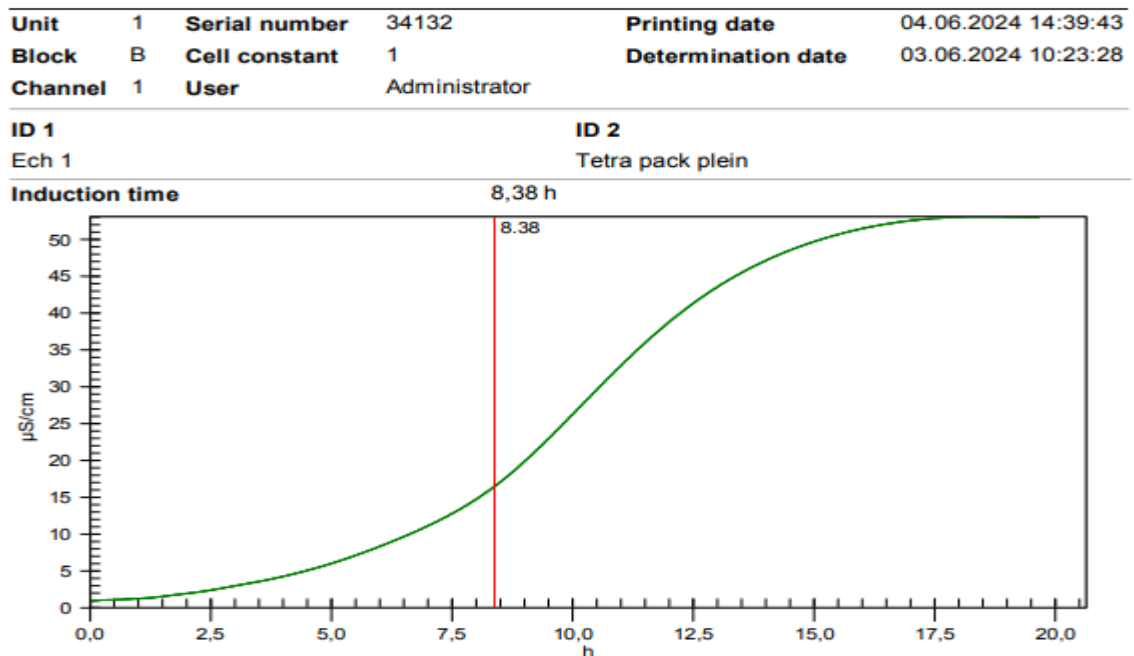
Annexe 11 : résultats du test rancimat pour l'huile conditionnée en PET remplie à plein (PETr) après 70 jours



**Annexe 12** : résultats du test rancimat pour l'huile conditionnée en PET remplie à moitié (PETm) après 70 jours



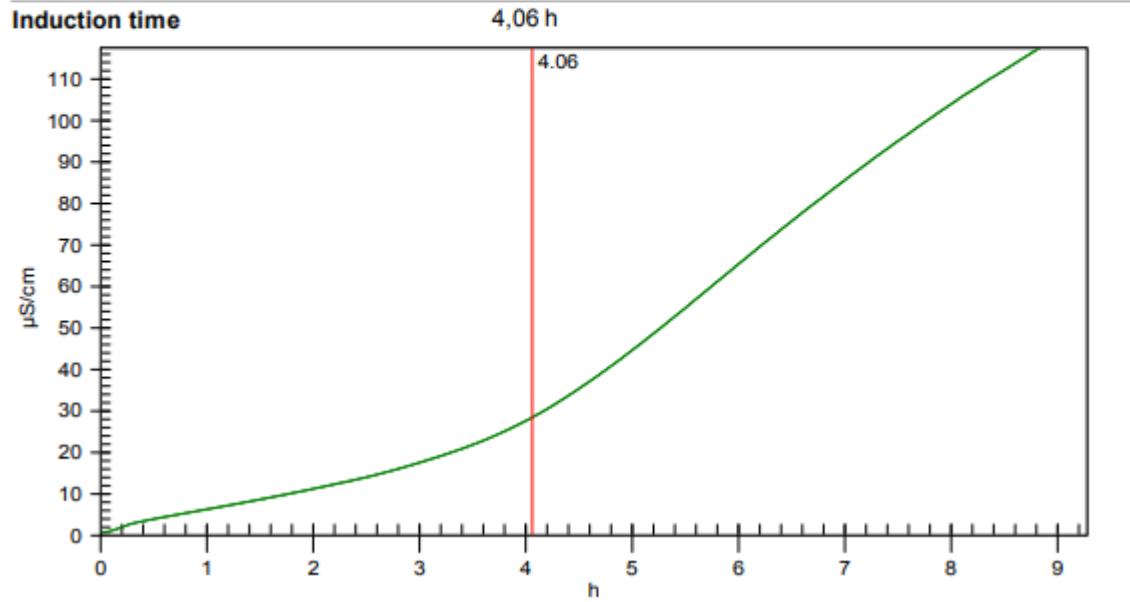
**Annexe 13** : résultats du test rancimat pour l'huile conditionnée en tetra pak remplie à plein (TETRAr) après 70 jours



**Annexe 14** : résultats du test rancimat pour l'huile conditionnée en tetra pak remplie à moitié (TETRAm) après 70 jours

<b>Unit</b>	1	<b>Serial number</b>	34132	<b>Printing date</b>	04.06.2024 14:39:09
<b>Block</b>	B	<b>Cell constant</b>	1	<b>Determination date</b>	03.06.2024 10:14:15
<b>Channel</b>	3	<b>User</b>	Administrator		

<b>ID 1</b>	<b>ID 2</b>
Ech 3	Tétra pack à moitié



### Résumé

Notre étude se concentre sur l'impact de trois facteurs principaux sur l'huile de soja : la température de stockage (40°C), le type d'emballage (PET et Tetra Pak), et le niveau de remplissage (plein et à moitié). Pour évaluer ces effets, nous avons réalisé une série d'analyses physico-chimiques approfondies : humidité, acidité, indice de peroxyde, couleur, indice d'iode, chlorophylle, composition en acides gras (CPG), test de stabilité oxydative Rancimat, et spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR). Les résultats de notre étude ont révélé une dégradation notable de l'huile de soja dans les échantillons conditionnés dans l'emballage Tetra Pak par rapport au PET. Dans les échantillons d'huile en Tetra Pak à moitié rempli, l'indice de peroxyde a atteint 74 méq d'O<sub>2</sub>/kg, signe d'une oxydation avancée, aussi pour l'analyse FTIR qui met en évidence une migration de substances provenant de l'emballage Tetra Pak vers l'huile, ce qui semble être un facteur qui contribue à cette dégradation accrue, le test de rancimat souligne l'impact majeur que peuvent avoir les conditions de température sur la stabilité des huiles végétales, en particulier pour les emballages non remplis.

**Mot clés :** huile de soja, emballage, dégradation, PET, Tetra Pak, analyses physicochimiques

### Abstract

Our study focuses on the impact of three main factors on soybean oil: storage temperature (40°C), type of packaging (PET and Tetra Pak), and fill level (full and half-full). To evaluate these effects, we conducted a series of in-depth physicochemical analyses: moisture, acidity, peroxide value, color, iodine value, chlorophyll, fatty acid composition (GC), Rancimat oxidative stability test, and Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). The results of our study revealed a notable degradation of soybean oil in the samples packaged in Tetra Pak compared to PET. Specifically, in the half-full Tetra Pak samples, the peroxide value reached 74 meq O<sub>2</sub>/kg, indicating advanced oxidation. The FTIR analysis also highlighted a migration of substances from the Tetra Pak packaging to the oil, which seems to be a contributing factor to this increased degradation. The Rancimat test underlined the major impact that temperature conditions can have on the stability of vegetable oils, particularly for partially filled bottles.

**Keywords:** soybean oil, packaging, degradation, PET, Tetra Pak, physicochemical analysis

