



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Agronomie

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master II

En sciences Agronomiques

Option : Biotechnologie Alimentaire

**Thème :**

**Effets de la nature du bois de fumage (*Eucalyptus, Olea*) sur l'amélioration des propriétés nutritionnelles et sensorielles, et sur l'aptitude à la conservation de la « *Sardina pilchardus* »**

Présenté par : M<sup>elle</sup>. CHAOUI FATIHA

Soutenu le : 26 / 06 / 2016

**Devant le jury :**

Président	M.AIT SAADA.D	Maitre de conférences B,	Univ de Mostaganem
Directeur de mémoire	M. BOUDEROUA.K	Professeur	Univ de Mostaganem
Examineur	M. BENGUENDOZ.A	Maitre-assistant A,	Univ de Relizane
Examinatrice	M <sup>me</sup> HAMOU.H	Maitre-assistante A,	Univ de Mostaganem

Structure d'accueil : le laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition, Univ de Mostaganem

Année Universitaire : 2015-2016

## **Remerciement**

*En premier lieu, nous tenons à remercier notre **DIEU**, notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à tous nos professeurs qui ont contribué à notre formation :*

*Nous désirons exprimer notre profonde et vive reconnaissance à notre encadreur, Monsieur **BOUDEROUA. K** Professeur à l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem qui a mis toute sa compétence à notre disposition, pour ces directives et conseils judicieux et pour son suivi régulier à l'élaboration de ce modeste travail.*

*À Monsieur, **BENBOUZIANE.A** Maître de conférences B, à l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, pour la bonne formation reçue de mon master 2, et pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider mon jury.*

*À Monsieur **BENGENDOZ.A** Maître-assistant A, à l'université de Relizane et **M<sup>me</sup> HAMOU.H.** Maître assistante A, à l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'examiner mon travail.*

*Nous remercions également tous les membres de laboratoire de technologie alimentaire et nutrition qui nous ont beaucoup aidé à réaliser ce travail dans des bonnes conditions ainsi que, **M<sup>me</sup> BELKABIR F**, **M<sup>me</sup> BELKACEMI.L** et **Belabbes Mohamed** pour leurs aides.*

*Mes remerciements s'adressent également :*

*À Monsieur **DOUACHE**, directeur au niveau de l'unité d'abattage de BOUGUIRAT, Mostaganem. Ainsi monsieur **GHAZALI**, ingénieur en biologie et chef de charcuterie à l'unité de BOUGUIRAT, pour leurs aides.*

*Nos derniers remerciements et ce ne sont pas les moindres, vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.*

***Fatíha***



# *Dédicaces*

*A celle qui attend mon retour a chaque jour*

*A celles qui m'a comblées d'affection, d'amour et de tendresse, et qui a veillé a calte de mon berceau pour consoler mes cris de douleurs, et qui n'a jamais cessé de le faire.*

***Ma mère***

*A celui qui fait le plus brave des hommes, m'ouvrant ses bras dans les sombres moments et m'aidant à aller de l'avant vers le meilleur, et qui ma tant soutenu moralement et matériellement **Mon père.***

***A mon frère et mes chères sœurs.***

*A qui je souhaite le bonheur et la réussite dans leurs vies.*

***A une personne qui m'est très chère.***

*A qui je souhaite le bonheur, la réussite,*

*A qui a supporté tous mes moments de doutes et de désespoir.*

*Merci pour ta complicité*

*A tous ceux qui de près ou de loin m'ont apporté leur encouragement de leur soutien.*

***A tous mes amis de la promotion.***



## Résumé

La présente étude se propose d'étudier les effets de la nature du bois de fumage (Eucalyptus, Olea) sur l'amélioration des propriétés sensorielle et qualité nutritionnelle de la sardine « *Sardina pilchardus* ». Le fumage a été réalisé dans un fumoir traditionnel à une température environ 65 °C/30-40 min. La recherche a été effectuée en utilisant deux facteurs à savoir ; la nature du bois (Eucalyptus globulus, Olea européen) et la durée de conservation à une température de réfrigération de +4 °C (0J, 7J) et une température de congélation à -18 °C (0J, 10J, 20J). D'après les résultats obtenus une teneur légèrement élevée en polyphénols totaux a été enregistrée dans l'extrait méthanolique des feuilles de l'Eucalyptus globulus soit (38.93 mg EAG/g de MS) contre (33.84 mg EAG/g de MS) pour l'extrait méthanoliques des feuilles Olea. D'après le test au DPPH les résultats obtenus que l'extrait d'Eucalyptus a montré une meilleure activité anti radicalaire inhibitrice de DPPH• avec la plus faible IC50 (4.31 mg/ml) suivi des extraits de l'Olea par rapport à l'activité anti radicalaire inhibitrice de DPPH• soit : IC50 (6,16 mg/ml). Les analyses biochimiques de la sardine ont concerné l'évolution des composés nutritionnels (matière sèche, teneur en eau, lipides et protéines), ainsi que l'évolution du pH et l'indice peroxydation lipidique (TBARS). On peut conclure que la fumée liquide tend à préserver au mieux les échantillons testés contre l'augmentation de l'humidité. Les résultats de cette expérience montrent que la nature du bois et la durée de conservation ont eu un effet significatif ( $P < 0.05$ ) sur les teneurs en matière sèche et en eau, sur la teneur en lipide ainsi au niveau d'oxydation des lipides. D'après les résultats obtenus, on constate que la lipolyse a été retardée pour les échantillons fumés traditionnellement avec du bois et conservés à +4 °C et à -18°C notamment pour les sardines fumées à l'Eucalyptus avec une perte de l'ordre de 9.60%, dont le gain en MDA est le plus bas soit 29.82%, cependant une réduction de 8.97% pour l'Olea avec un gain de 31.25%. La composition du bois utilisé et celle du lot témoin (fumée liquide) n'a pas empêché l'acidification de la sardine fumée réfrigérés à +4°C (7J), et congelés à -18°C (20J), d'ailleurs une réduction remarquable du pH du lot témoin soit 3.07% et 6.48% respectivement.

Concernant le test sensoriel, afin d'évaluer l'aspect organoleptique des échantillons on a étudiée plusieurs critères : couleur, texture, jutosité, flaveur, odeur. En conclusion, l'échantillon fumé à l'Eucalyptus a été jugé comme : (claire, humide en bouche, moins juteux, très bonne, agréable).

**Mots Clés** : *Sardina pilchardus* – fumage – bois – lipoperoxydation – test sensoriel.

## Abstract

The present study aims to investigate the effects of the nature of wood for smoking (Eucalyptus, Olea) on improving the sensory properties, and nutritional quality of fish « *Sardina pilchardus* ». Smoking of fish have made in traditional smokehouse at temperature of 4°C/30-40 min. The research was carried out using two factors namely ; the type of wood (Eucalyptus globulus, Olea europeen) and shelf life at refrigeration temperature of 4°C (7J) and freezing temperature of -18°C (20J). The compound phénolique leaves of Eucalyptus a little high compared to leaves of Olea europeen, represents : 39, 33 mg gallic acid equivalent / g of dry matter respectively. According to the DPPH test results that the extract of Eucalyptus showed better DPPH radical anti inhibitory activity • with the lowest IC50 (4.31 mg / ml) followed Olea's extracts relative to DPPH radical anti inhibitory activity • either: IC50 (6.16 mg / ml). The biochemical analyzes of fish concerned the evolution of nutritional compounds (dry matter, moisture, fat and protein), and evolution in pH and the index of lipid peroxidation (TBARS). The result of this experiment show the nature of the wood and the shelf life had a significant effect ( $P < 0.05$ ) on the dry matter, moisture, fat and index of lipid peroxidation. It can be concluded that the liquid smoke preserved samples tested better against the increase in humidity. From the resultts obtained, it appear that lipolysis was delayed from samples traditionally smoked and preserved in temperature at +4°C and -18°C especially for fish smoked with Eucalyptus which were reduced of 9.60 %, is the product for which a gain MDA it was the lowest 29.82%. The composition of the wood used and the control group (liquid smoke), did not prevent acidification of smoked fish during storage at 4 °C (7J), -18 °C (20J) for the samples studied, besides it was a great decrease of pH in samples smoked with liquid smoke represents 3.07%, 6.48% respectively. To evaluate the sensory test, we studied : color, textur, juiciness, flavor, smell. In conclusion, samples smoked with Eucalyptus was judged : clear, less juicy, wet, very good , pleasant)

**Key words** : sardina pilchardus, Smoking, wood, Lipoeroxidation, sensory test.

## ملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير خشب التدخين ( الاوكاليبتوس, الزيتون) على تحسين الخصائص الحسية والجودة الغذائية لسماك السردين. أنجز التدخين في مدخنة تقليدية في درجة حرارة حوالي 65 درجة لمدة 30 إلى 40 د. أجريت هذه الدراسة باستخدام عاملين و هما نوع الخشب (الاوكاليبتوس, الزيتون) و مدة الصلاحية في درجة حرارة التبريد + 4 د (7 أيام) و - 18 د (20 يوم). فيما يخص المركبات الفينولية فقد سجلت محتوى نوعا ما مرتفع لمستخلص الاوكاليبتوس مقارنة بمستخلص خشب الزيتون بنسبة 39 و 33 (مغ تعادل حمض الغاليك /غ المادة الجافة). بالنسبة ل DPPH كان مستخلص الاوكاليبتوس الأقل نسبة IC50 (4,31 مغ/مل) مقارنة بمستخلص خشب الزيتون I50 (6.16 مغ/مل). بالنسبة للتحاليل, لقد تمت لمعرفة تطور المكونات البيوكيميائية الغذائية التالية ( المادة الجافة, الرطوبة, الدهون, البروتينات), بالإضافة إلى تطور درجة الحموضة و مؤشر تأكسد الدهون. أظهرت نتائج هذه التجربة أن طبيعة الخشب و مدة الحفظ كان لهما تأثير كبير على محتوى الماء و المادة الجافة و كذلك على مستوى الدهون. كما أظهرت العينات المدخنة بالخشب أن التحلل الدهني كان الأكثر استقرارا بالأخص بالنسبة للعينات المدخنة بالأوكاليبتوس مع خسارة قدرها 9.60% و يعتبر السردين الذي اكتسب أدنى نسبة. كما أن العينات المعالجة بخشب الزيتون كان الانخفاض بنسب 8.97%. تكوين الخشب المستخدم والمجموعة الشاهدة (مستخلص لدخان), لم يمنع العينات المدروسة من ارتفاع درجة الحموضة طوال فترة التجربة, إلى جانب ذلك العينات المعالجة بمستخلص الدخان شهدت انخفاضا كبيرا 3.07% (+4 د) و 6.48% (-18 مقارنة بالعينات المعالجة بالخشب.

أما بخصوص الاختبار الحسي, لتقييم الخصائص الحسية للعينات المدروسة اللون, القوام, الخصائص العصبيرية, النكهة, الرائحة قمنا بدراسة مجموعة من المعايير استخلصنا أن العينات المعالجة بخشب الاوكاليبتوس كانت المفضلة (فاتح,رطب في الفم, اقل عصير, جيد جدا).

**الكلمات المفتاحية :** سردين, تدخين, خشب, أكسدة لدهون, DPPH, اختبار حسي.

## Nomenclature des tableaux

N° de tableau	Titre de tableaux	Page
<b>Tableau 1</b>	Valeur calorique de la sardine	6
<b>Tableau 2</b>	La composition des acides gras dans les filets de sardines (AG identifiés en %)	7
<b>Tableau 3</b>	Teneur des EPA, DPA et DHA (en mg/100g) dans le filet de sardine	7
<b>Tableau 4</b>	Teneur des différentes fractions protéiques dans le poisson	8
<b>Tableau 5</b>	teneur en vitamine de la sardine	9
<b>Tableau 6</b>	Essences d'arbres et de plantes utilisés en fumaison	10
<b>Tableau 7</b>	Rôle des composés phénoliques	21
<b>Tableau 8</b>	Teneur en polyphénols totaux des extraits	43
<b>Tableau 9</b>	Valeurs de la concentration IC <sub>50</sub> des extraits des plantes étudiées	43
<b>Tableau 10</b>	Teneur en matière sèche de la sardine fumée exprimées en pourcentage	45
<b>Tableau 11</b>	Teneur en humidité de la sardine fumée en %	46
<b>Tableau 12</b>	Evolution du pH selon la période de conservation et la nature du bois de la sardine fumée	47
<b>Tableau 13</b>	Les teneurs en lipides totaux de la sardine fumée en %	49
<b>Tableau 14</b>	Variation de la teneur en MDA exprimée en mg éq MDA / kg du poisson	50
<b>Tableau 15</b>	Relation entre les teneurs en lipides totaux et l'indice de la peroxydation lipidique TBA mg MDA / kg.	52
<b>Tableau 16</b>	Les teneurs en protéines de la sardine fumée exprimées en %	53

## Nomenclature des figures

<b>N° de figure</b>	<b>Titre de figure</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 1</b>	proportion des espèces dans les captures	3
<b>Figure 2</b>	photographie de la sardine ( <i>sardina pilchardus</i> )	4
<b>Figure 3</b>	Schéma général de l'oxydation des lipides	27
<b>Figure 4</b>	photo de l' <i>Olea europaea</i>	32
<b>Figure 5</b>	photo d' <i>Eucalyptus globulus</i>	32
<b>Figure 6</b>	photo d'un Fumoir traditionnel	32
<b>Figure 7</b>	test de dégustation des filets de sardine	41
<b>Figure 8</b>	Valeurs IC <sub>50</sub> des extraits des plantes étudiées	44
<b>Figure 9</b>	Evaluation sensorielle de la couleur	55
<b>Figure 10</b>	Evaluation sensorielle de la texture	55
<b>Figure 11</b>	Evaluation sensorielle de la Jutosité	56
<b>Figure 12</b>	Evaluation sensorielle de la flaveur	57
<b>Figure 13</b>	Evaluation sensorielle de l'odeur	58
<b>Figure 14</b>	Préférence des dégustateurs exprimés en pourcentage	59

## Nomenclature des abréviations

<b>Symbole</b>	<b>Signification</b>
<b>AGPI</b>	Acide gras polyinsaturé.
<b>AEP</b>	Acide eicosapentaénoïque
<b>°C</b>	Degré Celsius
<b>Cons.</b>	Conservation
<b>DAH</b>	Acide docosahexaénoïque
<b>DPRH</b>	Direction des Produits et Ressources Halieutiques
<b>Eu</b>	Eucalyptus
<b>F.A.O N</b>	Food and agriculture : organisation pour l'alimentation et l'agriculture Nombre
<b>F.Lq</b>	Fumée liquide
<b>Jrs, J</b>	Jours
<b>Ms</b>	Matière sèche
<b>MDA</b>	Malonaldehyde.
<b>mg</b>	Milligramme
<b>NS</b>	Non significatif
<b>PPM</b>	Pays partenaires méditerranéens
<b>pH</b>	potentiel hydrogène
<b>Réfrig.</b>	Réfrigération
<b>TCA</b>	Acide trichloroacétique
<b>TBA</b>	Acide Thiobarbiturique

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Abstract

Résumé en langue arabe

Liste des figures, des tableaux et des abréviations.

## Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	1
------------------------------------	---

## Partie bibliographique

### Chapitre I : *Sardina pilchardus*

1. Les petits poissons pélagiques.....	3
1.1. La sardine.....	4
1.2 Classification et position systématique.....	4
1.3 Nutrition.....	5
1.4 Reproduction.....	5
1.5 Composition biochimique de la sardine.....	6
1.5.1. La teneur en hydrate de carbone.....	6
1.5.2. Les lipides .....	6
1.5.3. Les protéines .....	8
1.5.4 Les micronutriments.....	8
• Vitamines.....	8
• Les minéraux et oligo-éléments.....	9

## **Chapitre II : Fumage, qualité nutritionnelle et propriété sensorielle du poisson fumé**

1. Définition et intérêt u fumage.....	10
2. Différentes techniques de fumage.....	10
3. Le bois et la composition de la fumée.....	11
3.1 Composition chimique.....	13
3.2 Composition physique .....	14
4. Utilisation d'arome de fumée .....	14
5. Propriétés sensorielles des poissons fumés. ....	15
a. Couleur .....	16
b. Gout et flaveur .....	17
c. Texture.....	17
d. Effet des composés phénoliques sur l'odeur.....	17
e. Influence de l'hygrométrie du bois sur la qualité sensorielle.....	18
6. Qualité nutritionnelle des poissons fumés.....	18
6.1 Effet antioxydant.....	19
6.2 Effet microbiologique.....	19
6.3 Effet sur la composition biochimique.....	21

## **Chapitre III : Oxydation des lipides**

1. Les lipides des poissons .....	24
1.1 Sites des dépôts lipidiques.....	24
1.2 Nature des lipides.....	25
2. L'oxydation des lipides.....	26
3. Oxydation du poisson fumé.....	28
3.1 Peroxydation lipidique.....	28
4. Impact de la congélation sur les lipides et les vitamines du poisson.....	29
5. Régulation des processus antioxydants.....	29

## **Partie expérimentale**

### **Matériels et méthodes**

1. L'objectif de l'étude .....	31
2. Matériel méthodes.....	31
2.1. Choix de station.....	31
2.2. Choix de l'espèce.....	31
2.3. Bois de fumage .....	31
2.4. Le fumage.....	32
2.5. Echantillonnage .....	33
2.6. Conservation.....	33
3. Détermination des composés phénoliques totaux.....	33
• Préparation de la poudre de la plante (Eucalyptus, olivier).....	33
• Préparation de l'extrait de la plante.....	33
• Dosage.....	33
4. Activité anti-radicalaire.....	34
5.1 Principe.....	34
5.2 Dosage.....	35
5. Techniques analytiques.....	36
5.1 Analyses physico-chimiques.....	36
5.1.1 Détermination de la teneur en matière sèche et en eau.....	36
5.1.2 Détermination du Potentiel d'hydrogène pH.....	36
5.1.3 Dosage des lipides totaux .....	37
a) Principe.....	37
b) Mode opératoire.....	37
5.1.4 Estimation du degré d'oxydation des lipides du poisson (TBA).....	38
a) Principe de la méthode.....	38
b) Mode opératoire.....	38

c) Expression des résultats.....	39
3.1.4 Détermination de la teneur en protéines.....	39
a) Principe de la méthode .....	40
6. Analyse sensorielle des filets de sardine fumée.....	40
7. Analyses statistiques .....	42

## **Résultats et Discussion**

1. Détermination des composés phénoliques totaux .....	43
2. Activité anti radicalaire (Test au DPPH).....	43
3. Caractéristiques physico-chimiques.....	44
3.1 Teneur en matière sèche et en humidité.....	44
3.3 Evolution du pH .....	47
3.4 Teneur en lipides.....	48
3.5 Estimation du degré d'oxydation des lipides du poisson (TBA).....	50
3.6 Teneur en protéines .....	53
4. Analyses sensorielle.....	54
<b>Conclusion</b> .....	60
<b>Références bibliographiques</b> .....	62

## Introduction

---

Les produits de la mer constituent une source appréciable des protéines et de lipides et peuvent contribuer à la solution du problème posé par l'approvisionnement du pays en viandes.

Dans ce cadre, l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (**FAO**) considère l'assurance de la qualité ; une discipline essentielle qui est la seule en mesure de garantir la sécurité, la salubrité et les caractéristiques fonctionnelles de la pêche.

Le poisson bleu notamment la sardine joue un rôle essentiel dans la nutrition humaine en raison de ses vertus nutritionnelles mais aussi technologique et organoleptiques. Les lipides de la sardine (*Sardina pilchardus*) ont une des caractéristiques nutritionnelles importantes du fait de leur forte teneur en acide gras oméga-3 (**Broadhurst et al, 2002 et Kinsella, 1986**). Les avantages nutritionnels de la consommation de la sardine sont principalement imputables aux effets de l'oméga-3 ; les acides gras polyinsaturés (AGPI) qui sont signalés à avoir plusieurs avantages pour la santé humaine.

Cependant, ces qualités du poisson peuvent être affectées par le mode de conservation. Dans ce cadre, le fumage reste l'un des méthodes de conservation pratiqués depuis que l'homme avait découvert le feu où il a constaté que la fumée avait un effet bénéfique sur la conservation des viandes et des poissons., Depuis l'apparition des nouvelles techniques de conservation telles que le froid et la conserve., Le fumage est utilisé essentiellement pour donner aux produits finis une saveur et autres qualités organoleptiques spécifiques. Ainsi, il a été utilisé comme moyen d'amélioration des produits se basant sur les propriétés antioxydantes et bactéricides de la fraction phénoliques de la fumée du bois qui prolongent la durée de vie des aliments.

Bien que, la fumaison consiste à exposer un aliment à l'action de composés gazeux qui se dégagent lors de la combustion de certains végétaux (hors résineux). La fumée est produite soit d'une façon traditionnelle, qui provienne généralement des copeaux de bois soit dans un générateur de fumée. Il existe plusieurs techniques de fumage ; à froid, à chaud et électrostatique. Selon **Pôle Aquimer (2010)**, la qualité des produits fumés dépend de la composition de la fumée qui elle-même dépend surtout de la nature du bois, de sa température de combustion, ainsi que la vitesse de l'air. Quelle que soit la méthode employée, la couleur, l'odeur et la saveur des produits fumés varient selon la nature du bois utilisé. On

## Introduction

---

admet en général que seule une fumée provenant de la combustion d'un bois dur comme le hêtre, le chêne ou le noyer, donne un produit fumé de bonne qualité.

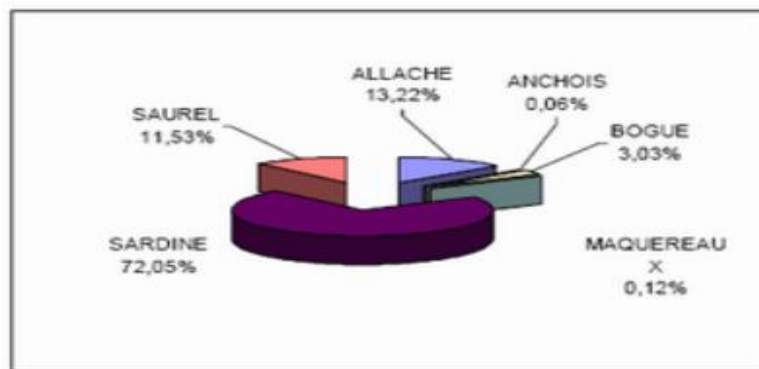
La présente étude se segmente en deux parties :

- Une partie bibliographique, dans laquelle nous avons apporté des rappels sur :
  - Les poissons pélagiques ; tels que la sardine, sa reproduction, nutrition, et sa composition biochimique.
  - Le fumage, qualité nutritionnelle et propriétés sensorielles du poisson fumé.
  - Oxydation des lipides du poisson.
- Une partie expérimentale, visant à étudier les effets de la nature du bois de fumage (Eucalyptus et, Olea) sur l'amélioration des propriétés sensorielles et nutritionnelles de la sardine « *Sardina pilchardus* », ainsi que l'évolution qualitative au cours du stockage a été étudiée afin déterminer l'aptitude à la conservation (à +4°C et à -18°C), et ceci en comparant avec des sardines traitées par la fumée liquide.

Les poissons pélagiques notamment la sardine constituent une source importante de nutriments pour l'homme. Ils sont très riches en protéines, en lipides en vitamines et en minéraux.

### 1. Les petits poissons pélagiques

On qualifie de « pélagiques » les poissons vivant dans la zone entre la surface et le fond. Les poissons pélagiques, également appelés « poissons bleus », regroupent plusieurs centaines d'espèces, ayant des caractéristiques communes : une coloration bleue sombre sur le dos et argentée sur le ventre sensée les protéger des prédateurs, une forme allongée et un mode de vie souvent grégaire. Sardine, hareng, maquereau, anchois et thon sont les principales espèces de poissons pélagiques (**figure 01**). Les petits pélagiques sont également estimés par les consommateurs sous toutes ses diverses formes (frais, en conserves, marinades et salaisons).



**Figure 01:** proportion des espèces dans les captures (source DPRH 2004).

Dans cette synthèse, l'appellation « petits pélagiques » désigne l'ensemble des poissons pélagiques, à l'exclusion des thons, bonites, marlins, qui sont de « gros » pélagiques.

Les poissons pélagiques représentent 40 à 50 % des captures totales mondiales. Ces espèces, telles que les petits pélagiques gras ou poissons bleus : chinchards, sardines, maquereaux, sont abondantes mais peu exploitées. Ces espèces représentent une matière première de faible coût comparé notamment à celui des poissons blancs.

## 1.1. La sardine

Le terme « sardine » est apparu au XIII<sup>e</sup> siècle, sardinae littéralement « poisson de Sardaigne ». La nomenclature courante de la sardine est *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) (Figure 02). En tant que groupe, les sardines comptent quelque 18 espèces réparties sous trois genres, à l'échelle mondiale (Culley, 1971).



**Figure 02** : photographie de la sardine (*sardina pilchardus*).

Noms Vernaculaires FAO :

UK-Européen pilchards

Es- Sardina

Fr- Sardine commune

## 1.2 Classification et position systématique

**Règne** : Animalia

**Embranchement** : Vertèbres.

**Sous- Embranchement** : Gnathostomes

**Super- classe** : Poisson

**Classe** : Osteichthyens

**Sous -classe** : Actinopterygiens

**Super -ordre** : Téléostéens.

**Ordre** : Clupiformes.

**Sous-ordre :** Clupeoides.

**Famille :** Clupeidae.

**Genre :** Sardina.                   **Espèce :** pilchardus.

**Nom binominal :** Sardina pilchardus (Walbaum, 1972).

### **1.3 Nutrition**

La sardine est une espèce planctophage. Les jeunes se nourrissent de phytoplancton ainsi que d'œufs et de larves de petits crustacés. Les adultes consomment surtout des crustacés planctoniques (Copépodes), mais également différentes larves présentes dans le zooplancton (crabes, ophiures, ...) (Quéro, 1984).

Il existe ainsi toute une chaîne ou chaque maillon se nourrit par filtration des organismes sensiblement plus petits que lui (Sargent et al, 1989). Cela commence avec les minuscules algues unicellulaires planctoniques (quelque microns) filtrées par les crustacés eux même récupérés par les poissons pélagiques, sardine, anchois qui sont la proie des poissons de plus grande taille l'analyse des contenus stomacaux montre l'abondance des larves de crustacés alors que l'on retrouve dans les contenus stomacaux des jeunes, principalement du phytoplancton représenté par les diatomées (Furnestin, 1959).

### **1.4 Reproduction**

La reproduction a lieu en haute mer ou près des côtes à différentes époques de l'année suivant la localité. Les alevins retournent près des côtes et y restent jusqu'au début de l'hiver, la sardine femelle pond 50.000 à 60.000 œufs pélagiques mesurent environ 1.5 mm (Muss et al, 1998).

Les œufs éclosent au bout de 2 à 4 jours. Les larves mesurant 4 mm de longueur, ils deviennent murs après deux années, atteignant une longueur de 20 cm et 26 cm maximum à 15 ans (Alvarez, 1992 ; Morales et al, 1980). La sardine se reproduit principalement en hiver à des températures 16-17°C et secondairement en été à des températures de 18-19,5 (Ettahiri et al, 2003).

Les pontes sur les côtes Algériennes ont lieu lorsque la température est comprise entre 14 et 15 C° (Khoja, 1976).

### **1.5 Composition biochimique de la sardine**

La composition biochimique de la sardine varie considérablement d'une espèce et d'un individu à l'autre selon l'âge, la maturité sexuelle, les changements de saison, les cycles alimentaires, le comportement migratoire (Corraze et Kanshik, 1999).

**Tableau 01 : Valeur calorique de la sardine (Santé Canada. Fichier canadien sur les éléments nutritifs, 2005).**

Poids/volume	Sardine de l'atlantique, en conserve dans l'eau, égouttée avec arêtes, 100 g
Calories	208
<b>Protéines</b>	24.6 g
Glucides	0.0 g
Lipides	11.5 g
• Saturés	1.5 g
• Monoinsaturés	3.9 g
• Polyinsaturés	5.2 g
• Oméga 3	1.5 g
• Cholestérol	142 mg
• Fibres alimentaires	0.0

**1.5.1. La teneur en hydrate de carbone** du muscle est très faible, habituellement inférieure à 0.1% et se présente sous forme de glycogène.

**1.5.2. Les lipides** présents dans les espèces de poisson peuvent être divisés en deux groupes principaux : les phospholipides (65%) et les triglycérides (35%).

- **Les phospholipides** constituent la structure intégrale des membranes des unités cellulaires et, sont de ce fait appelés souvent lipides structuraux.
- **Les phospholipides** sont constitués de fraction la plus importante en phosphatidyl-éthanolamine (69%), de la phosphatidyl-choline (19%) et de la phosphatidyl-sérine (5%).
- **Les triglycérides** sont des lipides utilisés pour entreposer l'énergie dans les dépôts de graisse, habituellement à l'intérieur de cellules spéciales entourées d'une membrane de phospholipide. On appelle souvent les triglycérides de graisses de dépôt (Aubourg et al, 1998). Les poissons peuvent être classés en espèces maigres ou grasses suivant la façon

dont ils stockent les lipides pour l'énergie. Les poissons maigres utilisent le foie comme réservoir d'énergie tandis que, les poissons gras répartissent leurs lipides dans les cellules grasses à travers tout leur corps. Les cellules grasses constituent les dépôts de lipides, elles sont typiquement situées dans les tissus sous-cutanés, dans les muscles de la paroi abdominale et dans les muscles animant les nageoires et la queue. Les lipides du poisson diffèrent des lipides des mammifères, la différence principale tient au fait que les lipides du poisson incluent jusqu'à 40% d'acide gras à longue chaîne (14 à 22 atomes de carbone) qui sont hautement insaturés tels que les acides linoléique, linoléinique, arachidonique, l'acide eicosapentaénoïque (**Bouderoua et al, 2008**).

**Tableau 02:** La composition des acides gras dans les filets de sardines (AG identifiés en %), (**Bouderoua et al, 2008**).

	<i>Février</i>	<i>Juin</i>
n-6	<b>4.73</b>	<b>3.48</b>
C18:0	<b>5.92</b>	<b>4.98</b>
C16:0	<b>24.21</b>	<b>24.18</b>
C18:1 (n-9)	<b>12.95</b>	<b>13.74</b>
EPA	<b>10.49</b>	<b>10.57</b>
DPA	<b>1.70</b>	<b>1.55</b>
DHA	<b>25.48</b>	<b>26.59</b>
Rapport n-3/n-6	<b>8.62</b>	<b>11.86</b>

**Tableau 03:** Teneur des EPA, DPA et DHA (en mg/100g) dans le filet de sardine (**Bouderoua et al, 2008**).

	<i>Février</i>	<i>Juin</i>
EPA C20:5	<b>126.46</b>	<b>571.25</b>
DPA C22:5	<b>20.57</b>	<b>84.04</b>
DHA C22:6	<b>307.07</b>	<b>1445.46</b>

**1.5.3. Les protéines** des tissus musculaires du poisson peuvent être divisées en trois groupes (D'après Haard, 1992).

- **Les protéines structurales** (actine, myosine...) qui constituent de 70 à 80% de la teneur totale en protéines.
- **Les protéines sarcoplasmiques** (myoalbumine, globuline et enzymes) cette fraction représente de 25 à 30% des protéines.
- **Les protéines du tissu conjonctif** (collagène) qui constituent 3 à 10%.

**Tableau 04 :** Teneur des différentes fractions protéiques dans le poisson  
(D'après Haard, 1992).

	Protéines sarcoplasmiques (%)	Protéines myofibrillaires (%)	Protéines du tissu conjonctif (%)
Poisson en général	10-25	70-90	3-10
Poisson bleu gras	<b>21</b>	<b>76</b>	<b>3</b>

#### 1.5.4 Les micronutriments

- **Vitamines**

Le contenu en vitamines de la chair des poissons est très variable selon l'espèce, la saison et la zone géographique d'habitat, mais comme pour les lipides, le facteur majeur de variation est l'apport alimentaire. Les vitamines liposolubles sont plus concentrées lorsque la chair est grasse et contiennent des quantités appréciables de vitamines A, D et E (Southgate et Greenfield, 2007)

La préservation de l'intégrité des acides gras de la chair par la vitamine E permet une meilleure conservation des qualités nutritionnelles du produit au cours du stockage (Médale et al, 2005).

**Tableau 05 : teneur en vitamine de la sardine (Murray et Burt, 1969).**

Vitamines	Chair de la sardine
A (UI /g)	20-400
D (UI/g)	100-300
B1 : thiamine (mg/g)	0.4
B2 : Riboflavine (mg/g)	3,0
Niacine (mg /g)	40
Acide pantothénique	10
B6 (mg/g)	4,5

- **La vitamine D** : la sardine est excellente source de vitamine **D**. La vitamine D est étroitement impliquée dans la santé des os et des dents, en rendant disponible le calcium et le phosphore dans le sang, entre autre pour la santé et la croissance de la structure osseuse (Veit, 1986).

- **Les minéraux et oligo-éléments**

Les organismes aquatiques puisent ces micronutriments à la fois dans leur nourriture et dans l'eau. L'apport par l'eau est bien plus important pour les poissons marins que pour les poissons d'eau douce. La chair de poisson contient plus de 60 micro-éléments (Murray et al, 1969). Les minéraux sont stockés en majorité dans le squelette, cependant on en trouve aussi dans la chair des poissons.

1. **Le potassium** est l'élément minéral le plus abondant, sa concentration est semblable à celle des viandes (300 à 500 mg/kg). La chair de poisson se caractérise aussi par sa richesse en phosphore (8 à 15 fois plus que les viandes) qui est apporté majoritairement par l'alimentation.
2. **Le calcium**, que le poisson puise dans l'eau, est présent en faible quantité dans la chair.
3. **Le sodium**, contrairement à sa réputation, le poisson n'apporte pas davantage de sodium que les viandes.
4. **Le sélénium**, est considéré comme une source majeure de sélénium pour l'alimentation humaine. Dans la chair, le sélénium est principalement associé aux protéines solubles (Lall et Lewis-McCrea, 2007).

Le fumage comme étant l'une des plus anciennes méthodes de conservation d'aliments de plusieurs siècles. Cependant, en technologie alimentaire de la vie moderne, le processus fumage ou arôme de fumée a changé son objectif principal et devenu avant tout comme une opération de saveur, et préservation des aliments. Selon **Poligne, 2011**, certains composés volatils de la fumée pénètrent dans le produit qui inhibe la croissance des bactéries et donnent un goût spécifique au produit (**P. Sebastian et al, 2005**).

### **1. Définition et intérêt du fumage**

Le fumage ou fumaison consiste à exposer un aliment à l'action de composés gazeux qui se dégagent lors de la combustion de certains végétaux (hors résineux).

La fumée est produite soit d'une façon traditionnelle, qui proviennent généralement des copeaux de bois, ou de sciure de bois directement en-dessous de la viande suspendue ou dans un générateur de fumée (**Fidel Toldrà et al 2010**). La deuxième méthode est appliquée par injection d'air contenant des arômes de fumées obtenue par condensation de la fumée produite par pyrolyse de bois (**Pole, 2010**).

### **2. Différentes Techniques de fumage**

Il existe plusieurs techniques de fumage ; à froid, à chaud et électrostatique :

Le fumage est dit « à froid » lorsque la température ne dépasse pas +30 °C. Cette technique est traditionnellement pratiquée dans les pays tempérés sur des produits des viandes fragiles ou devant subir une conservation prolongée préalablement traités (macérés dans le vinaigre par exemple) tels que le jambon ou les saucisses fermentées, emballés sous vide et réfrigérés, ces produits se conservent jusqu'à six mois (**Manfred Werlich, 2001**). Il ne nécessite pas de cuisson et augmente la tendreté du produit. Cette technique prend relativement plus de temps et demande un contrôle strict de la température.

Le fumage est dit « à chaud » lorsque la température dépasse + 30 °C et peut atteindre + 70 °C. A cette température d'ailleurs, on assiste à une cuisson partielle, voire totale qui peut provoquer la coagulation des protéines des préparations qui y sont soumises. Cette technique est plus courte que la première. La cuisson rend la texture plus dure mais donne une durée de conservation plus longue (**Joumala Sidi Hida, 2013**). Au cœur des morceaux la température doit atteindre 65 °C durant 30 minutes au moins afin de garantir la destruction des bactéries.

Le produit se conserve de 6 à 8 jours s'il est stocké à une température de 5 °C environ (**Pole Aquimer, 2010**).

Il existe une autre méthode de fumage à chaud est le boucanage, est une méthode traditionnelle de fumage à chaud encore pratiquée en Amérique du Sud, en Afrique et dans les Antilles françaises pour conserver viandes et poissons. Le procédé consiste à placer la viande ou le poisson à conserver au-dessus d'un feu étouffé et de le laisser dans la fumée plusieurs heures. La fumée est souvent générée à partir de bagasse (résidu fibreux) de canne à sucre (**Pole Aquimer, 2010**).

En fin, le fumage électrostatique est compatible avec une mise en œuvre en continu (ex. dans un tunnel). Il consiste à charger électriquement les particules de fumées. Ce phénomène d'ionisation est obtenu par une génératrice haute tension (15-50 kV) et faible intensité (0.6 à 2 mA). La fumée chargée alimente un tunnel dans lequel passent les produits posés sur des grilles ou un tapis chargés électriquement mais en polarité inverse (**Joumala Sidi Hida, 2013**).

### **3. Le bois et la composition de la fumée**

Le bois est la source même de la fumée., La composition chimique qui aura un rôle essentiel sur celle de la fumée, qui est essentiellement composé de cellulose, d'hémicellulose et de la lignine (**Sainclivier, 1985**). En général, les bois durs contiennent plus de cellulose et d'hémicellulose que les bois tendres (**Maga et al, 1985**).

Quelle que soit la méthode employée, la couleur, l'odeur et la saveur des produits fumés varient selon la nature du bois utilisé (**Tableau 06**). Selon **Pole Aquimer (2010)**, la qualité des produits fumés dépend de la composition de la fumée qui elle-même dépend surtout de la nature de bois, de sa température de combustion, ainsi que la vitesse de l'air.

On admet en général que seule une fumée provenant de la combustion d'un bois dur comme le hêtre, le chêne ou le noyer donne un produit fumé de bonne qualité. Toutefois dans certains pays tels que la Russie, le Canada, l'Ecosse, l'Allemagne, des copeaux de bois tendre ou même de la tourbe et parfois des feuilles sont utilisées avec succès. Les générateurs de fumée utilisent des copeaux calibrés, préalablement séchés ou de la sciure (**Knockaert, 1995**). D'après **Pole Aquimer (2010)**, il est interdits d'utiliser des bois résineux, car ils confèrent une saveur acide au produit fumé, et peuvent générer une formation plus importante de 3-4 benzopyrènes (hydrocarbures polycycliques cancérigènes).

**Tableau 06 :** Essences d'arbres et de plantes utilisés en fumaison (**Pallu, 1971**)

Espèces	Couleur et son intensité	Saveur	Remarques particulières
<b>BOIS DURS(les meilleurs)</b>			
Chêne Hêtre	Jaune foncé à brun Jaune clair	Excellente	-Fumée très dense et supérieure -Utiliser en mélange au chêne de préférence pour le poisson
Noyer Acajou	Jaune foncé à brun Brun doré prononcé	Agréable	Coloration rapide Utiliser en mélange
Frêne, orme, charme Châtaignier, Arbre fruitiers	Jaune	Bonne	Utiliser en mélange
<b>BOIS TENDRES</b>			
Telleul Bouleau, peuplier. saule	Jaune Quelconque	Moyenne Quelconque	Utilisation courante en mélange au hêtre
Aulne	Jaune doré à brun	Moyenne	Utilisation courante en mélange au hêtre
Sarments de vigne	Brun doré	Excellente et peu prononcé	Fumée peu dense
<b>CONIFERES</b>			
Pin. Sapin et conifères	Médiocre avec dépôt de suie	Acre et résineux	A proscrire
Genévrier (ou baies)	Brun sombre	Très odoriférante	Utiliser en petite quantité
<b>ARBUSTES ET PLANTES AROMATIQUES</b>			
Bruyère sèche Romarin sec Laurier sec. genêt	Très belle	Très fine	Rarement utilisée Utiliser en petite quantité
Thym. Marjolaine, Sesc Sauge sèche		Parfumée	Utiliser en petite quantité

Bien que de nombreuses recherches ont été menées sur l'effet des paramètres de génération, sur la composition de la fumée, il n'est toujours pas possible de prédire précisément le contenu des divers composés de la fumée.

Les nombreux composants de la fumée diffèrent dans leurs propriétés chimiques et physiques:

### **3.1 Composition chimique**

Elle est très variable selon la température et la quantité d'air présente lors de la pyrolyse. On y trouve des phénols, alcools, acides organiques, composés carbonylés, dans le cas d'une combustion mal conduite, il y a la formation de goudrons et de molécules cancérigènes telles que le 3-4 benzopyrène, et hydrocarbures, qui peuvent être limités avec une température de pyrolyse de 450 °C (**Talon et Girard, 1980**).

Le contenu total des phénols dépendent du type du bois, la température et la densité de la fumée. Selon différentes données, la teneur peut être de 10 à 200 mg/m<sup>3</sup> ; le rendement en phénols à partir de 100g de différentes gammes de bois est de 50 à 5000 mg (**Fidel Toldrà et al, 2010**).

Un des groupes importants des constituants de la fumée du bois contient des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques. Dans la fraction d'environ 20 hydrocarbures aliphatiques, le composé présent en plus grande concentration est le méthane (**Fidel Toldrà et al, 2010**).

La température de combustion conditionne la composition de la fumée, qui se croit avec la température de combustion. L'application d'une température de pyrolyse inférieure à 450 °C permet de limiter la production de ces composés nocifs. Elle doit cependant rester supérieure à 350-375°C pour que la production de phénols ait effectivement lieu. La quantité de composés carbonylés augmente entre 200°C et 600°C, celle des phénols entre 400°C et 600°C et celle des acides entre 300°C et 350°C. Une fumée dite de « qualité alimentaire » (non toxique) est obtenue à une température de combustion de l'ordre de 350°C à 400°C (**Pôle Aquimer, 2010**).

La température de dégradation thermique dans les constituants du bois : les hémicelluloses, la cellulose et la lignine ; varie de 180 à 300°C, 260 à 350°C, et 300 à 500 °C, respectivement (**Fidel Toldrà et al, 2010**).

### **3.2 Composition physique**

La fumée de bois est composée de deux phases en équilibre : une phase gazeuse continue, et une phase liquide constituée de fines gouttelettes en suspension. Cette phase représente environ 90 % de la fumée ; ses particules mesurent en moyenne 0.1  $\mu$ , sont peu soluble et ont des points d'ébullition élevés. Pour un constituant donné, à une température définie, il y a un équilibre entre la forme gaz et la forme dissoute dans la phase particulaire. Cet équilibre se rétablit de lui-même si l'une des formes est appauvrie par fixation sur le produit de la mer (**Sainclivier, 1985**).

La proportion des différents constituants de la fumée dans les deux phases dépend non seulement de leur composition chimique, mais aussi des conditions de la génération de la fumée de la température et la turbulence dans le conduit menant de la génératrice au fumoir.

### **4. Utilisation d'arôme de fumée**

Selon le **ministère de l'économie de finances et de l'emploi (France, 2005)**, l'arôme de fumée est utilisé en France d'après le règlement N°2065-2003 relatif aux arômes de fumée, et l'arrêté du 11 juillet 1991, informe sur les critères de la qualité et la pureté des arômes où l'apport en Benzo(a)pyrène par l'arôme de fumée doit être inférieur à 0,03  $\mu$ g/kg. La législation française permet l'emploi de ces arômes, à condition que soit portée sur le produit, la mention : « au gout fumé » ou « arôme fumé » doit figurer dans la liste d'ingrédients (**Pôle Aquimer, 2010**).

Les industriels Américains et Canadiens dans les années 1970 proposèrent une fumée naturelle, extraite par condensation de la fumée produite par pyrolyse de bois du chêne ou du hêtre ou autre bois, le condensat obtenu est traité par filtration et décantation de manière à éliminer les résidus de goudron et de 3-4 benzopyrène.

Il existe actuellement différents procédés d'utilisation des fumés liquides en toute sécurité, et garantie de santé, par : trempage, atomisation, et incorporation.

L'utilisation se fait par trempage direct du produit dans une solution pendant une durée variable (60 secondes), cette méthode donne une couleur satisfaisante au produit mais la saveur de fumée est très faible.

Une autre méthode consiste à pulvériser l'arôme par atomisation, à l'aide d'un mélange produit-air sous pression, on obtient ainsi un brouillard ayant l'aspect de la fumée dans l'enceinte de fumage. Les résultats obtenus se rapprochent davantage d'un produit fumé de façon classique. Elle suppose une très bonne maîtrise, sous peine d'aboutir à des produits finis très âcres sur les quels la fumée liquide aura seulement été déposée au lieu d'y être adsorbée (**Camille Knockaert, 1995**).

La fumée liquide est mise directement au contact des produits dans le malaxeur par une addition directe. La rotation et le vide assurent une répartition homogène de la fumée. Cette technique est généralement utilisée pour donner juste le gout fumé. Cette technique nécessite la fabrication d'un arôme que devra être fixé sur un support, par exemple des supports poudres (maltodextrines, farine de maïs, levures), des supports huiles, etc.

Outre les fumées liquides, il y a des huiles de fumée ou de la poudre de fumée. Les huiles de fumée contiennent 90 % d'huile végétal et 10 % d'extrait de fumée. Les poudres ont pour support de la maltodextrines de blé. Les huiles et les poudres sont utilisées uniquement en incorporation directe (**Pôle Aquimer, 2010**).

Par rapport à un fumage classique, la fumée liquide peut présenter les avantages suivants : suppression des risques d'incendie, absence de composés cancérigènes, suppression des rejets de fumée à l'extérieur de l'atelier de fumage, pas de stockage de sciures dans les ateliers, meilleure homogénéité de fumage, investissement moins onéreux (**Pôle Aquimer, 2010**).

### **5. Propriétés sensorielles des poissons fumés**

Les propriétés sensorielles des produits fumés souhaitables dépendent de l'action combinée de salage, d'assaisonnement, de pré-séchage, fumage et chauffage, et aussi dans certains cas de la couleur. Les composés de la fumée induisent par la combinaison fumée-couleur et en interagissent avec les composants des poissons, entraînant la création d'autres substances actives des propriétés sensorielles, interactions avec les constituants azotés du poisson peuvent conduire à un certain changement de la texture.

L'intensité de la modification sensorielles souhaitée induite par le fumage, dépend du type des produits fumés, certains assortiments sont prévus en vue d'acquérir uniquement une légère note de fumée, tandis que pour d'autres, principalement des produits fumés régionaux, un fumage important doit être appliqué en fonction des préférences du consommateur.

### **a. Couleur**

La couleur développée sur la surface des produits est due à la présence des composants chimiques de la fumée, et aux interactions des composés réactifs avec ceux du poisson. Selon **Ziamba, 1969 et Ruiter, 1979**, une part significative qui contribue à la formation de la couleur des produits fumés vient à partir des réactions des composés carbonylés, essentiellement glyco-aldéhyde ( $\text{HC} (=O)\text{-CH}_2\text{-OH}$ ) et méthyl-glyxal ( $\text{CH}_3\text{-CO-CH=O}$ ) présents principalement dans la phase vapeur de la fumée, avec les groupes aminés des protéines et les composés azotés non protéiques (**Fidel Toldrà, John Wiley et Sons, 2010**).

D'après **Pôle Aquimer 2010**, les avis des auteurs sont partagés sur l'origine de cette coloration : soit cette coloration serait due essentiellement aux composés carbonylés, via des réactions de type Maillard ; soit la coloration serait d'autant plus intense que la fumée est chargée en goudron ; soit la coloration serait proportionnellement à la quantité de phénols.

L'intensité  $J$  de la couleur des produits de la fumée est principalement liée à la densité optique de la fumée  $E_0$  et le temps de fumage  $\tau$  ( $J = k \cdot E_0 \cdot \tau$ ) (**Fidel Toldrà, John Wiley et Sons, 2010**).

La valeur de  $k$  augmente avec l'augmentation des températures et la vitesse de la fumée. La haute température favorise le développement de couleur sombre, car elle augmente la concentration des composants de la phase de dispersion. Parmi les composés carbonylés qui réagissent avec ces acides aminés, les plus importants sont : l'aldéhyde glycolique, le méthylglyoxal, le formaldéhyde. Ces trois composés contribuent à 85 % du brunissement total ((**Ruiter, 1979**) ; **Camille Knockaert, 1995**).

Le type de bois utilisé pour la production de fumée est également important. Le fumage avec hêtre, érable, frêne, de la fumée d'arbres conduit à la couleur jaune dorée, une couleur jaune brunâtre provient de la fumée de chêne, de noix, et de l'aulne, de couleur citron provenant d'acacia. Les produits traités avec de la fumée à partir du bois de conifères ont une coloration sombre foncée (**Fidel Toldrà, John Wiley et Sons, 2010**).

Une étude a montré l'effet de la température et la durée de fumage/séchage sur la qualité sensorielle du poisson Tilapia, une température de 60 °C pendant 15 h et de 70 °C pendant 10h a donnée une meilleure couleur et apparence, tandis que le poisson fumé à 70 °C pendant

15 h avait un mauvais attribut de qualité est ainsi évalué le plus bas (**Idah, Peter Aba Nwankwo, Ifannyi, 2013**).

### **b. Gout et flaveur**

Les composés de la fumée sont les facteurs dominants, directement responsables de flaveur « fumée ». Les produits de décomposition thermique de la cellulose et les hémicellulose sont une résultante de caramélisation et de saveur fruitée et florales, tandis que les phénols générés par la décomposition de la lignine contribuent à la fumée associée de la saveur d'épices, vanille, et de trèfle. Un grand nombre de publication mentionnent la contribution essentielle des phénols à la flaveur typique des produits fumés entre autre (**Maga 1987 et Girard 1988, Camille Knockaert, 1995**).

Divers fractions de condensat de fumée séparés par chromatographie révèlent des saveurs différentes, y compris fruitée, comme le di-acétyle, épicé, de hydrolysats de protéines, ou celle de pain fraîchement cuit. Une fumée trop épaisse, grisâtre, contient des goudrons acides qui communiquent au poisson traité une saveur désagréable (**Camille Knockaert, 1995**).

Le gout fumé est le résultat des propriétés sensorielles des constituants de la fumée, principalement les phénols et de nombreux composés carbonylés, ainsi que divers produits de l'interaction avec des protéines et des lipides. Quelques résultats des expériences soulignent le rôle majeur de la fraction de condensats de fumée contenant gaïacol et ses quatre dérivés, l'eugénol, phénol, les crésols 3,4- éthylphénol, 3 xylénols, et l'acide tyglique (**Fidel Toldrà, John Wiley et Sons, 2010**).

### **c. Texture**

Il y a d'abord une action de la chaleur pendant la cuisson préalable puis pendant le fumage ; de plus, les constituants même de la fumée ne modifient qu'un peu la texture.

Les modifications engendrées par le fumage sur la texture sont dues à ; une déshydratation du produit, une remontée à la surface des matières grasses, une dénaturation des protéines du tissu conjonctif (**Saincliver, 1985 ; Camille Knockaert, 1995**).

### **d. Effet des composés phénoliques sur l'odeur**

Selon une étude menée par **Mireille Cardinal** et ces collaborateurs (**2006**) sur, l'effet du processus de fumage sur les caractéristiques de l'odeur de hareng fumé et la relation avec la

teneur en composés phénoliques. Dans le cadre d'un fumage traditionnel par pyrolyse de la sciure, la perception sensorielle est légèrement affectée par une augmentation de la température de fumage jusqu'à 16 °C, les échantillons fumés ont des scores plus faibles pour l'intensité globale de l'odeur par rapport à ceux fumés à 24 °C ou 32 °C. Principalement, lorsque les températures de fumage entre 16 °C et 24 °C, les odeurs des échantillons deviennent « phénolique » et « caoutchouc », tandis que les échantillons fumés à 32 °C ont une odeur globale la plus forte.

L'intensité globale de l'odeur augmente généralement avec la température appliquée dans le fumoir, les caractéristiques sensorielles des échantillons fumés à 16, 24, 32 °C sont très proches, la teneur en composés phénoliques semble bien liée à l'odeur fumée, cette étude suggère que l'o-crésol, p-crésol et, dans une mesure, le gaiacol et le 4-éthyl-4-propyl gaiacol sont les principaux composants impliqués dans une odeur. L'étude de la relation entre les descripteurs sensoriels et le pourcentage de chaque composé phénolique conduit à l'hypothèse que syringol, isoeugenol n'ont pas d'effet détectable sur les odeurs de fumée. En effet, de nombreux autres composés volatils ont été identifiés comme les cétones, les aldéhydes, les acides, les alcools, les esters, les furannes, les lactones et d'autres molécules (Maga, 1987).

### **e. Influence de l'hygrométrie du bois sur la qualité sensorielle**

Selon **Ruiter (1979)**, l'humidité du bois influence sur le taux d'aldéhydes glycoliques et de méth-ylglyoxals dans la fumée et de ce fait la coloration du produit. Un taux élevé d'humidité du bois produit une fumée riche en acides et carbonylés, et pauvre en phénols d'où une saveur du produit fumé plus acide (**Girard, 1988**). L'optimum semble être une humidité de 17 à 20 % dans la sciure (**Saincliver, 1985**).

## **6. Qualité nutritionnelle des poissons fumés**

### **6.1 Effet antioxydant**

Les acides gras (et particulièrement polyinsaturés) des aliments sont très oxydables. Cette oxydation résulte de la formation d'hydroperoxydes par une réaction en chaîne de radicaux libres. Ces hydroperoxydes sont des substances très instables et réactives et donnent de nombreux produits secondaires, notamment les aldéhydes et les cétones de faible poids moléculaire qui sont responsables de l'odeur « rance ». Parmi les composés de la fumée, la

fraction phénolique est en grande partie responsable de l'activité antioxydante et plus particulièrement celle à haute point d'ébullition comprenant le syringol et ses dérivés.

Par contre, certains composés tels que les hydrocarbures ont une activité pro-oxydante.

Selon **Watts et Faulker (1954)**, les lipides dans les viandes et poissons étant résistants à l'oxydation. Les propriétés antioxydantes de la fraction phénolique de la fumée de bois ont déjà été reconnus il y environ 50 ans (**Kurko, 1963, 1966**). Une concentration de 5 % de la fumée liquide, à été démontré de retarder efficacement l'oxydation des lipides dans les galettes de bœufs cuites pendant les 90 jours de stockage à 15 °C (**Estrada Munoz et al, 1998**) (**Fidel Toldrà, 2010**).

### **6.2 Effet microbiologique**

Certains phénols ont un effet bactériostatique sur la croissance de microorganismes. Cependant, dans le cas d'un fumage à chaud, c'est surtout la température qui est à l'origine de l'action antibactérienne. Par ailleurs, l'action du sel est également non négligeable (diminution de l'Aw). Il est important de souligner que les industriels misent plutôt sur le respect des règles d'hygiène et de la chaîne de froid pour la stabilité microbiologique que sur l'action de la fumée (**Pôle Aquimer, 2010**).

La fumée a des propriétés bactériostatiques, voire bactéricides. Cependant, les viandes et les poissons fumés ne sont pas convenablement stables que s'ils sont suffisamment déshydratés ou/et salés (diminution importante de l'activité de l'eau). Il y a donc une corrélation de la chaleur et du sel sur l'action de la fumée. Les recherches en microbiologie des produits fumés s'intéressent plus spécialement aux trois micro-organismes suivants : *Listeria monocytogenes*, *Clostridium botulinum* type E et *Staphylococcus aureus*.

Ces phénols inhibent la croissance bactérienne en prolongeant la durée de la phase de latence. La croissance exponentielle reste inchangée (à moins que la concentration) en phénols ne soit très élevée). Les levures (notamment *Saccharomyces cerevisiae*) et les moisissures sont relativement résistantes à l'action de la fumée. La présence de moisissures parmi la flore des poissons fumés est due à une contamination par la sciure lors de son entreposage à proximité de la matière première (**Camille Knockaert, 1995**).

Divers produits conservés par salaison et le fumage lourd peut avoir une durée de vie même plusieurs mois à température ambiante, tandis que le traitement doux, tel qu'il est appliqué dans la fabrication de certains type de saucisses, donne des produits qui peuvent être conservés que quelques jours au réfrigérateur.

Avec un fumage de 30 minutes à une température de 60-70 °C, le nombre total de bactéries aérobies peut être réduit, plus la température est élevée, plus le temps de traitement est un peu plus efficace (**Camille Knockaert, 1995**).

Selon **Fidel Toldrà, (2010)**, la composition de la fumée retarde la croissance de la microflore dans des saucisses fumée à froid stockées, dont l'effet augmente avec la durée du fumage. Le fumage naturel peut retarder le début de l'écologisation des saucisses testées, causé par mesenteroides *Leuconostic* pendant le stockage.

De nombreux composés de fumée (phénols, acides carboxyliques, et de formaldéhyde) à des concentrations similaires à celles des produits fortement fumées sont efficaces contre divers micro-organismes à différents stades de développement n'est pas égal. Les phénols prolongent la phase de croissance bactérienne proportionnellement à leur concentration dans le produit.

Parmi les agents antimicrobiens plus efficaces de la fumée de bois sont : gaïacol et son méthyle et de propyle dérivés, crésol, pyrocatechol, metylperocachol, 2,6 dimehoxphenol **Soldera et al. (2008)**, ont constaté que le formaldéhyde a un fort effet antibactérien, tandis que les phénols, les résines de gaïacol et leurs dérivés ont un effet anti-moisissure.

**Tableau 07 : Rôle des composés phénoliques (Saintclivier, 1981).**

Composition / Effet	Phénols	Alcools	Acides organiques	Composés carbonylés	PAH nocivité
<b>Antioxydant</b>	Très Important	-	-	-	-
<b>Arôme</b> <b>Odeur</b>	Important (gaïacol syringol)	-	-	Important (composés à chaînes courtes)	-
<b>Couleur</b>	Faible rôle	-	-	Essentiel réaction de Maillard	-
<b>Désinfection</b> <b>Préservation</b>	Bactéricide Bactériostatique	Faible	Par légère augmentation d'acidité	-	-
<b>Observation</b>	Critères de Pénétration dans le poisson	Porteur des autres composés volatiles	-	-	Cancérogènes

### 6.3. Effet sur la composition biochimique

Une étude a été menée sur l'effet du fumage à chaud et le séchage de la viande de renne Par **S. Samples, J. Pickova, E. Wiklund (2003)** qui ont observé que la matière sèche change radicalement avec le traitement, de 25,9 % dans la viande fraîche à 33,8 % en fumé et 66,3 % dans la viande séchée.

La fumée est un agent antimicrobien et anti-oxydant. **Arnim, Ferawati and Yetti Marlida, (2012)**, ont testé l'efficacité de fumée liquide de noix de cocodans la préservation des boulettes de viande. **Arnim et al (2012)**, observent une réduction de la teneur en eau des boulettes de viande traitées avec une concentration de 3 % qui ont été stockés à 4 °C, de 0

jusqu'à 15 jours (75.90% à 69.28% respectivement). La concentration de fumée liquide a eu un effet significatif sur la teneur en eau, teneur en protéine, teneur en matière grasse, et en pH.

**Arnim, Ferawati and YettiMarlid, (2012)**, indiquent que les valeurs de pH étaient significativement plus basses pour une grande concentration de fumée liquide ( $P < 0,05$ ) pendant le stockage à 4°C. De même ils observent que la valeur a été fortement diminuée, de 0 à 7% (6.24 à 0%, 5.71 à 3%, 5.65 à 5%, 5.47 à 7%) de la concentration de la fumée liquide pour tous les jours. Le changement pourrait être lié à l'acide acétique contenu dans la fumée liquide.

L'application de 7% de fumée liquide dans la viande, a augmentée la durée de vie jusqu'à 15 jours de stockage à 4°C, par conséquent les teneurs en pH et en humidité de la viande sont diminués et retardés par rapport au témoin (0%). Le résultat indique que la fumée liquide était un agent de conservation efficace pour la viande étudiée. Il y a un abaissement léger du pH, dû à la formation d'acide qui peut favoriser une bonne conservation.

Dans le cas du poisson, la valeur du pH se situe autour de 6 durant les 3 premières semaines. Il s'acidifie à partir de la quatrième semaine tout en restant cependant supérieur à 5,80 ; rapporte **Camille Knockaert (1995)**.

Des poissons fumés stockés dans des conditions ambiantes pendant 14 jours avaient la plus forte humidité et protéine bruts que les poissons frits (**Holma et al, 2013**).

**Arnim et al (2012)**, rapporte que, les protéines augmentent proportionnellement avec les concentrations de la fumée liquide, pour une concentration de 0% (témoin) à 7%, voir 17.59% à 18.48 % respectivement avec un écart de 4.8 % vis-à-vis le témoin. En revanche elles diminuent avec la durée de conservation De 0 jusqu'aux 15 jours pour les mêmes concentrations, soit de 17.59% à 13.88% pour le témoin, et de 18.48 % à 17.50 pour 7%.

Pour se développer, les bactéries ont besoin d'énergie et d'azote, ainsi que de minéraux et de vitamines. Dans la viande, les bactéries utilisent comme sources d'énergie d'abord le sucre, puis le lactate ensuite les acides aminés libres et enfin la protéine. Comme source d'azote, elles utilisent le nitrate, l'ammoniac, les peptides, les acides aminés ou les produits de la décomposition **Camille Knockaert (1995)**.

De même des études ont montré que, le fumage entraîne une certaine diminution des protéines notamment la lysine et que sa perte est proportionnellement liée à la température et la durée du fumage (**Eyo, 2001**). **Clifford et al, 1980** ont signalé une perte de la lysine de 25 % sur la surface de filet de poisson fumé à chaud et une perte de 12% au centre. D'autres bases d'acides aminés ont été réduites de 6.6 % sur la surface, mais ils sont demeurés inchangés au centre.

Selon **S. Sampels** et ses collaborateurs (**2003**), le processus de fumage réduit la teneur en matière grasse probablement due à la fonte de la graisse, causée par l'augmentation de la température. Une diminution de la teneur matière grasse pendant le traitement a été démontré dans le saumon fumé (**Espe et al. 2001**) et dans les produits de salaisons et séchées de différentes espèces animales (**Paleari, Moretti, Beretta, Mentasti, et Bersani, 2003**). Ceci est en accord avec les résultats de **Chizzolini, Novelli, et Zanardi (1998)**, qui ont montré que les enzymes lipases restent actifs pendant le durcissement du jambon, ce qui favorise la formation des acides gras libres. De même ils ont rapporté que, les lipides polaires, les acides gras libres, le cholestérol et les triglycérides ont été inférieurs dans la viande fumée et séchée par rapport à la viande fraîche. En général, les acides gras saturés ont été augmenté, tandis que les acides gras insaturés ont diminué, ce qui a été indiqué par le contenu en acides gras saturés dans la viande fraîche et fumée (34.8 % et 36.3% respectivement), la plupart des changements dans la composition en acide gras observés après le fumage étaient statistiquement importantes, la différence entre les valeurs de pourcentage réel étaient de petite taille (**S. Sampels, J. Pickova, E. Wiklund, 2003**)

Les lipides de poisson se distinguent des lipides d'autres animaux ou de végétaux par leur forte teneur en acides gras polyinsaturés (AGPI) de la série des Z3, notamment les acides eicosapentaénoïque (EPA) et docosahexaénoïque (DHA). Ces acides gras possèdent des propriétés nutritionnelles recherchées et sont impliqués dans la prévention des maladies cardiovasculaires, cancéreuses et inflammatoires (**Rose & Connolly, 1999 ; Kamal-Eldin & Yanishlieva, 2002**). Cependant, les acides gras polyinsaturés sont très sensibles aux réactions d'oxydation. L'hydrolyse et l'oxydation sont les principales voies d'altérations des lipides au cours de la conservation et de la transformation des poissons. Ces modifications affectent la qualité physico-chimique et sensorielle du poisson.

## 1. Les lipides des poissons

### 1.1 Sites des dépôts lipidiques

Chez le poisson, il existe plusieurs sites de dépôts lipidiques dont les principaux sont le foie, le muscle, le tissu adipeux périveriscéral et le tissu adipeux sous cutané (**Scheridan, 1988**). La répartition entre les différents sites de dépôt varie selon les espèces. Cette différence dans les sites de stockage et dans les teneurs en lipides représente un critère pratique de distinction des poissons.

Les poissons maigres stockent la matière grasse dans le foie qui atteint des taux de 40 à 70 g de lipides pour 100 g de tissu; les muscles de ces poissons sont pauvres en lipides (5 g pour 100 g de chair). Les poissons gras stockent une forte quantité des lipides au niveau musculaire. En effet, la part de lipides présente dans les muscles, plus de 10% des lipides, est supérieure à celle trouvée dans le foie. Les graisses sont sous forme de globules gras extracellulaires dans les muscles et forment des couches sous la peau et dans la cavité abdominale (**Corraze et Kaushik, 1999**). Les poissons à teneur en lipides intermédiaire sont généralement des poissons plats qui accumulent leurs graisses dans le foie mais aussi dans leurs muscles et dans d'autres tissus tels que le tissu adipeux périveriscéral. Chez les poissons gras, la teneur en lipides la plus élevée se situe vers la tête et diminue vers la queue, alors que chez le poisson maigre la teneur en lipide la plus importante est trouvée au niveau de la queue.

La teneur en lipides des muscles dépend de la nature du muscle considéré. Pour les poissons maigres, les muscles rouges contiennent environ deux fois plus de lipides que les muscles blancs. Pour les poissons gras comme le maquereau (**Scomber australicus, 2011**), la teneur en lipides du muscle rouge atteint 19,6 g de lipide pour 100 g de muscle et celle du muscle blanc est de 3,9 g pour 100 g de muscle (**Body & Vlieg, 1989**). La peau peut contenir de fortes quantités de graisses selon les espèces, jusqu'à 50 g de lipides pour 100 g de peau chez le maquereau. Les poissons gras, selon la saison, peuvent également présenter une importante couche de graisse sous-cutanée. La partie ventrale entourant la cavité viscérale et les tissus abdominaux sont généralement riches en lipides.

### 1.2 Nature des lipides

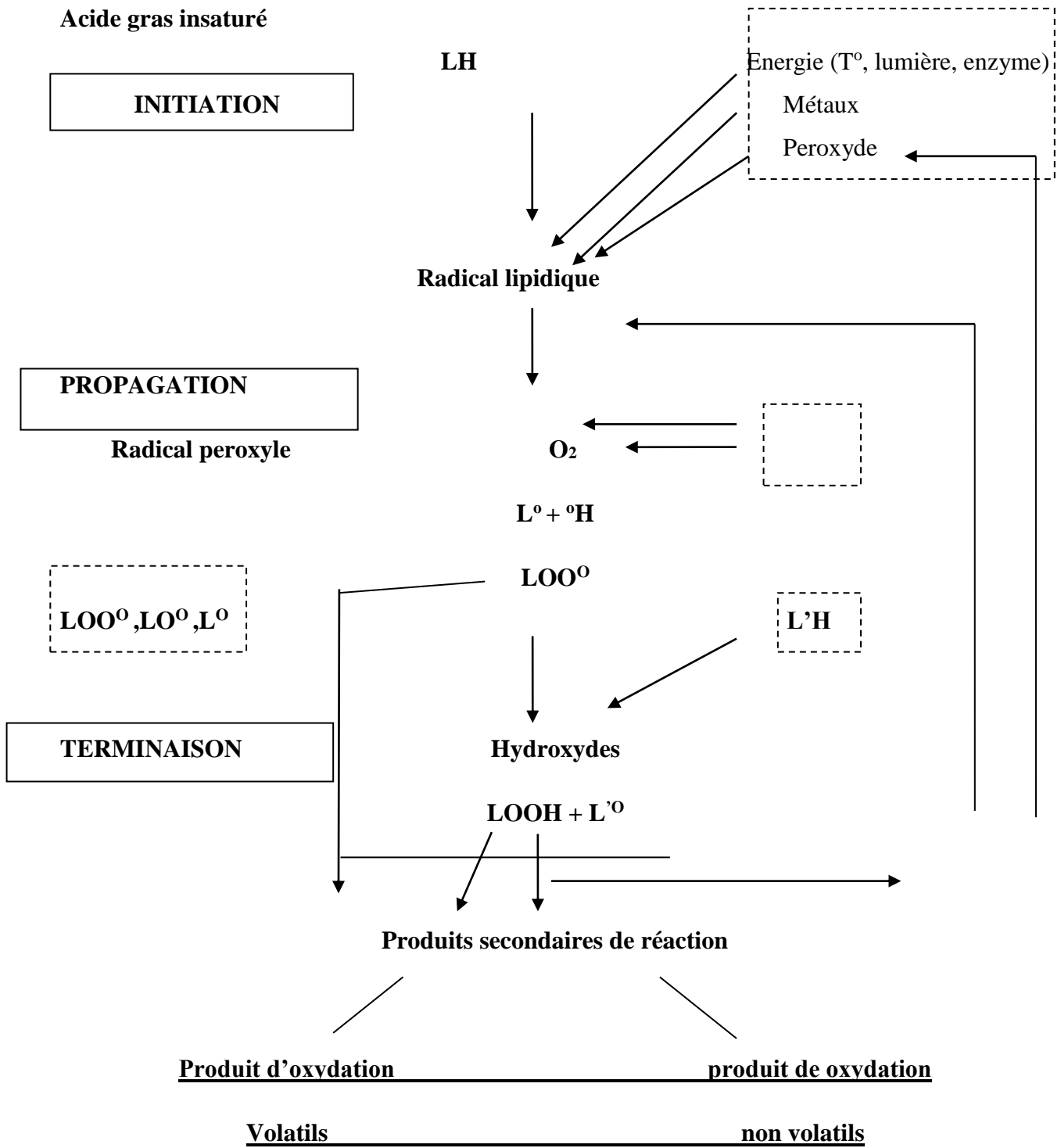
La teneur et la composition lipidique des poissons varient avec l'âge, le cycle sexuel, et les facteurs environnementaux tels que la température et la salinité de l'eau (**Corraze et Kaushik, 1999**).

Les lipides des muscles des poissons maigres contiennent des triglycérides (35% des lipides totaux) et une forte proportion de phospholipides (65%) intimement associés aux protéines car constitutifs des membranes cellulaires. Dans le groupe des poissons gras, la teneur en lipides des muscles varie de 1 à 25 g pour 100 g de muscle. Les lipides sont surtout constitués de lipides neutres, essentiellement des triglycérides. Les diglycérides et monoglycérides étant essentiellement issus de l'hydrolyse des triglycérides au sein du muscle sont présents en très faibles quantités. Les triglycérides sont de type mixte. Les divers acides gras sont répartis d'une manière très hétérogène conduisant ainsi à une grande variété d'espèces moléculaires de triglycérides. Cependant, la répartition entre la position 2 et les positions 1 et 3 est régie par la longueur des chaînes et l'insaturation : les acides gras les plus insaturés ou à plus courte chaîne occupent préférentiellement la position 2. Les lipides polaires, essentiellement des phospholipides, représentent de 10 à 20 g/100 g de lipides totaux. Ils jouent un rôle structural et fonctionnel dans les membranes cellulaires. Ils sont essentiellement représentés par la phosphatidyléthanolamine (plus de 30 % des Phospholipides totaux), et la phosphatidylcholine (plus de 50 % des phospholipides totaux). Ces phospholipides contiennent généralement de fortes proportions d'acides gras polyinsaturés à longue chaîne. Le stéroïde le plus répandu est le cholestérol, sa teneur varie également en fonction des saisons ; pour le maquereau elle peut varier de 36,5 mg/100 g de chair en août à 61,9 mg/100 g en juin (**Krzynowek et coll., 1990**).

## 2. L'oxydation des lipides

La stabilité du muscle vis à vis de l'oxydation dépend de la localisation, de la composition, de la concentration et de la réactivité de trois facteurs : les substrats et les catalyseurs de l'oxydation et les antioxydants (**Decker & Xu, 1998**). Au niveau des tissus vivants, il existe des mécanismes naturels de contrôle de l'oxydation afin de prévenir la destruction oxydative des lipides membranaires, des protéines et des acides nucléiques. Ainsi, il existe une régulation des systèmes prooxydants et antioxydants qui permettent de maintenir la balance entre les facteurs impliqués dans les réactions d'oxydation. La régulation des facteurs pro et antioxydants est perturbée à la mort de l'animal et durant le stockage et la transformation des muscles. Ce dérèglement induit des changements des propriétés biochimiques du muscle (**Hultin, 1994**). Ces modifications sont caractérisées notamment par une augmentation de la teneur en fer libre (**Decker & Hultin, 1990**), une activation des protéines héminiques (**Kanner et coll., 1987**), la dégradation des membranes (**Huang et coll., 1993**). Ces différents facteurs favorisent le développement des réactions d'oxydation qui induisent la dégradation des propriétés biochimiques, organoleptiques et nutritionnelles de l'aliment (**Frankel, 1998**).

Les facteurs qui influencent l'oxydation des lipides sont nombreux. Il s'agit de facteurs intrinsèques tels que la composition en acides gras des lipides (nombre et position des insaturations), la présence de pro oxydants (hème, ions métalliques, enzymes) ou d'antioxydants naturels (tocophérols, caroténoïdes...) et des facteurs externes tels que la température, la lumière, la pression partielle en oxygène, l'activité de l'eau, les conditions de stockage et de transformation (**Hsieh & Kinsella, 1989**).



Aldéhydes, Alcoolsoxy-monomères/-dimères

Esters, Acides

Cétones

Hydrocarbures

Epoxydes

Ether-oxydes (LOL')

**Figure 03** : Schéma général de l'oxydation des lipides (Eymard, 2003).

### 3. Oxydation du poisson fumé

La composition des poissons est sensible à la détérioration par oxydation, elle est due principalement à des concentrations élevées en acides gras insaturés. Bien que l'étude de l'oxydation dans les aliments musculaires a été toujours axée sur la peroxydation des lipides, peu d'entre eux ont montré que les protéines peuvent être également affectées par les réactions d'oxydation (Leo M.L Nollet et Fidel Toldrà, 2009).

#### 3.1 Peroxydation lipidique

Lorsque les membranes phospholipidiques cellulaires sont attaquées par les radicaux libres, une chaîne de réactions peroxydantes s'installe et perturbe la fluidité membranaire (Hong et coll, 2004). Les dégradations oxydatives des lipides conduisent à la formation éventuelle d'hydrocarbures comme le pentane (Dillard et coll., 1978), d'aldéhydes comme le malondialdéhyde ou MDA (Ghosh et coll, 1996). Avec l'acide thiobarbuturique (TBARS) et le 4-hydroxynonanal (4-HNE), ces sous-produits de la peroxydation lipidique sont les marqueurs les plus couramment utilisés dans l'étude des dommages radicalaires induits. La peroxydation lipidique entraîne donc la formation en cascade de nombreux produits qui peuvent à leur tour réagir et dégrader les protéines (Marnett, 1999).

S. Sampels et al, 2003, ont constaté que la viande qui contiennent des quantités modérées d'acide gras polyinsaturés (AGPI), connus pour être plus sensibles à la peroxydation (Cosgrove, Église, et Pryor, 1987 ; Morrissey, Sheehy, Galvin, Kerry, et Buckley, 1998) que les acides gras monoinsaturés (AGMI), Il a été trouvé des teneurs de viande fraîche et fumée à savoir des valeurs faibles en MDA de 0.11 µg /g de matière sèche ; et 0.21 µg /g MS respectivement, de l'acide thiobarbuturique.

Une forte augmentation des TBARS dans la viande séchée est en accord avec les changements de la composition ainsi des acides gras. En général, aucun changement dans le contenu de TBARS après le fumage n'a pu être détecté. Ceci peut être dû à l'ajout de nitrite, qui est connu pour agir comme un antioxydant (Igene, Yamauchi, Pearson, & Gray, 1985 ; Morrissey & Tichivangana, 1985).

#### 4. Impact de la congélation sur les lipides et les vitamines du poisson

Les lipides du poisson conservé à l'état congelé subissent une hydrolyse généralement progressive avec la durée de l'entreposage. Combinés avec l'oxydation, les lipides peuvent rancir, plus vite chez les poissons gras que chez les poissons maigres. Une rancidité oxydative des lipides au cours de l'entreposage réduit la valeur nutritive, avec comme conséquence, une action anti-vitaminique de l'huile rance portant aussi bien sur les vitamines hydrosolubles que liposolubles. La congélation peut altérer les acides gras. Ainsi, les taux d'AGPI n-3 tels que l'EPA et le DHA dans le poisson congelé baissent au cours de l'entreposage (jusqu'à 80% après une durée de 24 mois) (Combe, 2003).

Ce phénomène limite la durée d'entreposage des poissons maigres, tandis que pour les poissons gras c'est l'oxydation des lipides qui constitue le facteur limitant la durée de conservation à l'état congelé.

#### 5. Régulation des processus antioxydants

L'oxydation des lipides peut être minimisée par une supplémentation alimentaire en antioxydants, et plus d'antioxydants pendant le traitement (Freybler, Gray, Asghar, Booren, Pearson, et Buckley, 1993 ; Kanner, 1994). Selon Gray et al (1996), ont constaté que les quantités d'antioxydants comme la Vitamine E, influence sur la vitesse et l'intensité des réactions d'oxydation. En outre Corino et al (1990), on trouvé que la quantité de tocophérol est négativement corrélée aux valeurs de TBARS.

L'état de santé de l'animal est un facteur déterminant de la qualité du muscle. Chez le porc, l'apport AGPI augmente l'activité de la catalase, une des enzymes antioxydante majeure dans le muscle, ce qui indique une demande croissante en défense antioxydante causée par l'introduction des AGPI hautement peroxydable (Young et al, 2005b). Aussi, mis à part la nécessité de garantir le bien-être animal pour limiter la peroxydation des lipides et des protéines et optimiser les qualités de leurs produits, il est possible de supplémenter l'alimentation des animaux en antioxydants naturels ou de synthèse pour limiter les conséquences délétères de la lipoperoxydation dans les viandes.

Les antioxydants liposolubles sont très efficaces, puisqu'une relation linéaire a été établie in vitro entre la concentration croissante en antioxydants liposolubles ( $\alpha$ -tocophérols,  $\beta$ -carotène et lycopéne) et la teneur décroissante en MDA dans une préparation protéo-lipidique (**Flourie et al, 2006**). L'association de différentes sources d'antioxydants (lipophile et/ou hydrophile) a été testée pour, d'une part, limiter les doses supra nutritionnelles d'un seul type d'antioxydant, pouvant avoir des effets nocifs, et, d'autre part, d'améliorer la stabilité oxydative des tissus. Ainsi, chez le poulet l'apport conjoint de vitamine E lipophile (200ppm) et de vitamine C hydrophile (1000ppm) ou d'origan (3%) diminue l'intensité des détériorations oxydatives dues à un stress (**Young et al, 2003a**). Chez la dinde, l'association de vitamine E (100 mg/kg) et d'huile d'origan (100 mg d'huile/kg) s'avère plus efficace dans la protection de la viande vis-à-vis de la lipoperoxydation que l'un ou l'autre de ces antioxydants apportés seul (**Papageorgiou et al, 2003**).

Divers antioxydants de type tocophérols, caroténoïdes et polyphénols ont été retrouvés dans les viandes à l'abattage d'animaux nourris à l'herbe (**Descalzo et al, 2008**). L'action d'antioxydants différents de la vitamine E alors a été testée. Une étude in vitro met en évidence l'effet antioxydant du curcuma entraînant l'inhibition des modifications des protéines par limitation de la formation de liaisons covalentes entre le 4-HNE et des peptides (**Kurien et Scofield, 2007**). Les antioxydants provenant d'extraits végétaux pourraient aussi moduler les systèmes enzymatiques endogènes en améliorant l'activité d'enzymes antioxydant tissulaires (catalase, superoxyde dismutase,...). Ainsi, chez le rat, l'apport alimentaire d'extraits végétaux riches en polyphénols augmenterait l'activité de la catalase dans le foie (**Gladine et al, 2007b**).

Dans le cas de fumage à froid, le goût du produit rance dû à l'oxydation peut être retardé par l'action antioxydante des phénols. Mais l'oxydation des graisses augmente d'autant plus rapidement, au bout d'un certain temps, que la température de fumage a été élevée. Le fumage à chaud, peut perturber les membranes cellulaires et de promouvoir l'oxydation des lipides (**Gray et Pearson, 1987**), qui affecte les propriétés nutritionnelles et sensorielles des produits (**Byrne, Bottram, et Martens, 2002 ; St.Angelo et al, 1987**).

Les antioxydants administrés par voie alimentaire semblent être à l'origine d'effets protecteurs efficaces et complexes dans les tissus vis-à-vis de la peroxydation des lipides.

## 1-Objectif

Le but de ce travail consiste à améliorer la qualité gustative de la sardine « *Sardina pilchardus* » par le fumage avec le bois d'*Eucalyptus globulus* et d'*Olea europaea* qui ont un effet sur la stabilité oxydative des lipides du poisson pendant sa conservation.

Pour ce faire, on a fumé la sardine en vue d'étudier la variation de la composition nutritionnelle et l'aptitude à la conservation, notamment les aspects antioxydants sur une période de 20 jrs de congélation à -18°C et 7 jrs de réfrigération à +4°C.

## 2- Matériel et méthode

### 2-1 Choix de station

Le choix de la station de Mostaganem est au fait qu'elle est riche en produit halieutique ainsi pour la classe importante qu'occupe ce port dans l'économie du pays.

### 2-2 Choix de l'espèce

Le choix de la sardine est au fait qu'un poisson beaucoup consommé, et très vulnérable aux altérations microbiennes et aux processus d'oxydation lipidique. La qualité nutritionnelle de la sardine est liée en grande partie à la composition de ses dépôts lipidiques surtout les acides gras à long chaîne polyinsaturée (**AGPI**). Or ces acides gras, sont très sensibles aux phénomènes d'oxydation lipidiques qui a pour conséquence une diminution des qualités nutritionnelles et organoleptiques (altération de la saveur et de la couleur du poisson).

De plus les composés d'oxydation formés peuvent avoir des effets délétères pour la santé du poisson et celle du consommateur (**Huss et Peterson, 1980**)

### 2-3 Bois de fumage

Le fumage sera réalisé en utilisant deux types de bois sous forme des branches et des feuilles séchées, qui ont été choisis pour leurs propriétés odoriférantes, et antioxydantes, et aussi avec une fumée liquide.



**Figure 04** : photo de l'Olea europaea



**Figure 05** : photo d'Eucalyptus globulus

#### 2-4 Le fumage

Les sardines sont éviscérées et nettoyées en filets, puis elles sont soumises à l'action de la fumée provenant de la pyrolyse des branches et des feuilles de 2 types d'arbres utilisés (Eucalyptus, olivier) qui sont allumés dans un fumoir artisanal. Le fumage à chaud (65 °C) environ est appliqué pendant 30 à 40 min et ceci parce que la sardine est fraîche. Cette durée est suffisante pour que la fumée cuite la sardine et pénètre dans le produit afin de donner de la saveur et la couleur recherchées.

**Figure 06** : photo d'un Fumoir traditionnel



**2-5 Echantillonnage**

On a trois lots :

**Lot 1** : sardine fumée par un bois d'Olivier.

**Lot 2** : sardine fumée par un bois d'Eucalyptus

**Lot 3** : sardine fumée par une fumée liquide.

En raison de 5 échantillons pour des analyses physico-chimiques dans chaque lot.

**2-6 Conservation**

Les échantillons sont conditionnés dans un film d'aluminium, une partie est conservée à +4°C pendant 7 jours et l'autre partie à -18 °C pendant 20 jours pour subir les analyses requises. Par ailleurs pour une maîtrise de qualité, nous aurons procédé à des contrôles périodiques des échantillons.

Pour : **Le lot de +4°C** : (0J) et (7J).

**Le lot de -18 °C** : (0J), (10J) et (20J).

**3. Détermination des composés phénoliques totaux**

Le matériel végétal est constitué des branches et des feuilles d'Eucalyptus et d'Olivier qui récolté à Mostaganem.

Les plantes médicinales et aromatiques contiennent un niveau élevé d'humidité et en microorganisme ; c'est pour cela que le séchage immédiat reste l'opération la plus importante après la cueillette pour empêcher les pertes des constituants essentiels (**Muler et al, 1989**).

La technique adoptée est celle **d'Ibanez et al, 1999** ; après la récolte le matériel végétal est débarrassé des débris et étendu le plus vite possible en couche fine pour sécher à l'air libre et à l'ombre. Il est par la suite conditionné jusqu'au moment de l'analyse.

- **Préparation de la poudre de la plante (Eucalyptus, olivier).**

Après le séchage des feuilles de la plante, on fait un broyage, ensuite un tamisage car sous cette forme broyée, la plante présentera une grande surface de contact avec les poissons, permettant ainsi d'améliorer l'efficacité du traitement.

- **Préparation de l'extrait de la plante**

La technique adoptée est celle de **Kosar et al, 2005** ; 10 g de poudre extrait avec 100 ml de méthanol (99.5%) dans un bain-marie avec agitation à 60°C pendant 20 minutes et puis filtré avec du papier filtre standard (110 mm). Cette procédure est répétée trois fois en utilisant le matériel de départ. Par la suite, les trois filtrats se combine et le solvant évaporé sous vide au moyen d'un rotavapor à 40°C. L'extrait est finalement séché, dans une étuve à 30°C pendant deux heures afin d'éliminer toute trace du solvant résiduel. L'extrait final obtenu se présente sous forme d'une poudre verte foncée. Cette poudre est conservée dans un flacon hermétique, puis au réfrigérateur.

- **Dosage**

Les teneurs en phénols totaux ont été déterminées par spectrophotométrie, suivant le protocole appliqué par **Miliauskas et al, (2004)**. Brièvement, 1ml (0,1%) de l'extrait aqueux a été mélangé avec 5ml de Folin Ciocalteu (2M) dilué 10 fois. Après 5 minutes d'incubation, 4ml de carbonate de sodium à concentration de 75g/l ont été additionnés. Un blanc a été préparé avec le lyophilisat végétale en remplacement du réactif avec de l'eau. De même, un étalon a été réalisé avec des concentrations croissantes d'acide gallique (standard) allant de 0 à 6mg/l. Après une heure d'incubation, à la température ambiante, l'absorbance a été lue à 765nm contre le blanc, à l'aide d'un spectrophotomètre de type JENWAY 6517. L'expression des résultats a été obtenue à partir de l'équivalence du standard (acide gallique) par gramme de lyophilisat (mg EAG/g).

#### **4. Activité antiradicalaire (Test au DPPH)**

Le composé chimique 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyle (á,á-diphenylâ picrylhydrazylâ) fut l'un des premiers radicaux libres utilise pour étudier la relation structure-activité antioxydant des composés phénoliques (**Blois,1958; Brand-Williams et al., 1995**). Il possède un électron non apparié sur un atome du pont, d'azote (**Popovici et al, 2009**).

##### **4.1 Principe**

La réduction du radical libre DPPH° (2,2'-diphenyle-1-picryl hydrazyl) par un antioxydant peut être suivie par spectrométrie UV- Visible, en mesurant la diminution de l'absorbance à 517 nm provoquée par les antioxydants (**Molyneux, 2004**). En présence des piègeurs de

radicaux libres, le DPPH. (2,2 Diphenyl 1 picryl hydrazyl) de couleur violette se réduit en 2,2 Diphenyl 1 picryl hydrazine de couleur jaune (Maataoui et al, 2006).

#### 4.2 Dosage

L'activité du piégeage du radical DPPH a été mesurée selon le protocole décrit par LOPES-LUTZ et al. (2008) (Athamena et al, 2010). 50ml de chaque solution méthanolique des extraits à différentes concentrations sont ajoutés à 1,95 ml de la solution méthanoïque du DPPH (0,025g/l). Parallèlement, un témoin négatif est préparé en mélangeant 50ml de méthanol avec 1,95 ml de la solution méthanolique de DPPH. La lecture de l'absorbance est faite contre un blanc préparé pour chaque concentration à 515nm après 30 min d'incubation à l'obscurité et à la température ambiante. Le contrôle positif est représenté par une solution d'un antioxydant standard; l'acide ascorbique dont l'absorbance a été mesuré dans les mêmes conditions que les échantillons et pour chaque concentration (Bougandoura, 2013).

$$I \% = 1 - \frac{[\text{Abs Contrôle négatif} - \text{Abs Échantillon}]}{\text{Abs Contrôle négatif}} \times 100$$

I %: Pourcentage de l'activité anti-radicalaire (AAR%).

Abs Échantillon : Absorbance de l'échantillon.

Abs Contrôle négatif : Absorbance du contrôle négatif (Meddour, 2013).

## 5. Techniques analytiques

### 5.1 Analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques seront effectuées au laboratoire de technologie alimentaire et de nutrition de l'université de Mostaganem sur l'ensemble des échantillons.

#### 5.1.1 Détermination de la teneur en matière sèche et en eau (AFNOR 1985)

La teneur en eau est déterminée par déshydratation. On place des échantillons de 5g, dans des creusets en porcelaine puis laissés déshydrater pendant 24 heures dans une étuve à 105C°.

Après le refroidissement des récipients dans le dessiccateur pendant 45min la matière sèche restante est alors pesée par différence avec la masse initiale, la quantité d'eau évaporée est ainsi déduite.

La teneur en eau matière sèche des échantillons sont exprimée en g/100g de tissu.

#### Calcul et expression des résultats

La matière sèche (M.S) de l'échantillon est calculée par l'expression suivante :

$$MS (\%) = \text{Masse (MS) (g)} / \text{Masse (d'échantillon) (g)} .100$$

Le pourcentage de la teneur en eau est calculé en appliquant le modèle mathématique suivant :

$$\text{Teneur en eau (g/100g d'échantillon)} = 100 - MS(\%)$$

#### 5.1.2 Détermination du Potentiel d'hydrogène pH

Le pH des échantillons des poissons à été déterminé selon la norme (Rejsek, 2002). A partir d'un mélange résultant du broyage de 10g de poisson dans 90 ml d'eau distillée. La suspension est homogénéisée à l'aide d'un homogénéisateur «ultra thurax » pendant 15 minutes. Le pH est obtenu à l'aide d'un pH mètre préalablement étalonné en introduisant l'électrode dans l'homogénat.

### 5.1.3 Dosage des lipides totaux (Folch et al, 1957).

A partir de chacun de ces prélèvements, les lipides totaux ont été extraits par la méthode de **Folch et al, (1957)** en vue de déterminer la proportion de la matière grasse contenue dans la sardine.

#### **Principe :**

Cette technique repose sur le principe d'une extraction à froid des lipides par un mélange de solvant chloroforme/méthanol (2/1 ; V/V). L'addition d'une solution de NaCl 0.58% permet la séparation des phases.

La phase supérieure constituée de méthanol et d'eau, contient les composés hydrophiles (glucides et protéines) dont la dissolution est favorisée par la présence de sel, tandis que les lipides sont dissous dans la phase organique inférieure. La pesée du ballon contenant l'extrait lipidique après évaporation du solvant permet de calculer la teneur en lipide exprimée en g par 100g d'échantillon.

#### **a) Mode opératoire :**

12g de l'échantillon du poisson additionnés à 60 ml de réactif de Folch (méthanol +chloroforme). Ils sont broyés à l'aide d'un homogénéisateur (type ultra Thurax ou broyeur MSE) pendant 2 minutes.

- 1- Le mélange obtenu est filtré sur verre fritté.
- 2- Ce filtrat est versé dans une ampoule à décanter. La séparation des phases s'effectue à l'aide de la solution de chlorure de sodium (Na Cl) à 0.73% raison de 1 volume de NaCl pour 4 volumes de filtrat.
- 3- On obtient une saturation de deux mélanges : méthanol/eau et chloroforme/lipide. la présence d'une émulsion peut être possible. Dans ce cas nous ajoutons quelque goutte d'éthanol.
- 4- Agiter et laisser décanter environ 2 heures. Après décantation, les phases apparaissent incolores, limpides et séparées par un ménisque.
- 5- La phase inférieure (chloroforme/lipides) filtrée sur sulfate de sodium ayant la propriété d'absorber l'eau est recueillie dans un ballon à col rodé préalablement pesé.

- 6- La phase supérieure (méthanol/eau) est rincée à l'aide de 50 ml d'un mélange à 20 ml de Na Cl concentré à 0,58% et 80% de méthanol+chloroforme de façon à extraire le reliquat des lipides apparaissant à l'issue de cette opération.
- 7- On filtre comme précédemment la phase inférieure.
- 8- On évapore sous vide le chloroforme.
- 9- Le poids net des lipides ainsi mis à sec est obtenu par différence entre le poids du ballon Contenant la matière grasse et celui du ballon vide.

Le pourcentage des lipides totaux peut être déterminé par la formule suivante :

$$MG(\%) = \frac{P_2 - P_1}{P_0} \times 100$$

**P<sub>2</sub>** : poids du ballon contenant les lipides.

**P<sub>1</sub>** : poids du ballon vide.

**P<sub>0</sub>** : prise d'essai.

#### 5.1.4 Estimation du degré d'oxydation des lipides du poisson(TBA) (Genot, 1996)

##### a) Principe de la méthode :

L'indice TBA ou TBARS est une méthode spectrophotométrie qui dose le malonaldéhyde (MDA), ce dernier étant le produit secondaire de l'oxydation des acides gras polyinsaturés, l'acide thiobarbiturique (TBA) réagit avec le malonaldéhyde (MDA) pour former un complexe de couleur rose et/ou jaune possédant un maximum d'absorption à une longueur d'onde de 532 nm (Pegg, 1993).

##### b) Mode opératoire

Pour mesurer l'indice « TBA » nous avons utilisé la méthode adaptée par (Genot, 1996). Un échantillon de chair de poisson de 2 gr est placé dans un tube de 25 ml contenant 16 ml d'acide trichloracétique à 5% (p/v) et éventuellement 100 µl de vitamine C. Le mélange est homogénéisé 3 fois pendant 15 secondes à l'aide d'un homogénéisateur (Ultra-Turrax) à une vitesse d'environ 20 000 tpm. Le broyat est passé à travers un papier filtre afin d'obtenir un filtrat. Puis de ce filtrat 2 ml d'acide thiobarbiturique.

Les tubes fermés vont être plongé dans au bain-marie à 70°C pendant 30 minutes et placés dans un bain d'eau froide. La dernière étape consiste à lire à l'aide d'un spectrophotomètre

l'absorbance du mélange réactionnel à 532 nm et les résultats sont exprimés en mg équivalent MDA (malonaldéhyde) / Kg.

**c) Expression des résultats**

Les résultats dégagés au cours de ces expériences sont obtenues par la formule suivante :

$$\text{Mg équivalent MDA /Kg} = (0,72/ 1,56) \times (A_{532} \text{ cor} \times V \text{ solvant} \times V_f) / PE$$

Avec :

**Avec :**

**A<sub>532 cor</sub>** : l'absorbance.

**V solvant** : volume de solution de dilution TCA en ml.

**PE** : prise d'essai en gramme.

**V<sub>f</sub>** : volume du filtrat prélevé.

0,72/1,56 : correspond à la prise en compte du coefficient d'extinction moléculaire du complexe TBA-MDA à la valeur de :  $1,56 \times 10^5 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  (Buedge et al, 1978) et au poids moléculaire du MDA d'une valeur de 72g. mol<sup>-1</sup>.

**5.1.5 Mesure des protéines****a) Principe de la méthode**

La méthode de **Lowry 1951** pour la détermination du taux de protéines consiste à broyer une masse d'échantillon de 1 gr avec une eau physiologie suivie d'une filtration.

A partir du filtrat obtenu, un volume de 1 ml est prélevé auquel est rajoutée de l'eau distillée jusqu'à 100ml.

Un prélèvement de 1 ml est placé dans des tubes à essai auquel est rajouté 5 ml du réactif de Lowry et 0.5 ml du Folin Cyocateu dilué a moitié.

**Préparation de réactif de Lowry (a+b)**

Préparation de la solution a

Une masse de 1g de NaOH est additionnée d'une masse de 5g de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, diluée dans 250ml d'eau distillée.

Préparation de la solution **b**

Une masse de 0.125g de CuSO<sub>4</sub> est additionnée d'une masse de 0.25g de Tetra Na<sup>+</sup>, k<sup>+</sup> et diluée dans 25 ml d'eau distillée.

### **Réactif de Lowry**

Le réactif de Lowry est préparé en mélangeant 50 ml de la solution a avec 5 ml de la solution Les tubes à essai sont mélangés dans un vortex et mis pendant une demi-heure à 4°C.

La lecture au spectrophotomètre se fait à une longueur d'onde de 600nm.

## **6. Analyse sensorielle des filets de sardine fumée**

Un groupe de 15 personnes (femmes et hommes) de l'université de Mostaganem, âgés de 22 à 53 ans, ont participé au test de dégustation.

Les panélistes ont apprécié la qualité sensorielle des trois types de sardine :

**Echantillon 1** : sardine fumée à l'Olea europaea

**Echantillon 2** : sardine fumée à l'Eucalyptus globulus

**Echantillon 3** : sardine fumée à la fumée liquide

Après avoir subi un fumage à chaud (65°C), les filets de sardine sont présentés dans des assiettes codées par des numéros du 1 à 3 aux dégustateurs en leur demandant d'apprécier sur une échelle de notation variable précise pour chacun des critères suivants :

**1- Couleur** : Impression produite sur l'œil par la lumière réfléchi par la surface d'un objet, elle peut être agréable ou désagréable.

**2- Texture** : Elle s'évalue en faisant référence aux caractéristiques de surface (visuelles et tactiles), mécaniques (friabilité et adhésivité), autre (solubilité et humidité en bouche)

**3- Jutosité** : Qualité de ce qui est juteux, est due à la rupture des cellules, qui en libère le liquide intracellulaire.

**4- Flaveur :** la flaveur rassemble l'ensemble complexe des sensations, on distingue alors odeurs, saveurs, arômes.

**5- Odeur de la fumée :** Elle est caractérisée par une odeur selon le bois de fumage utilisé.

Les assiettes étaient accompagnées par des verres d'eau et un morceau de pain dans le but de ne pas de mélanger entre les échantillons lors de la dégustation.



**Figure 07 :** Test de dégustation des filets de sardine

<b>Critères</b>	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3
Couleur			
Texture			
Jutosité			
Flaveur			
Odeur			

**Description des critères**

**Couleur** : claire (1), foncé (2), non déterminé (3).

**Texture** : friable (1), gras (2), humide en bouche (3)

**Jutosité** : juteux (1), moins juteux (2), sec (3).

**Flaveur** : médiocre (1), très bonne (2), bonne (3).

**Odeur de la fumée** : agréable (1), désagréable (2), intense (3).

**7. Analyses statistique**

Les résultats ont été traités par analyse de la variance suivie d'une comparaison des moyennes des différents paramètres par le biais d'un logiciel (stat box 6.04) selon le test Newman et Keuls.

## 1. Détermination des composés polyphénoliques totaux

**Tableau 08** : Teneur en polyphénols totaux des extraits de plantes.

Teneur en phénols totaux (mg EAG/g MS)	
<b>Olea</b>	<b>33.84±0.16</b>
<b>Eucalyptus</b>	<b>38.93±0.18</b>

L'extrait du bois (feuilles et branches) d'Eucalyptus globulus possède une teneur plus élevée en polyphénols totaux 38.93 mg EAG/g MS comparativement de celle de l'Olea 33.84 mg EAG/g MS.

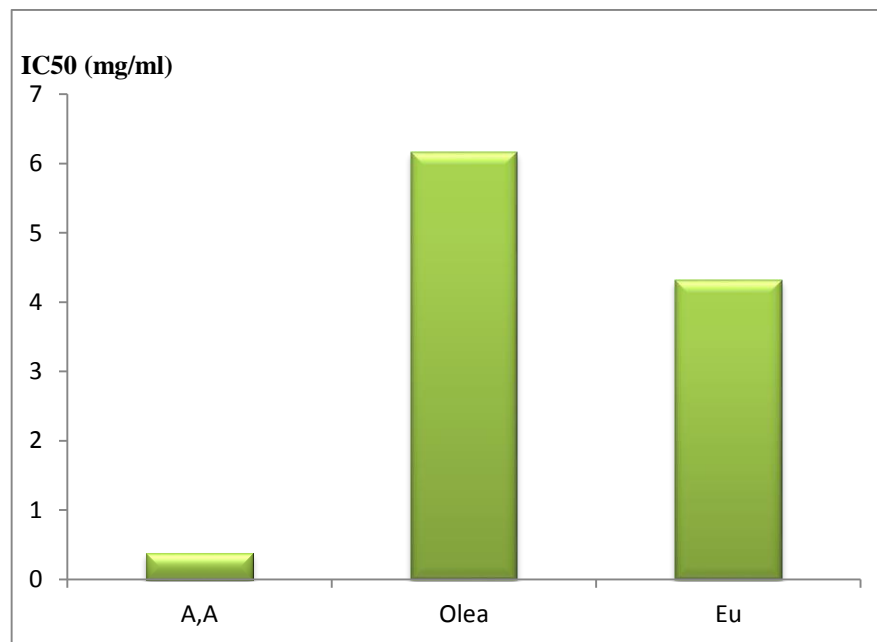
Les effets bénéfiques des polyphénols intéressent particulièrement deux domaines : la phytothérapie et l'hygiène alimentaire (**Leong et Shui, 2002**). D'après les études multiples attestant de l'impact positif de la consommation de polyphénols sur la santé et la prévention des maladies, les industriels commercialisent maintenant des aliments enrichis en polyphénols ou des suppléments alimentaires. De plus, leur activité antioxydante assure une meilleure conservation des denrées alimentaires en empêchant la peroxydation lipidique.

## 2. Activité antiradicalaire

**Tableau 09** : Valeurs de la concentration IC<sub>50</sub> des extraits des plantes étudiées.

Extraits méthanoliques	IC 50 (mg/ml)
<b>Olea européen</b>	<b>6.16</b>
<b>Eucalyptus globulus</b>	<b>4.31</b>

L'extrait d'Eucalyptus a montré une meilleure activité anti radicalaire inhibitrice de DPPH• avec la plus faible IC<sub>50</sub> (4.31 mg/ml) suivi des extraits de l'Olea par rapport à l'activité anti radicalaire inhibitrice de DPPH• soit : IC<sub>50</sub> (6,16 mg/ml).



**Figure 08 :** Valeurs IC<sub>50</sub> des extraits des plantes étudiées

Comme il n'existe pas de mesure absolue de la capacité antioxydante d'un composé, les résultats sont souvent portés par rapport à un antioxydant de référence comme l'acide ascorbique (vitamine C).

La différence de l'activité est mise en évidence en utilisant ce paramètre (IC<sub>50</sub>), qui est inversement proportionnel au potentiel d'anti-radicalaire d'un antioxydant, une valeur d'IC<sub>50</sub> faible correspond à une activité élevée.

#### 4. Caractéristiques physico-chimiques

Dans cette partie, nous présentons les résultats de l'essai ayant porté sur l'effet de fumage par du bois de deux espèces sur la composition nutritionnelles de la sardine. Nous essayons d'insister sur les paramètres nutritionnels ayant un intérêt sur le choix du consommateur. La valeur santé du produit après la conservation est également abordée par la détermination de l'indice de peroxydation lipidique.

##### 4.1. Teneur en matière sèche et humidité

Les teneurs en matière sèche et en humidité de la sardine fumée des différents lots de l'essai sont représentées dans les tableaux 10 et 11 suivants:

**Tableau 10** : Teneur en matière sèche de la sardine fumée exprimées en pourcentage.

T.Cons Nature du bois	0J	Réfrig.	Pertes en % 0-7 J	Effet facteur		Congélation		Pertes en % 0-20 J	Effet facteur	
		7J		Types de bois	Temps de cons.	10J	20J		Types de bois	Temps de cons.
<b>Eu</b>	40.97±0.05	40.08±0.73	2.17	<b>P&lt; 0.05</b>	<b>P&lt; 0.05</b>	41.67±0.36	42.17±0.21	2.84	<b>P&lt; 0.05</b>	<b>P&lt; 0.05</b>
<b>Olea</b>	38.99±0.19	38.1±0.10	2.28			39.59±0.37	40.09±0.19	2.74		
<b>F.Lq Témoin</b>	42.98±0.06	41.76±0.37	2.83			42.38±0.19	43.17±0.22	0.44		

(n=5, ± écart type, P<0.05 : effet significatif)

L'analyse de variance a montré que, la nature du bois et la durée de conservation exercent un effet significatif ( $p<0.05$ ) sur la matière sèche. Pour les lots réfrigérés une différence significative a été observée de 00 jrs à 07 jrs pour le lot témoin avec une réduction de 2.83% de la matière sèche et de 2.28 % pour le lot Olea, tandis qu'une moindre perte est notée pour le lot Eucalyptus, soit 2.17% (**Tableau 08**)

Une différence significative a été observée pour les deux lots congelés de 00 jrs jusqu'à 20 jrs, un gain de matière sèche a été enregistré pour les deux lots Eucalyptus, Olea qui sont de l'ordre de 2.84%, 2.74%, respectivement. Aucune différence significative n'a été enregistrée pour le lot témoin (0.44%).

**Tableau 11** : Teneur en humidité de la sardine fumée exprimée (en%).

Nature du Bois	Temps de cons. 0J	Réfrig.	Gains en % 00 –07 J	Effet facteur		Congélation		Pertes en % 00 –20 J	Effet facteur	
		7J		Types de bois	Temps de cons.	10J	20J		Types de bois	Temps de cons.
<b>Eu</b>	59.03±0.08	59.91±0.73	1.46	<b>P&lt;0.05</b>	<b>P&lt;0.05</b>	58.33±0.36	57.83±0.21	2.03	<b>P&lt;0.05</b>	<b>P&lt;0.05</b>
<b>Olea</b>	61.01±0.20	61.9±0.10	1.43			60.41±0.37	59.91±0.19	1.80		
<b>F.Lq Témoin</b>	57.02±0.06	58.23±0.37	2.07			57.62±0.55	56.82±0.22	0.35		

(n=5, ± écart type, P<0.05 : effet significatif)

Une différence significative a été enregistrée pour la sardine fumée à l'Olea et réfrigérée qui renferme un peu plus d'humidité au départ et au final après une semaine de conservation soit un écart de 1.43% qui a été chiffré. Et pour le lot Eucalyptus et lot témoin sont de l'ordre de 1.46, 2.07% respectivement.

Une différence significative (P<0.05) a été observée pour les deux lots fumés avec l'Eucalyptus et l'Olea congelés pendant 20 jrs avec une réduction d'humidité de l'ordre de 2.03%, 1.80%, respectivement. Aucune différence significative n'a été enregistrée pour le lot témoin (0.35%).

La relation entre la matière sèche et l'humidité est inversement proportionnelle.

Quelque soit le type de bois utilisé, le mode, et la durée de conservation, les teneurs en matière sèche et d'humidité se manifestent de façon significative (P<0.05).

Les valeurs initiales en humidité trouvée en 0J pour les deux lots de la sardine fumée au bois de l'Eucalyptus et de l'Oléa sont de l'ordre de 59.03% et 61.01%, tandis que **Camille Knockaert (1995)** a trouvé une teneur plus élevée en eau dans le hareng fumé traditionnellement qui est de 67,44 %, Cependant, une valeur en humidité de 74.46 % a été constatée par **Arnim et al (2012)** dans la viande traitée avec 3% de la fumée liquide. La teneur en eau est moins élevée du lot 3 à 00J par rapport au 7<sup>ème</sup> jrs où elle s'accroît

légèrement de 2.07 % pour la conservation à + 4°C,. Ce résultat est confirmé par **Camille Knockaert (1995)** dans son étude sur le saumon fumé traditionnellement, où la teneur enregistrée en S1 est de 59.25 % qui augmente en S2 jusqu'à 61.15 %, et puis diminue légèrement en S3 à 59.60%. De ce fait, il a constaté que cette évolution entre les semaines au niveau de la teneur en eau peut être expliquée par la différence d'hygrométrie lors du fumage (65% d'humidité relative pour le fumage traditionnel) **Camille Knockaert (1995)**.

De même **Patrick Mafikiri (2012)** a observé qu'il y a une augmentation de la teneur en eau durant la conservation pendant 28 jours pour la viande fumée. Il a suggéré que, le conditionnement à 4 °C n'a pas mis les viandes traitées à l'abri de l'humidité atmosphérique ou le séchage / fumage est insuffisant, il n'a pas inhibé les microorganismes d'altération dont l'activité métabolique peut être à la base de libération d'eau, augmente ainsi la teneur en eau des produits finis.

On peut conclure que la fumée liquide tend à préserver au mieux les échantillons testés contre l'augmentation de l'humidité.

#### 4.2 pH

La valeur du pH de la sardine fumée des différents lots de l'essai sont représentées dans le tableau 12.

**Tableau 12 :** Evolution du pH selon la période de conservation et la nature du bois.

T.Cons Nature du bois	00 jrs	Réfrig.	Pertes en % 00-07 Jrs	Effet facteur		Congélation		Pertes en % 00-20 jrs	Effet facteur	
		07 jrs		Types de bois	Temps de cons.	10 jrs	20 jrs		Types de bois	Temps de cons.
<b>Eu</b>	6.25±0.04	6.10±0.03	2.40	NS	P< 0.05	6.11±0.02	6.05±0.10	3.2	P<0.05	P<0.05
<b>Olea</b>	6.12±0.02	5.96±0.03	2.61			5.93±0.02	5.85±0.03	4.4		
<b>F.Lq Témoin</b>	6.17±0.02	5.98±0.07	3.07			5.97±0.04	5.77±0.04	6.48		

(n=5, ± écart type, P<0.05 : effet significatif, NS : effet non significatif).

L'analyse de variance, montre un effet significatif de la durée de conservation ( $P < 0.05$ ) sur l'évolution du pH pour les lots conservés à  $+4^{\circ}\text{C}$ . La nature du bois n'a pas influencé la valeur du pH.

Les valeurs du pH sont significativement différentes quoi que légèrement plus faible au 7<sup>ème</sup> jrs de conservation à  $+4^{\circ}\text{C}$  par rapport au 0J pour les 3 lots d'Eucalyptus, d'Olea, et celle de la fumée liquide qui sont de l'ordre de 2.40%, 2.61%, 3.07%. Ce résultat est confirmé par **Camille Knockaert (1995)**, où il a observé une diminution en pH dans le hareng fumé qui va de 6.04 en S0 jusqu'à 5.80 en S5.

Une différence significative ( $p < 0.05$ ) a été observée pour les lots conservés à  $-18^{\circ}\text{C}$  pendant 2J qui signifie que la nature du bois et la durée de conservation ont influencé la valeur du pH. Une réduction de 3.24% a été enregistrée de 0J à 10 J et de 3.35% de 10J à 20J de lots témoin avec un écart de 6.48 % de 0 à 20J. Le lot Eucalyptus présente la moindre diminution du pH par rapport au 00 jr, comparativement de celui du lot témoin et du lot Olea qui a enregistré une réduction de 4.4%.

D'après **Blond, (1990)**, disant que la protéolyse enzymatique se poursuit au ralentissement du froid négatif. La teneur en acides aminés libres du muscle double en trois mois à  $-18^{\circ}\text{C}$ . La glycolyse se poursuit aux températures inférieures à  $0^{\circ}\text{C}$  et pendant toute la durée de l'entreposage. Il peut y avoir une perte importante en eau, modifiant ainsi la qualité nutritionnelle (**Blond, 1990**).

Donc la composition des bois utilisés et celle de la fumée liquide n'ont pas empêché l'acidification de la sardine fumée durant la conservation à  $+4^{\circ}\text{C}$  et à  $-18^{\circ}\text{C}$ .

### 4.3 Lipides totaux

Les résultats obtenus sont motionnés dans le tableau 13 suivant:

**Tableau 13** : Les teneurs en lipides totaux de la sardine fumée (%).

T.Cons Nature du bois	0J	Réfrig.		Pertes en % 00–07 J	Effet facteur		Congélation		Pertes en % 00 –20 J	Effet facteur	
		7J			Types de bois	Temps de cons.	10J	20J		Types de bois	Temps de cons.
<b>Eu</b>	8.02±0.05	7.25±0.18	9.60	<b>P&lt; 0.05</b>	<b>P&lt; 0.05</b>	7.62±0.38	7.30±0.36	8.97	<b>P&lt;0.05</b>	<b>P&lt;0.05</b>	
<b>Olea</b>	7.68±0.03	6.77±0.24	11.84			7.35±0.34	6.90±0.33	10.15			
<b>F.Lq Témoin</b>	7.59±0.03	6.38±0.25	15.94			7.02±0.10	6.65±0.15	12.38			

(n=5, ± écart type, P<0.05 : effet significatif)

Les résultats démontrent que, la durée de conservation et la nature du bois ont un effet significatif (P<0.05) pour les échantillons réfrigérés à + 4°C et congelés à – 18°C.

Les lots de la sardine fumée à l'Olea et celle de la fumée liquide, contiennent à 0J des teneurs voisines et moins élevées en lipides que la sardine fumée à l'Eucalyptus soit 7.68% et 7.59% vs 8.02% respectivement. Ces teneurs en lipides peuvent être liées à la température et la durée du traitement (fumage). D'après **Idah, Peter Aba et Nwankwo, Ifannyi, (2013)**, les poissons fumés à des températures différentes, où ils ont constaté qu'à 50°C/15h la teneur en lipides est de 3.05% alors qu'à 60°C/15h augmente jusqu'à 12.35%.

D'une façon significative, les résultats indiquent une diminution du contenu lipidique dans tous les échantillons étudiés. Il est noté que la valeur des lipides totaux de la sardine fumée et conservée à +4°C durant une semaine est de l'ordre de 9.60%, 11.84%, 15.94% pour les lots Eucalyptus, Olea et fumée liquide respectivement, et de même pour les trois lots conservés à -18°C pendant 20 J une réduction a été enregistrée soit 8.97%, 10.15%, 12.38% respectivement.

On peut dire que la température de réfrigération et de congélation n'a pas empêchée la dégradation lipidique. Cette observation est confirmée par **Arnim et al. (2012)**, où ils ont constaté que les teneurs en lipides de la viande fumée et conservée à 4 °C, ont été diminuées de 1.06% 0.69% (0 à 15 jours respectivement).

Cette diminution est probablement due à une lipolyse, qui peut être définie comme l'hydrolyse enzymatique des lipides et séchés, d'après **S. Sampels et al, (2003)**.

#### 4.4 Stabilité oxydative des lipides (TBARS)

Cette méthode est utilisée pour évaluer l'activité antioxydante. Le test TBA mesure la quantité de dialdéhyde malonique (MDA) qui se forme en un produit endoperoxyde des AGI au cours de l'oxydation lipidique. Le MDA réagit avec l'acide thiobarbiturique pour donner des pigments de coloration rose au jaune. La quantité des pigments peut être mesurée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 532-535nm.

Les résultats obtenus sont dans le tableau 14 suivant:

**Tableau 14 :** Variation de la teneur en MDA exprimée en mg éq MDA / kg de poisson.

T.Cons Nature du bois	0J	Réfrig.	Accroiss -ement en % 0-7J	Effet facteur		Congélation		Accroiss -ement en % 0-20J	Effet facteur	
		7J		Type de bois	Temps de cons.	10J	20J		Types de bois	Temps de cons.
<b>Eu</b>	0.40±0.04	0.57±0.03	29.82	<b>P&lt;0.05</b>	<b>P&lt; 0.05</b>	0.52±0.02	0.64±0.06	31.25	<b>P&lt; 0.05</b>	<b>P&lt; 0.05</b>
<b>Olea</b>	0.50±0.03	0.77±0.02	35.06			0.61±0.07	0.79±0.03	36.70		
<b>F.Lq Témoin</b>	0.42±0.02	0.77±0.03	45.45			0.59±0.04	0.78±0.06	46.15		

(n=5, ± écart type, P<0.05 : effet significatif)

D'après les analyses statistiques, la durée de conservation exerce un effet significatif sur le niveau d'oxydation des lipides.

Une teneur en MDA enregistrée au 0J au niveau du lot Olea est plus ou moins élevée représentant 0.5mg éq MDA/Kg comparativement aux autres lots Eucalyptus et fumée liquide soit 0.4 mg éq MDA/Kg et 0.42 mg éq MDA/Kg. Un accroissement en MDA durant une semaine de réfrigération à +4°C des lots cités est de l'ordre de 29.82%, 35.06%, 45.45% respectivement. Les sardines fumées, conservés à +2°C présentent après 15 jours une odeur et une saveur légèrement sure et altérée mais non oxydée. C'est d'ailleurs le produit pour le quel les valeurs de l'indice TBA sont les plus basses (**Henri Durand, 1975**).

Ainsi un accroissement ( $P < 0.05$ ) pour les lots 1, 2 et 3 fumée et conservés à - 18 °C pendant 20J soit 31.25%, 36,70%, 46.15% respectivement a été remarquable.

Les résultats obtenus en MDA mg eq MDA/kg des échantillons réfrigérés pendant une semaine à + 4°C sont proches de celles congelées durant 20J à -18°C. D'après **Henri Durand, (1975)**, la congélation des produits provoque un net ralentissement de l'indice TBA. Il faut environ 6 à 7 semaines pour obtenir des valeurs comparables à celles obtenues en 15 jours à + 2°C (entre 0,4 et 0,8 mg/kg).

#### **4.5 Relation entre les teneurs en lipides et en MDA / kg**

D'après les tableaux 13 et 14, il ressort que la nature du bois et la durée de conservation ont exercé un effet significatif ( $p < 0.05$ ) sur l'évolution des teneurs en lipides et de même pour l'indice de peroxydation.

La sardine fumée à l'Eucalyptus a présentée des valeurs un peu plus élevées en lipides par rapport aux autres lots durant la même période de conservation. Cependant une perte en lipides à été enregistrée pour le même lot soit de 29.82% avec une augmentation de 9.60% en MDA qui a été estimée comme étant le moins de gain enregistré après 7J de conservation à +4°C comparativement au lot témoin qui a enregistré plus de gain en MDA 15.94%, et une perte en lipide estimée par 45.45%.

Egalement, le lot témoin conservé par congélation à -18°C pendant 20J a enregistré un accroissement important en MDA, soit 12.38% avec une perte de 46.15% de lipides voir une perte de 31.25% en lipide du lot Eucalyptus vs une augmentation en MDA 8.97% dans la même période.

**Tableau 15** : Relation entre les teneurs en lipides totaux et l'indice de la peroxydation lipidique TBA mg MDA / kg.

T.Cons Nature du bois		0J	Réfrigération	Pertes en lipide % 0-7J	Acroiss- ement en MDA % 0-7J	Congélation		Pertes en lipide % 0-20 J	Acroiss- ement en MDA % 0-7J
			7J			10 jrs	20 jrs		
Eu	L%	8.02±0.05	7.25±.18	-29.82	+9.60	7.62±0.38	7.3±0.36	-31.25	+8.97
	MDA %	0.4±0.04	0..57±0.03			0.52±0.02	0.64±0.06		
Olea	L %	7.68±0.03	6.76±0.24	-35.06	+11.84	7.35±0.34	6.9±0.33	-36.70	+10.15
	MDA %	0.5±0.03	0.77±0.02			0.61±0.07	0.79±0.03		
F.Lq	L %	759±0.03	6.38±0.25	-45.45	+15.94	7.02±0.10	6.65±0.15	-46.15	+12.38
	MDA %	0.42±0.02	0.77±0.03			0.59±0.04	0.78±0.06		

(L : lipides totaux en %, MDA : indice TBA mg MDA/kg)

## 4.6 Teneur en protéines

Les résultats des teneurs en protéines des différents lots de la sardine, sont mentionnés dans le tableau 16.

**Tableau 16** : Teneurs en protéines de la sardine fumée (en %).

T.Cons Nature du bois	0J	Réfrig.	Pertes en % 0-7J	Effet facteur		Congélation		Pertes en % 0-20J	Effet facteur	
		7J		Type de bois	Temps de cons.	10J	20J		Types de bois	Temps de cons.
<b>Eu</b>	18.52±0.51	17.75±0.23	4.15	<b>P&lt;0.05</b>	<b>P&lt; 0.05</b>	18.06±0.10	17.62±0.28	4.86	<b>NS</b>	<b>P&lt; 0.05</b>
<b>Olea</b>	18.24±0.28	17.34±0.17	4.93			17.86±0.18	17.08±0.17	6.36		
<b>F.Lq Témoin</b>	17.95±0.27	16.5±0.24	8.07			16.72±0.43	16.35±0.22	8.91		

(n=5, ± écart type, P<0.05 : effet significatif, NS : effet non significatif).

L'analyse statistique a fait ressortir un effet significative (P<0.05), de la nature du bois et la durée de conservation sur les teneurs en protéines de la sardine fumée et conservée à +4°C.

D'une façon significative, la teneur en protéine se prononce au 0J pour les deux lots Eucalyptus et Olea, soit 18.52% et 18.24% respectivement. Cependant, une teneur plus au moins faible a été enregistrée pour le lot Témoin avec une moyenne presque 18%.

On constate qu'il y a une diminution progressive de 0J à 7J pour les 3 lots. Une moindre perte a été notée pour les sardines fumées à l'Eucalyptus et Olea est notée à partir de la teneur initiale, soit une réduction de l'ordre de 4.15% et 4.93% respectivement, en comparaison à celui du lot Témoin de 8.07%.

L'analyse de variance ne montre aucun effet significatif de la durée de conservation et la nature du bois. Pour les deux lots fumés conservés à -18°C à l'Eucalyptus, l'Olea, avec une réduction de l'ordre de 4.86%, 6.36% respectivement. Par contre une différence significative (P<0.05) a été observée dans le lot Témoin de 0J à 20J avec une réduction importante de la teneur en protéine qui représentant 8.91%.

D'après **Leo M.L. Nollet & Fidel Toldrà (2009)**, l'oxydation des protéines et d'acides aminés est affecté par certains facteurs environnementaux tels que pH, la température, l'activité de l'eau, et en présence de catalyseurs ou des inhibiteurs. Cependant elle est moins prononcée dans la sardine fumée à l'Olea et à l'Eucalyptus par rapport à la sardine traitée avec la fumée liquide. Ceci peut être expliqué par l'effet des composés phénoliques de la fumée du bois utilisé. Il est également observé par **Akhter et al, (2009)** que la fumée de bois qui contient de l'acide pyroligneux qui peut avoir un effet conservateur sur la viande fumée séchée.

Or que la dégradation protéolytique est peut être due en raison de développement en bactéries psychotropes à des températures de réfrigération (**Arnim et al, 1012**).

#### **4. Analyse sensorielle**

Les histogrammes présentés ci-après, démontrent les fréquences en pourcentages de chaque critère d'appréciation ainsi que pour chaque lot de la sardine fumée, dans le but de distinguer la différence entre eux. Un test statistique à été réalisé.

Les critères d'appréciation sont ainsi présentés :

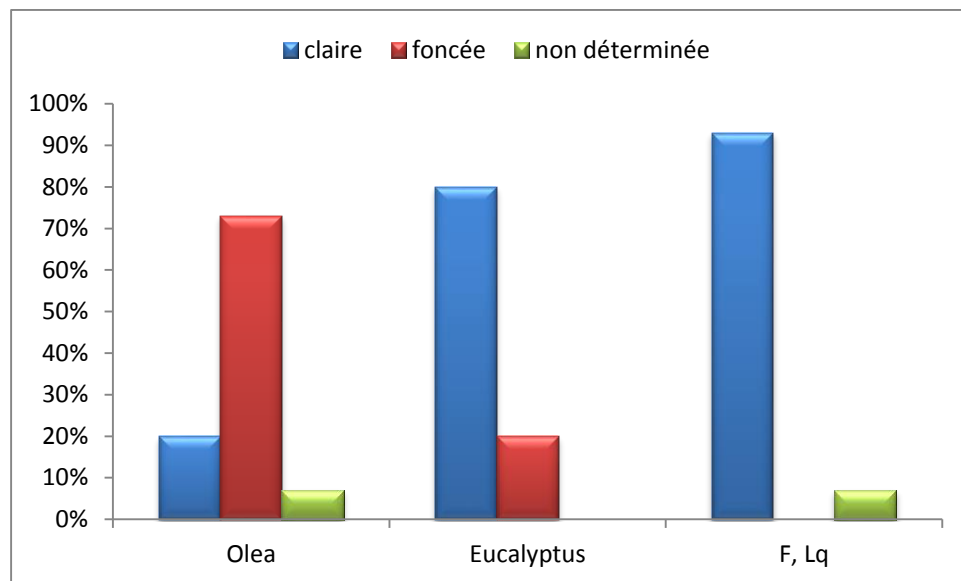
**Couleur** : claire (1), foncé (2), non déterminé (3).

**Texture** : friable (1), gras (2), humide en bouche (3).

**Jutosité** : juteux (1), moins juteux (2), sec (3).

**Flaveur** : excellente (1), très bonne (2), bonne (3).

**Odeur de la fumée** : agréable (1), désagréable (2), intense (3).

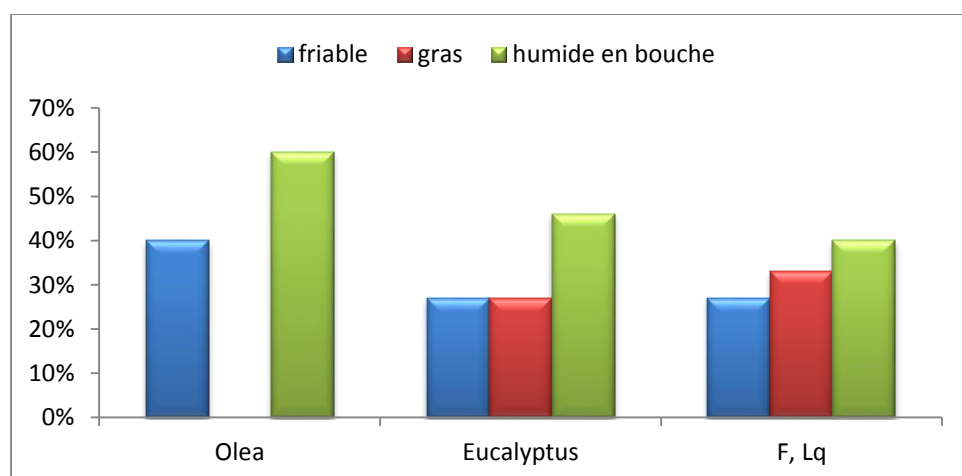


**Figure 09** : Evaluation sensorielle de la couleur.

Les panélistes ont apprécié une couleur claire de la sardine fumée à l'Eucalyptus et à la fumée liquide soit 80% et, 93% respectivement. Alors que le lot fumée à l'Olea, 73% des panélistes ont jugé qu'elle présente une couleur foncée.

Généralement la couleur est l'un des paramètres de qualité que les consommateurs utilisent pour accepter ou rejeter les produits, ce qui est donc essentiel dans l'évaluation de la qualité (Idah, Peter Aba & Nwankwo, Ifannyi, 2013).

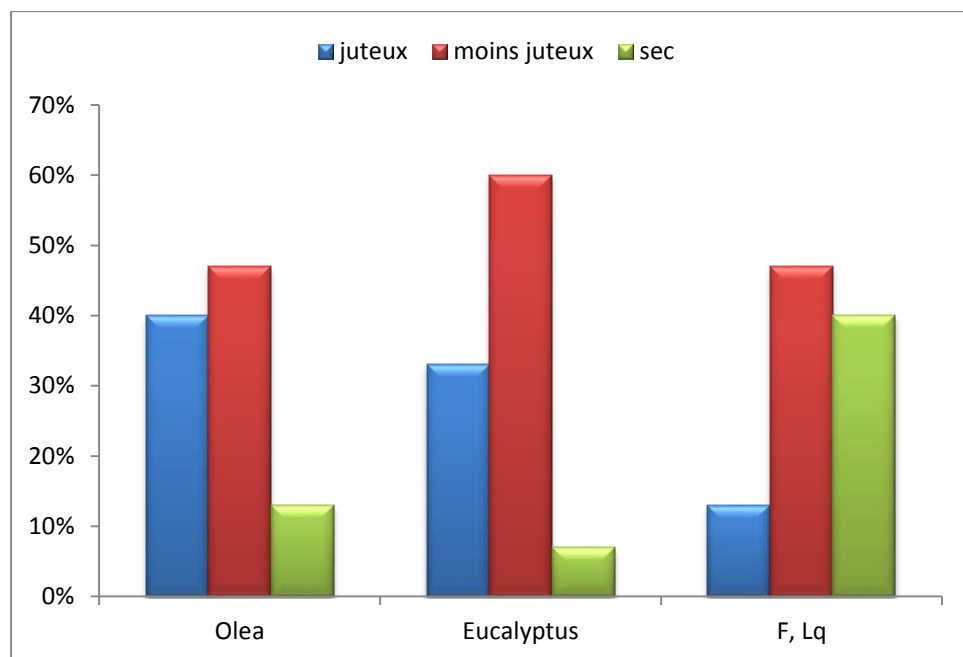
Selon Ziemba (1969) et Ruitter (1979), la formation de la couleur des produits fumés sur la surface vient à partir des réactions des composés carbonylés.



**Figure 10** : Evaluation sensorielle de la texture.

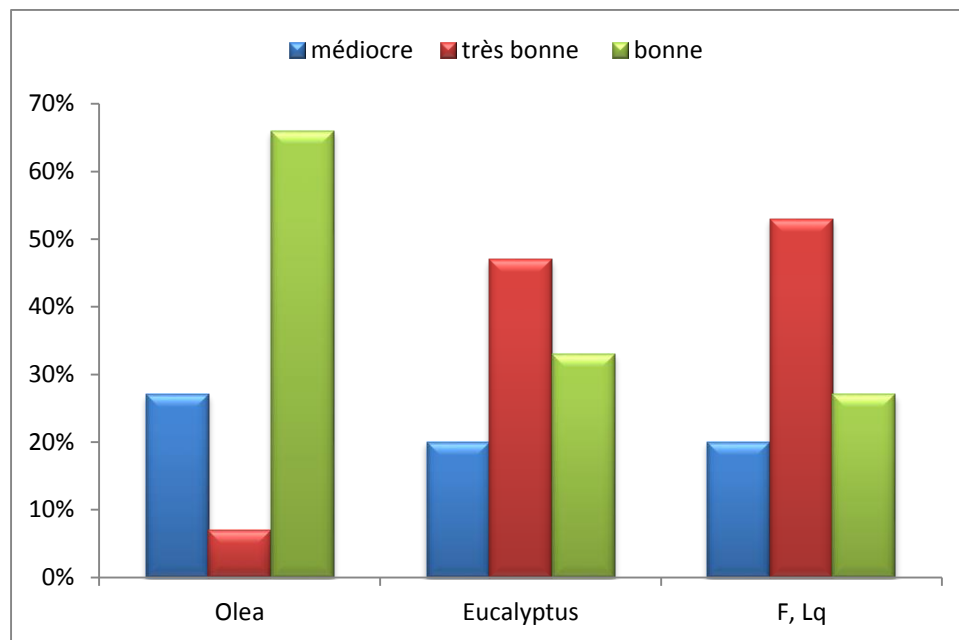
L'histogramme 2, fait apparaître les différentes textures des trois lots impliqués dans ce test, les échantillons fumés à l'Eucalyptus, l'Olea et fumée liquide (témoin) présentent un aspect humide en bouche soit 60%, 46%, et 40% respectivement.

La texture est un facteur très important de la qualité organoleptique de la viande (**Szezesniak & Kleyn, 1963 ; Gasperlin et al, 1999**). Dans le cas de notre étude, la sardine fumée traditionnellement à l'Eucalyptus, à l'Olea et à la fumée liquide ont présenté un aspect humide en bouche (Histogramme 2). Selon **Saincliver (1985) ; Camille Knockaert (1995)**, les constituants même de la fumée ne modifient qu'un peu la texture.



**Figure 11** : Evaluation sensorielle de la Jutosité.

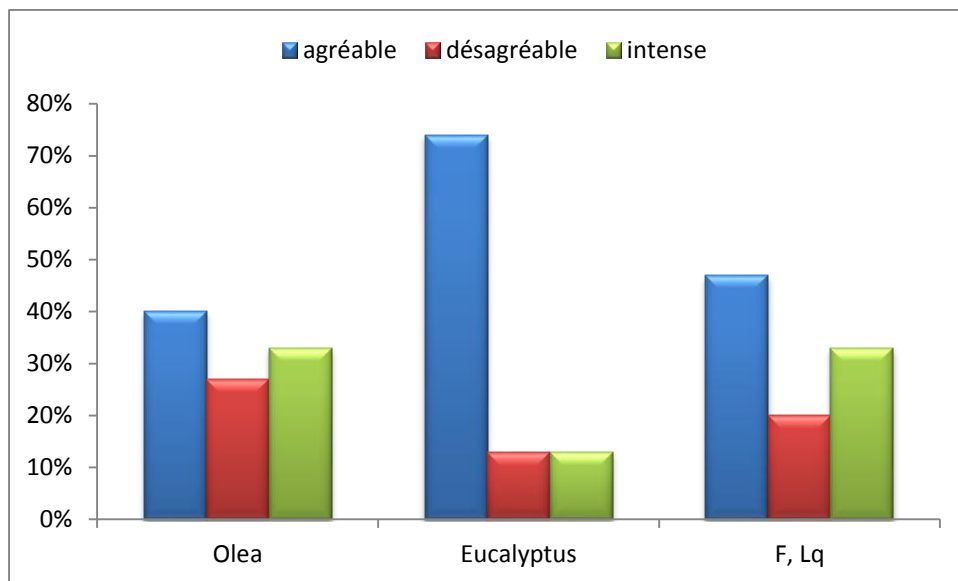
L'histogramme 3, montre que les échantillons 1, 2 et 3 présentent un aspect moins juteux, soit 47% pour l'échantillon 1 et 3, 60% pour l'échantillon 2. 40% des panélistes ont jugé que l'échantillon fumé à l'Olea est juteux suivi par 33% pour l'Eucalyptus, et 40 % que celle fumé par la fumée liquide est sec.



**Figure 12 :** Evaluation sensorielle de la flaveur.

L'histogramme 4, a montré que 53 % des panélistes ont jugé que l'échantillon (3) fumé à la fumée liquide présente une très bonne flaveur suivi par l'échantillon 2 soit 47%, et une bonne flaveur a été attribuée pour le lot de l'Olea avec 66%.

Un grand nombre de publication mentionnent la contribution essentielle des phénols à la flaveur typique des produits fumés entre autre **Maga, (1987) et Girard (1988), Camille Knockaert (1995)**. De même la flaveur d'une viande dépend de la matière grasse (**Swkland, 1990**). Les résultats de l'histogramme 4 montrent une très bonne flaveur a été favorisé par les composants de la fumée liquide par rapport aux autres échantillons. Les composés de la fumée sont les facteurs dominants, directement responsables de la flaveur peut être expliqué par la variation des composés carbonylés et acides qui sont à l'origine des flaveurs appréciées (**Pôle Aquimer, 2010**). Pour le lot témoin selon le **Cecesa (1992)**, l'arôme de fumée peut donner une flaveur de bonne qualité comme celle donné par le fumage traditionnel.

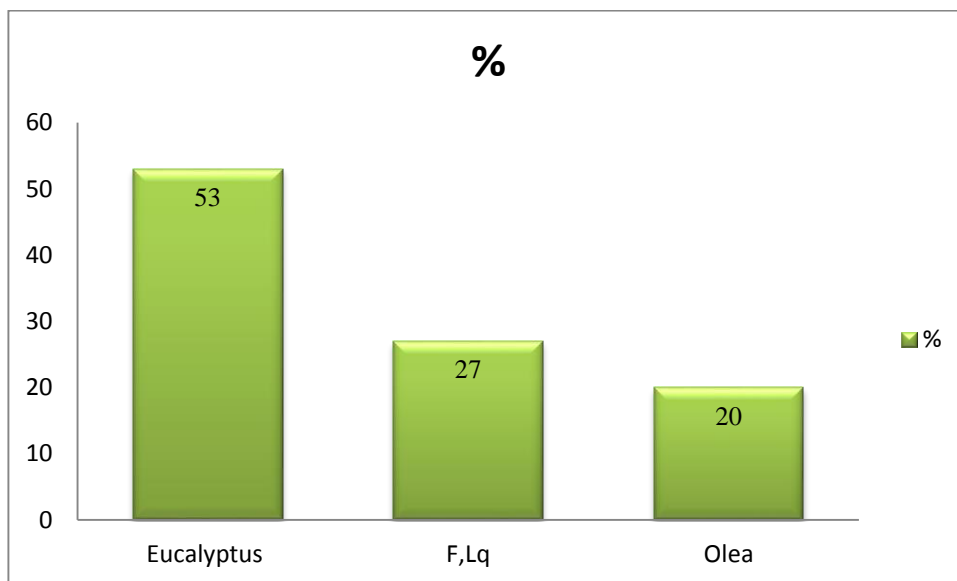


**Figure 13** : Evaluation sensorielle de l'odeur.

Les dégustateurs ont appréciés que les trois échantillons fumés traditionnellement à l'Eucalyptus, fumée liquide et Olea présentent une odeur agréable soit 74%, 47%, 40% respectivement.

L'odeur est un paramètre important de la qualité, la présence d'une mauvaise odeur va décourager les gens d'accepter des produits alimentaires (**Idah et al, 2013**).

En effet, de nombreux autres composés volatils ont été identifiés comme les cétones, les aldéhydes, les acides, les alcools, les esters, les furannes, les lactones et d'autres molécules, sont responsables de l'odeur (**Maga, 1987**).



**Figure 14 :** Préférence des dégustateurs exprimés en pourcentage

La figure 14 montre la préférence des 15 panélistes, dont 53% entre eux, ont apprécié beaucoup mieux l'échantillon 2 celui fumée à l'Eucalyptus en vue des ces qualités sensorielles qu'il présente, contre 27% ont préféré la sardine traitée au fumée liquide, tandis que 20% seulement ont apprécié la sardine fumée à l'Olea.

## Conclusion

---

L'objectif de notre travail consiste à étudier les effets de la nature du bois de fumage (Eucalyptus et, Olea) sur l'amélioration des propriétés sensorielle et nutritionnelle de la sardine « *Sardina pilchardus* », ainsi qu'à déterminer ses aptitudes de conservation à +4°C (7J) et à -18°C (20J).

Il ressort d'après les résultats obtenus que :

- Une teneur un peu élevée en polyphénols totaux a été enregistrée dans l'extrait méthanolique de *Eucalyptus globulus* par rapport à l'extrait d'*Olea europaea* (39 vs 33 mg équivalent Acide gallique/g de matière sèche).
- Le test DPPH<sup>+</sup> (2,2 DiPhenyle-1-Picryl-Hydrazyle), qui est basé sur la mesure de la capacité de piégeage de radicaux à l'aide de radical stable DPPH a montré une meilleure activité anti radicalaire inhibitrice de DPPH• avec la plus faible IC50 (4.31 mg/ml) était obtenue par le bois de l'Eucalyptus suivi des extraits de l'Olea par rapport à l'activité anti radicalaire inhibitrice de DPPH• soit : IC50 (6,16 mg/ml).
- Les résultats de cette expérience ont montré que la nature du bois et la durée de conservation ont eu un effet significatif ( $P < 0.05$ ) sur la matière sèche et l'eau, les lipides, les protéines ainsi qu'au niveau de l'oxydation des lipides.

D'un autre coté on peut suggérer que la fumée liquide tend à préserver au mieux les échantillons testés contre l'augmentation de l'humidité comparativement aux autres bois de fumage.

La composition des bois utilisés et celle de la fumée liquide n'a pas empêché l'acidification de la sardine fumée durant la conservation à +4°C et à -18°C.

Une diminution ( $P < 0.05$ ) du contenu lipidique par rapport à la teneur initiale des 3 lots étudiés ( $P < 0.05$ ) Olea, Eucalyptus, et fumée liquide au cour du stockage à +4°C soit (11.84%, 9.60%, 15.94%) respectivement, et à -18°C elle représente (10.15%, 8.97%, 12.38%) respectivement. Une réduction un peu élevée a été observée pour la sardine du lot témoin (fumée liquide). La fumée liquide n'a pas retardée la dégradation des lipides.

La fumée issue de l'Eucalyptus a permis de retarder l'oxydation lipidique de la sardine, en présentant une teneur plus basse en MDA par rapport à l'Olea et la fumée liquide durant la

## Conclusion

---

période de conservation à +4°C soit (29.82%, 35,06%, 45.45%) et à -18°C, représente (31.25%, 36.70%, 46.15%) respectivement.

La fumée du bois a permis de retarder la dégradation protéolytique des échantillons durant la conservation, par rapport aux échantillons traités avec la fumée liquide.

➤ L'analyse sensorielle a montré que :

Les échantillons traités par la fumée liquide et celle traité par la fumée du bois d'Eucalyptus présentent une couleur claire, contre une couleur foncée pour celle du lot Olea.

Les trois échantillons ont présenté une texture humide en bouche

Les échantillons fumée avec du bois sont juteux par rapport au lot témoin.

Par contre une très bonne flaveur a été favorisé par les composants de la fumée liquide par rapport celle d'Olea.

Les dégustateurs ont attribué une agréable odeur pour l'échantillon fumé traditionnellement avec l'Eucalyptus, cependant le lot témoin (extrait de fumée), présente une odeur intense.

De façon globale, les dégustateurs ont préféré l'échantillon fumé à l'Eucalyptus.

D'autres investigations sont nécessaires et notamment dans le prolongement de la période de conservation à plusieurs mois en vue de montrer réellement les effets du fumage sur aptitudes de conservations. Un travail d'étude des aspects toxicologiques par la mesure des composés toxiques issues de la fumée est aussi nécessaire en vue de prédire la valeur santé.

- ❖ **AFNOR, (1985).** (Association Française de Normalisation). Aliments des animaux, méthodes d'analyses française et communautaire. 2eme édition, 200p.
- ❖ **Akhter S, Rahman M, Hossain MM, Hashem MA (2009).** Effects of drying as preservation technique on nutrient contents of beef. J. Bangladesh Agric. Univ. 7(1) : 63-68.
- ❖ **Alvarez, (1992) ; Morales et al, (1980),** An attempt to determine growth and birth date of juvenil (Sardina pilchardus, Walb). In western Mediterranean Sea. Marin biology 144 : 199-203. Archives de Zoologie Expérimentale et générale, 1 (5) : 55p.
- ❖ **Arnim, Ferawati and Yetti Marlida, (2012).** The Effect of Liquid Smoke Utilization as Preservative for Meatballs Quality. Pakistan Journal of Nutrition. Asian Network for Scientific Information. Faculty of Animal Sciences, Andalas University, Indonesia. 1078-1080.
- ❖ **Athamena et al, (2010).** Activite anti-oxydante et antimicrobienne d'extraits de *Cuminum cyminum L.* Lebanese Science Journal. Vol 11 (1):72p.
- ❖ **Aubourg et al, (1998).** Fluorescence study of the pro-oxidant effect of free fatty acids on marine lipids. Journal of the science of food and Agriculture 81 385-390.
- ❖ **Blois, (1958);** Antioxidant determinations by the use of stable free radical. Nature. (181) : 1199-1200.
- ❖ **Blond, (1990).** Freezing and freeze drying. Les cahiers de L'ENSBANA, 7 : 127-148.
- ❖ **Bouderoua, K, Mourot, Benmehdi-Tabet- Aoull, F., Selselet-Attou, G (2008).** The effects of season and site of catch on morphometric characteristics, mineral content, and fatty acids of sardines (Sardina pilchardus) caught on the Algerian coast. Journal of Aquatic Food Product Technology, 20 (4), 412-420.
- ❖ **Bougandoura, (2013).** Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et Méthanolique de *Satureja calamintha ssp. Nepeta (L.)* Briq. Nature Technologie. (9): 15p.
- ❖ **Broadhurst, M.P., Wang, Y., Crawford, A., Cunnane, S. C., Parkington, J. E., and Schmidt, W. F. (2002).** Brain –specific lipids from marine, la custrine, or terrestrial food resources : Potential impact on early African Homo sapiens. Comp. Biochem. Physiol. 131 : 653-673.

- ❖ **Camille Knockaert, (1995)**, Fumage électrostatique : Application aux produits de la Mer, Collection « VALORISATION DES PRODUITS DE LA MER », IFREMER.
- ❖ **Camille Knockaert, (1995)**, Institut Français de Recherche pour l'exploitation de la mer, Laboratoire Génie.
- ❖ **Cecesa, (1992)**. Le conseil de l'Europe comité d'experts sur les substances aromatisantes, Health aspects of using smoke flavors as food ingredients, Isbn 92-871-2188-5, 1992, Council of Europe, p12-13.
- ❖ **Combe, (2003)**. Stabilité des oméga-3 selon les modes de chauffage et de conservation. Medical Nutrition, 1 :9-14.
- ❖ **Corraze, G. & Kaushik, S. (1999)**. Lipids from marine and freshwater fish. Ocl-Oleagineux Corps Gras Lipides 6 : 111-115.
- ❖ **Culley, M. (1971)**. The pilchard- biology and exploitation. Pergamon Press Limited, Oxford.
- ❖ **Decker, (1998)**. « Antioxydant mechanisms ». Food lipids. Chemistry, nutrition, and biotecfhnlology : 397-423.
- ❖ **Descalzo A.M, Rosseti L., Bioltto A., Cardza F., Garcia P.T., Grigioni G.M., (2008)**. Antioxyant consumption and development of oxidation during ageing of buffalo meat in Argentina. Meat Science, 79 (3), 582-588.
- ❖ **DPRH (2004)**. Direction de la pêche et des ressources halieutiques de la wilaya de Mostaganem.
- ❖ **Ettahiri et al, (2003)**. Observation on the spawning of *Sardina pilchardus* of the south Moroccan Atlantic coast 21-26°N. Fish. Res., 60, 207-222. Européennes, FAO, Rome.
- ❖ **Eyo, (2001)**. Fish processing technology in the tropics. National Institute for Freshwater Fisheries Research. University of Ilorin Press. pp. 10-70.
- ❖ **FAO fisheries département-2004** Situation mondiale des pêches et de L'aquaculture SOFIA. 164p.
- ❖ **Fichier canadien sur les éléments nutritifs, version (2005)**. (Consulté le 25 Novembrn 2005). Les filières animales terrestres et aquatiques Bilan 2012/perspectives 2013 Santé Canada.
- ❖ **Fidel Toldrà et al (2010)**, Handbook of Meat processing. P 236, 237, 238. .

- ❖ **Flourie F., Arab K., Rossay A., Steghens J.P., (2006).** A model of OH-mediated in vitro lipid peroxidation. application to the evaluation of four antioxidants. *Immuno-analyse et biologie spécialisée*, 21, 229-233.
- ❖ **Folch et al, (1957).** Folch, J., Lees, M., Sloane Stanley, G.H., (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Bio. Chem*, 226, 497, 509
- ❖ **Frankel, E.N. (1998)** Lipid oxidation. The Oily Press (vol. 10). Dundee, Scotland. 10. Genera, Species cum Characteribus, Differentiis Synonymis, Locis. 10th ed., Vol. 1. Holmiae.
- ❖ **Furnestin, (1959).** La reproduction de la sardine et de l'anchois des côtes atlantiques du Maroc (saison et aires de ponte). *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 23, 1 79-104.
- ❖ **Genot, (1996).** Some factors influencing TBA test, Annual report of the Vth PCRD EU project : Dietary treatment and oxidative stability of muscle and meat products : nutritive value, sensory quality and safety (Diet-ox), AIR III-CT-92-1577.µ.
- ❖ **Ghosh SK, Roychoudhury S, Kar S, Ghosh JJ, Chakraborti T, and Chakraborti S, (1996).** Protective role of anion channel blocker in lipid peroxidation caused by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in microsomes of bovine pulmonary arterial smooth muscle tissue. *Indian J Biochem Biophys* 33 :57-61.
- ❖ **Gladine et al, (2007b).** The antioxidative effect of plant extracts rich in polyphenols in tissue specific in rats fed a n-3 PUFA rich diet. *Animal Feed Science Technology*, 139-272.
- ❖ **Gray et Pearson, (1987).** Rancidity and warmed-over Flavor. *Advanced Meat Research*, 3,221-269.
- ❖ **Haard, N.F. (1992).** Control of chemical composition and food quality attributes of cultured fish. *Food Research International* 25, 289-307.
- ❖ **Henri Durand, (1975).** Quelques possibilités d'utilisation des sardines de grande taille. *Science et pêche Bull. Institut, Pêche maritimes*, n°253.
- ❖ **Holma, K. Ayinsa, and B.K. Maalekuu, (2013).** Effect of traditional fish processing methods on the proximate composition of red fish stored under ambient room conditions. *AMERICAN JOURNAL OF FOOD AND NUTRITION*. P 73-82

- ❖ **Hong et coll, (2004)**. Effects of vitamin E on oxidative stress and membrane fluidity in brain of streptozotocin-induced diabetic rats. *Clin chim Acta* 340 : 107-115.
- ❖ **Huss, H.H., (1988)**. Le poisson frais sa qualité et altération de la qualité. *Fishies. Séries N° 29.F.A.O.* Rome.
- ❖ **Idah, Peter Aba Nwankwo, Ifannyi, (2013)**. Effects of smoke-drying temperatures and time on physical and nutritional quality parameters of Tilapia (*Oreochromis niloticus*).PP 29-34.
- ❖ **Joumala Sidi Hida, (2013)**, Fumage process, Food magazine (de 15 sep 15 à oct), n 58 46.
- ❖ **Khoja, F. (1976)**. Etude morphologique et histologique du développement larvaire chez l'anchois (*Engraulis Let sardine pilchardus*, Walb, 1972 poisson téléostéen) These 3<sup>ème</sup> cycle. Alger, 79p.
- ❖ **Kurien B.T., Scofield R.H., (2007)**. Curcumin/ Turmeric solubilized in sodium hydroxide inhibits Hne protein modification-an in vitro study. *J Ethnopharmacol*, 110 (2), 368-373.
- ❖ **Lall, P.S., Leah, M., McCrea, Lewis. (2007)**. Role of nutrients in skeletal metabolism and pathology in fish.-An overview.*Aquaculture* (2007).
- ❖ **Leo M.L Nollet et Fidel Toldrà, (2009)**. Handbook of processed Meats and Poultry Analysis. P 142-162.
- ❖ **Lowry. O.H, Rosenbrough N.J, Farr A.L et Randall R.J., (1951)** ; Protein measurement with the follin reagent. *J.Biol. Chem.* P: 265-275
- ❖ **Maataoui et al, (2006)**. Activités anti-radicalaires d'extraits de jus de fruits du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*). *Lebanese Science Journal.* (1):3-8.
- ❖ **Maga J.A et Chen Z, (1985)**. Pyrazine composition of wood smoke as influenced by wood source and smoke generation variables. *Flavour and Fragrance J.*, 1, 37-42.
- ❖ **Manfred Werlich, (Mars 2001)**. Fumage du poisson et fours de fumage, p 2.3.
- ❖ **Médale et al, (2005)**.  $\beta$ -oxydation des acides gras dans le foie et le muscle de la truite arc-en- ciel nourrie avec des aliments à base d'huile de poisson ou d'huiles végétales. *1ere Journnées d'Animation Scientifique du Département de Physiologie Animale et Systèmes d'Elevage, 15-16 mars, Tours, Francep, 197.*

- ❖ **Milliauskas, G., Venskutonis, P.R., van Beek, T.A. (2004).** Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chem*, 85: 231–237.
- ❖ **Ministère de l'économie de finances et de l'emploi (France, 2005).**
- ❖ **Molyneux, (2004).** The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *SciencesTechnology* .Vol 26 (2) : 211-219.
- ❖ **Murray C.K. et Burt., (1969).** An investigation of the method of determination TMA in fish muscle extract by the formation of its picrate salts. *Ed. Technol* , 1972, 7 ,35-46Nat
  
- ❖ **Pallu, (1971).** Etuvage et fumaison. Action du facteur température sur les viandes et préparations de charcuterie. –In la charcuterie en France, Pallu R. Nlle ed.
  
- ❖ **Papageorgiou G., Botsoglou N., Govaris A., Giannesa I., Iliadis S., Botsoglou E., (2003).** Effect of dietary oregano oil and alpha-tocophérol acetate supplementation on iron-induced lipid oxidation of Turkey Breast, thigh, Liver and heart tissues. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 87 (9-10), 324-335.
  
- ❖ **Patrick Mafikiri, (2012).** Essai de conservation par séchage fumage de la viande de bœuf, université du Graben RDC.
  
- ❖ **Pole Aquimer, (2010).** Le fumage du poisson. Procédé de transformation et conservation, Technologie, p 2.3.9.10.11
  
- ❖ **Popovici et al, (2009).** Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de Génie Industriel*.
  
- ❖ **Quéro, J.C. (1984).** Les poissons des mers des pêches françaises. Ed. Jacques Grancher. Paris, P. 169-170.
  
- ❖ **Ruitter A. (1979).** Color of smoked foods. *Food Technol*.
  
- ❖ **S. Samples, J. Pickova, & E. Wiklund, (2003).** Fatty acids, antioxydants and oxidation stability of processed reindeer meat. *Swedish University of Agricultural Sciences. Meat Science* 67 (2004) 523-532.
  
- ❖ **Saintclivier M. (1985).** L'industrie alimentaire halieutique. Des techniques ancestrales à leurs réalisations contemporaines. (Bulletin scientifique et technique de l'ENSA de Rennes), Sciences agronomiques de Rennes, vol.2.

- ❖ *Sargent, J., Henderson, R.J. & Tocher, D.R. (1989)*. The lipids. In : Fish Nutrition, 2<sup>nd</sup> ed (ed : Halver, J.E.), Academic Press, Inc, pp. 153-218.
- ❖ *Scheridan et al, (1988)* Contamination likely infection interfere with the production of lipoprotéines. i e the exportable from of hepatic lipids.
- ❖ *Soldera S., Sebastianutto and R. Bortolomeazzi, (2008)*. Composition of phenolic compound and activity of commercial aqueous smoke flavoring. J. Agric. Food Chem., 56 :2727-2734.
- ❖ *Southgate, D.A.T., Greenfield.H. (2007)*. Données sur la composition des aliments. Editeurs techniques : B.A.Burlingame et U.R. Charrondiére. Organisation des Nations Unies.
- ❖ *Szezesniak & Kleyn, (1963) ; Gasperlin et al, (1999)*. La fumaison de la viande et des produits carnés. –Actual. Scient. Teclm. Incl. 17 :74-78.
- ❖ *Talon (R.) et GIRARD (J.P.), (1980)*. La fumaison de la viande et des produits carnés. – Actual. Scient. Teclm. Incl.Ag / 'O. Alim, n° 25.
- ❖ *Veit P. 1986*. Hygiène alimentaire.
- ❖ *Walbaum, 1792, J. J. (1972)*. Petri Arted sueci genera piscium. In quibus systema totum **ichthyologiae** proponitur cum classibus, ordinibus, generum charactribus, Geographic variability of sardine growth across the northeastern Atlantic and the Mediterranean Sea Fisheries Research 90 (2008) 56-69.
- ❖ *Young et al, (2003a)*. Ascorbic acid, alpha-tocophérol, and oregano supplements reduce stress-induced deterioration of chicken meat quality. Poult Sci , 82(8), 1343-1351.
- ❖ *Young et al, (2005b)*. Significance of vitamine E supplementation. Dietary, content of polyunsaturated fatty acids, and preslaughter stress on oxydative status in pig as reflected in cell integrity and antioxydative enzyme activities in porcine muscle. J Agric Food Chem, 56 (3), 745-749.