

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
كلية علوم الطبيعة و الحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
قسم العلوم الزراعية
Département des Sciences agronomiques

THÈSE

En Vue de l'Obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences

Filière : Sciences agronomiques

Option : Sciences alimentaires

Présentée par : Mr. BENGUENDOZ Abdenour

Sous le thème

Caractérisation nutritionnelle, toxicologique et aptitudes technologiques de « *Sardine pilchardus* » pêchée dans la côte Algérienne

Devant le jury :

M. Selselet-Attou Ghalem, Professeur. Univ. Mostaganem	Président
M. Boudroua Kaddour, Professeur. Univ. Mostaganem	Directeur de thèse
M. Bekkada Ahmed, Professeur. C.U. Tissemsilet	Co-directeur de thèse
M. Ait sâada Djamel, Maitre de conférences A. Univ. Mostaganem	Examineur
M ^{me} . Ait hamadouche Nadia, Professeur. Univ. Oran	Examinatrice
M. Litim Miloud, Maitre de conférences A, E.S.A. Univ. Mostaganem	Examineur
M. Amrane Abdeltif, Professeur, E.N.S.C. Univ. Rennes 2	Invité

Année universitaire : 2017/2018

Dédicace

Ce travail est dédié à :

- ❖ *Mes très chers parents qui se sont sacrifiés pour ma réussite : qu'Allah le Tout-Puissant me les garde.*
- ❖ *La mémoire de mes grands-parents*
- ❖ *La mémoire de ma belle-mère Amina*
- ❖ *La mémoire de mon enseignant Didi Mebrouk*
- ❖ *Mon très cher frère Abdelmadjid*
- ❖ *Mon très cher neveu Walid*
- ❖ *Mon épouse Asma.*
- ❖ *Mes enfants adorés El Hassane Djawad et El Housseine Mohamed Nadjib*
- ❖ *Ma chère sœur Asma et à son mari Nasrallah, à mon neveu Yassine.*
- ❖ *À mon frère Brahim*
- ❖ *À mon très cher ami Mosbah Abdelkader*
- ❖ *Mon beau père et oncle Abdelhamid et son épouse Noria*
- ❖ *Ma belle-sœur Fatima, son mari Amine et leurs enfants Amina, Meriem et Abdelhamid*
- ❖ *Toute ma famille.*
- ❖ *Tous mes amis ainsi qu'à l'ensemble de mes camarades de promotion.*

❖ *Et à tous ceux qui m'ont apporté un soutien moral ou matériel.*

Remerciements

Avant tout, permettez-moi de rendre grâce à Dieu le tout puissant de m'avoir donné la force, la volonté et le courage durant toutes ces années d'études et d'efforts pour l'accomplissement de ce travail.

Qu'il me soit permis d'adresser mes plus vifs et sincères remerciements à Monsieur SELSELET-ATTOU G., Professeur à l'université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem qui a bien voulu me faire l'honneur de présider cet honorable jury.

Je tiens à exprimer ma profonde et respectueuse gratitude à Monsieur BONDÉROUA K., Professeur à l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, qui n'a pas hésité de me faire profiter de son vaste savoir, de sa grande expérience, de ses conseils éclairés, de son indulgente compréhension, de sa constante disponibilité et de sa bienveillance toute paternelle.

Je n'oublierai pas d'adresser mes remerciements les plus chaleureux à Monsieur BEKKADA. A., co-directeur de thèse et Professeur au Centre universitaire de Tissemsilet qui m'a fait l'honneur de prendre connaissance de ce travail de thèse.

Il m'est agréable d'adresser mes hommages respectueux à Madame Ait Hamadouche N., Professeur à l'université d'Oran d'avoir accepté d'examiner la présente thèse.

Je tiens aussi à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur AÏT SÂADA D. Maître de conférences A, à l'université de Mostaganem d'avoir bien voulu accepter d'examiner la présente thèse.

Tous mes remerciements s'adressent également à Monsieur Litim. M. Maître de conférences A à l'École Supérieure d'Agronomie de Mostaganem de m'avoir fait l'honneur de lire mon manuscrit et d'avoir bien voulu examiner mon travail.

Mes remerciements vont aussi à monsieur Amrane A. Professeur à l'École Nationale Supérieure de Chimie de Rennes, de l'honneur qu'il m'a fait pour participer à l'évaluation de cette thèse. Je lui exprime ici mes sincères respects et qu'il soit rassuré de mon estime.

Par ailleurs, il ne m'est pas possible de ne pas adresser mes remerciements les plus chaleureux aux :

- Dr Ioannis Zabetakis, Université de Limerick, Irlande*
- Dr Eleni Sioriki, Université d'Athènes, Grèce*
- Monsieur Vaggelis Adrianos, Université d'Athènes, Grèce*

Pour leur aide précieuse en matière d'analyses portant sur les acides gras notamment.

De même, il convient d'adresser mes plus vifs remerciements à l'ensemble du personnel du Laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition de l'Université de Mostaganem pour leur concours déterminant dans la réalisation de ce travail.

Je n'oublierai pas le rôle essentiel de Monsieur Dahloum Houari, Maître de conférences à l'Université de Mostaganem qui a bien voulu se charger d'assurer la préparation et l'acheminement des divers éléments soumis aux traitements statistiques des données.

Je voudrais remercier également Monsieur Benabdelmoumen D., Maître de conférences et Chef de département d'Agronomie à l'Université de Mostaganem pour son aide précieuse portant sur l'ensemble de ce travail.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent également à l'ensemble de mes professeurs, notamment Madame Djeffal Maria, Monsieur Labdaoui Djamel, Madame et Monsieur Houara, Monsieur Bakhti, et Monsieur Larid, ainsi qu'à tous ceux que je n'ai pu citer dans le cadre de ce modeste ouvrage.

Enfin, avant de conclure je voudrais rendre un vibrant hommage à toutes les personnes connues ou anonymes qui ont bien voulu m'apporter leur soutien moral et matériel dans l'élaboration de ce document.

ملخص

من خلال هذا العمل قد قمنا بتحديد الكم الإجمالي للدهون، للأحماض الدهنية و تقييم كمية المعادن الثقيلة الموجودة في شرائح السردين (ساردينا بيلشاردوس) التي تم صيدها في كل من بني صاف، مستغانم، الغزوات، الجزائر العاصمة و جيجل في فبراير بمعدلات تراوحت بين 7.18 جم لسردين الجزائر (P < 0.05) 2014. لاحظنا تغير محتوى الدهون بشكل ملحوظ وفقا لمواقع الصيد إلى 10.07 جم لسردين بني صاف. أظهر تكوين الأحماض الدهنية للسردين المدروس على وجود نسبة عالية من الأحماض الدهنية وحمض الدوكوساهيكسانويك (EPA C20: 5) ، أحماض دهنية التي يهيمن عليها الحمض الدهني (PUFA) المتعددة و الغير المشبعة كان محتوى الأحماض الدهنية (p < 0.05) مع تركيزات قصوى قدرت ب 15.75٪ و 33.42٪ على التوالي (DHA C22: 6) فيما يتعلق بالمعادن الثقيلة، (p < 0.05) (مهما في عينات مختلفة من السردين المدروس (35.50٪ إلى 41.32٪ (AGS) المشبعة تراوحت بين 0.080 ملغ إلى 0130 (Hg) تراوحت بين 0013 ملغ إلى 0024 ملغ بيد أن كميات الزئبق (Pb) مستويات الرصاص ، مما يؤثر على القيمة الصحية للسّمك بصفة عامة. أخيرا، طهي السمك بطريقة التدخين بكلا النوعين من الحطب: (P < 0.05) ملغ عكس ما قام به طريقة (P < 0.05) الزيتون و الكينا قاما بحماية الدهون من ظواهر الأكسدة بالحد من تشكل المألون دي ألدهيد (الشواء) (0.40 مغ، 0،50 مغ مقابل 0،64 مغ على التوالي).

.الكلمات المفتاحية: سردين - أحماض دهنية - مألوندي ألدهيد - المعادن الثقيلة - طريقة الطهي

Abstract

Total lipids, fatty acid composition and heavy metal content of *Sardina pilchardus* fillet samples captured in February 2014 in Beni saf, Mostaganem, Ghazaouet, Algiers and Jijet coast were evaluated. Total lipid content was related to the five sites of catch ($p < 0.05$), ranging from 7.18 g 100g⁻¹ for Algiers to 10.07g 100g⁻¹ for Beni saf. The fatty acid composition of *S. pilchardus* shows a high content of polyunsaturated fatty acids (PUFAs) dominated by n-3 fatty acids eicosapentaenoic acid (EPA C20:5 n-3) and docosahexaenoic acid (DHA C22:6n-3) with maximum rates of 15.75% and 33.42%, respectively ($p < 0.05$). The saturated fatty acid (SFA) content was important in different samples of sardines, ranging from 35.50% to 41.32% according to sites of capture ($p < 0.05$). Concerning the heavy metals, the levels of lead (Pb) ranged from 0.013mg to 0.024mg. However those of mercury (Hg) varied from 0.080 mg to 0.130 mg ($p < 0.05$), which affects the health value of the fish species. Finally, the smoking treatment with the two plants species *E. globulus* and *O. europea* protected significantly ($p < 0.05$) the lipids contained in the sardine fillets of our experiment against the phenomena of lipoperoxidation compared to the grilling treatment by limiting the formation of malondialdehyde (MDA) (0.40 mg eq / kg Vs 0.50 Vs 0.64, respectively)

Résumé

Les lipides totaux, la composition en acides gras et les concentrations en métaux lourds contenus dans les filets de *Sardina pilchardus* capturée à Beni Saf, Mostaganem, Ghazaouet, Alger et la côte de Jijet en février 2014 ont été évalués. La teneur totale en lipides changeait significativement selon les sites de capture ($p < 0.05$) avec des taux allant de 7.18 g 100 g⁻¹ pour Alger à 10.07 g 100 g⁻¹ pour Beni saf. La composition en acides gras de *S. pilchardus* a montré une teneur élevée en acides gras polyinsaturés (AGPI) dominés par les acides gras n-3, l'acide eicosapentaénoïque (EPA C20 : 5 n-3) et l'acide docosahexaénoïque (DHA C22 : 6n-3) avec des concentrations maximales de 15.75 % et 33.42 %, respectivement ($p < 0.05$). La teneur en acides gras saturés (AGS) était importante dans les différents échantillons de sardines étudiées (35.50 % à 41.32 %) ($p < 0.05$). Concernant les métaux lourds, les niveaux de plomb (Pb) variaient de 0,013 mg à 0,024 mg, cependant ceux de mercure (Hg) variaient de 0.080 mg à 0.130 mg ($p < 0.05$), ce qui affecte la valeur santé de la sardine. Enfin, le traitement de fumage aux deux espèces végétales *E. globulus* et *O. europea* a protégé significativement ($p < 0.05$) les lipides contenus dans les filets de sardine de notre expérimentation contre les phénomènes de lipoperoxydation par rapport au traitement de grillade en limitant la formation du malondialdéhyde (MDA) (0.40 mg eq/kg Vs 0.50 Vs 0.64, respectivement).

Liste des abréviations

I.F.R.E.MER	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
I.N.R.A	Institut National de Recherche Agronomique
FAO	Organisation Mondiale de l'Alimentation
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
H.A.P	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
MDA	Malondialdéhyde
4-HNE	4-hydroxynonanal
AG	Acides gras
AGI	Acides gras insaturés
AGMI	Acides gras monoinsaturés
AGPI	Acides gras polyinsaturés
AGPI LC	Acides gras polyinsaturés longue chaîne
AGS	Acides gras saturés
AL	Acide linoléique
LA/ALA	Linoléic Acid / Alpha Linoléic Acid
ALC	Acides linoléiques conjugués
ANC	Apports nutritionnels conseillés

ANR	Apports nutritionnels recommandés
CLA	Acide linoléique conjugué
CPG	Chromatographie phase gaz
DHA	Acide docosahexaénoïque
EPA	Acide eicosapentaénoïque
HDL	High density lipoprotein
MG	Matière grasse
MM	Matière minérale
MS	Matière sèche
n3	Acides gras oméga 3
n6	Acides gras oméga 6
TBA	Acide thiobarbituric
TBARS	Thiobarbituric acid reactive substances
TCA	Acide trichloroacétique
VLDL	Very low density lipoprotein
LT	Longueur totale
Pb	Plomb
Hg	Mercure
MG	Matière grasse
MM	Matière minérale

MS	Matière sèche
n3	Acides gras oméga 3
n6	Acides gras oméga 6
ERO	Espèces réactives de l'oxygène
LOO ou ROO	Radicaux peroxydes
POP	Polluants Organiques Persistants

Liste des figures

Numéro de figure	Titre	Page
1	La sardine commune « <i>Sardina pilchardus</i> »	5
2	Répartition géographique de <i>Sardina pilchardus</i>	6
3	Différentes espèces réactives de l'oxygène	24
4	Oxydation des acides gras polyinsaturés et formation de MDA	25
5	Origine de la pollution du littoral	29
6	Échantillons de sardine pêchée dans la côte Algérienne	41
7	Représentation des isobathes de la région de Mostaganem	43
8	Zones de capture de <i>Sardina pilchardus</i> dans la côte Algérienne	44
9	Préparation des échantillons de <i>Sardina pilchardus</i> après la pêche	45
10	Minéralisateur Kjeldhal (DKL series VELP Scientifica)	46
11	Longueurs des sardines pêchées aux des différents sites de capture de la côte Algérienne	50
12	Poids des sardines pêchées aux des différents sites de capture de la côte Algérienne	51
13	Teneur en matière sèche des filets de sardine pêchée aux des différents sites de capture de la côte Algérienne	52
14	Teneur en matière minérale des filets de sardine capturée dans les différents sites de la côte Algérienne	53
15	Teneur des protéines contenues dans les filets de sardine capturée dans la côte Algérienne	54
16	Teneur en lipides totaux contenus dans les filets de sardine capturée dans la côte Algérienne	55
17	Teneur en acides gras polyinsaturés (AGPI ω -3) contenus dans les filets de sardine capturée dans la côte Algérienne	58
18	Teneur en acides gras polyinsaturés (AGPI ω -6) contenus dans les filets de sardine capturée dans la côte Algérienne	58
19	Teneur en acide palmitique (C16 : 0) contenu dans les filets de sardine capturée dans la côte Algérienne	59
20	Teneur en acides oléiques (C18 : 1 cis ω -9) contenus dans les filets de sardine capturée dans la côte Algérienne, exprimée en %	60

21	Teneur en acide eicosapentaénoïque (EPA, C20 : 5 ω -3) contenu dans les filets de sardine capturée dans la côte Algérienne	61
22	Teneur en acide docosahexaénoïque (DHA, C22: 6 ω -3) contenu dans les filets de sardine capturée dans la côte Algérienne	61
23	Rapport n-6/n-3 des filets de sardine capturée dans la côte Algérienne	62
24	Rapport AGPI/AGS des filets de sardine capturée dans la côte Algérienne	63
25	Concentrations du Pb (Plomb) dans les filets de sardines capturées dans la côte algérienne	65
26	Concentrations du Hg (Mercure) dans les filets de sardines capturées dans la côte algérienne	66
27	Friture des filets de sardine	69
28	Cuisson au four des filets de sardine	70
29	Grillade des filets de sardine	70
30	Répartition des différents lots de filet de sardine après cuisson	71
31	Teneur en matière sèche des filets de sardine selon le mode de cuisson	74
32	Teneur en matière minérale des filets de sardine selon le mode de cuisson	75
33	Teneur en protéines des filets de sardine selon le mode de cuisson appliqué	76
34	Teneur en lipides totaux des filets de sardine selon le mode de cuisson	77
35	Teneur en malondialdéhyde (MDA) des filets de sardine selon le mode de	78
36	Teneur en matière sèche, protéines, lipides, matière minérale et en MDA des filets de sardine frits	81
37	Teneur en matière sèche, protéines, lipides, matière minérale et en MDA des filets de sardine cuits au four	81
38	Teneur en matière sèche, protéines, lipides, matière minérale et en MDA des filets de sardine grillés	81
39	Aspects morphologiques de l'espèce <i>Eucalyptus globulus</i>	88
40	Aspects morphologiques de l'espèce <i>Olea europea L.</i>	89
41	Fumoir traditionnelle utilisé dans notre expérimentation	90
42	Teneurs en polyphénols totaux des deux espèces végétales « <i>Eucalyptus globulus</i> et	93
43	Activité antiradicalaire IC50 des deux espèces végétales « <i>Eucalyptus globulus</i> et <i>Olea europea</i> »	95
44	Teneur en MDA des filets de sardine fumée et grillée	97
45	Évaluation de la couleur de la surface des filets de sardine fumés et grillés	99
46	Évaluation de la texture des filets des sardines fumées et grillées	100
47	Évaluation de la jutosité des filets des sardines fumées et grillées	101
48	Évaluation de la flaveur des filets des sardines fumées et grillées	102

49	Évaluation de l'odeur des filets des sardines fumées et grillées	103
50	Préférence sensorielle des filets des sardines fumées et grillées par les panélistes	103

Liste des tableaux

Numéro du tableau	Titre	Page
1	Position systématique de sardine « <i>Sardina pilchardus</i> ».	5
2	Composés majoritaires dans la fumée de bois	15
3	Les Caractéristiques physico-chimiques du Pb	33
4	Propriétés physico-chimiques du mercure	34
5	Lipides totaux (en g.100g-1) et profil d'acides gras des filets de <i>Sardina pilchardus</i> capturée dans la côte algérienne	57
6	Effets des différents modes de cuisson sur la composition biochimique et sur la lipopéoxydation des filets de sardine pêchée dans les côtes algériennes	73
7	Effets du réchauffage au four conventionnel et aux micro-ondes des filets de sardine pêchée dans les côtes algériennes	80

Travaux de recherche

- Effets de l'extrait de romarin (*Rosmarinus officinalis*) sur la lipoperoxydation de la viande d'agneau en Algérie. *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn. Vol 8, N°2, p : 163-171.*
- Caractérisation physico-chimique de l'huile d'argan préparée à partir des fruits d'*Argania spinosa* (l.) récoltés dans la wilaya de Motaganem (algerie). *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn. Vol 11, N°1, p :72-79.*
- Effet de la cuisson sur la composition biochimique de la viande d'agneau algerien (oum el bouaghi et souk ahras) issu de pâturage. *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn. Vol 11, N°1, p :98 -108.*
- Fatty acid profile and assessment of heavy metals content of *Sardina pilchardus* captured in Algerian coast. *Iranian Journal of Fisheries Science. Volume 16, Issue 3, Summer 2017, Page 1021-1029.*
- Lipids and fatty acids profile of artisanal Camembert-type cheese manufactured with cow's milk collected in northern Algeria and provided from different stages of lactation. *Iranian Journal of Veterinary Research* (En cours de publication)

Sommaire

Remerciement
Dédicaces
Travaux de recherche
Liste des abréviations
Liste des figures
Liste des tableaux
Résumés

Introduction 2

Partie bibliographique

Chapitre 1 : Sardina pilchardus : Biologie, intérêts nutritionnels et technologie de conservation

1- Taxonomie	5
2- Position systématique	5
3- Répartition	6
4- Morphologie et comportement	6
5- Alimentation de l'espèce	7
6- Croissance	7
7- Reproduction	7
8- Intérêts nutritionnels de <i>Sardina pilchardus</i>	8
8-1 Le poisson : une source de protéines de haute valeur biologique	9
8-2 Des micronutriments précieux	10
8-2-1 Les vitamines.....	10

8-2-2 Les minéraux et oligo-éléments caractéristiques	10
8-3 Lipides et acides gras.....	11
8-3-1 Lipides neutres ou lipides de réserve	12
8-3-2 Lipides polaires ou phospholipides (P.L.).....	12
9- Techniques de conservation des poissons	13
9-1 Séchage	14
9-2 Le salage.....	14
9-2-1 Techniques de salage	14
9-3- Technologie du fumage	15
9-3-1- Définition.....	15
9-4- La fumée	15
9-4-1- Composition physique	15
9-4-2- Composition chimique.....	15
9-4-3- Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (H.A.P.)	16
9-4-4- Les phénols.....	16
9-5 Action de la fumée sur le poisson	16
9-5-1 Action organoleptique.....	16
9-5-2 Action bactériologique.....	16
9-5-3- Action toxique	16
10- Impact du procédé sur la qualité nutritionnelle	17

Chapitre 2 : Effets des traitements thermiques sur la qualité des poissons

1- Introduction.....	19
2-Traitements technologiques de cuisson.....	19
2-1- Généralités sur les modes de cuisson.....	19
2-2- Différents modes de cuisson appliqués sur les poissons	20
2-2-3- Grillade	20

2-2-4- Friture	20
2-2-5- Braiser	21
2-2-6- Cuisson aux micro-ondes	21
2-3- Incidences des traitements thermiques sur les principaux constituants des viandes et poissons	21
2-3-1- Sur la teneur en eau	21
2-3-2- Sur les protéines	22
2-3-3- Sur les lipides	22
2-3-4- Le stress oxydatif	23
3- Facteurs influençant la lipopéroxydation	24
3-1- Espèces réactives de l'oxygène (ERO)	24
3-2- Acides gras polyinsaturés	25
3-2-1- Lipopéroxydation et formation de malondialdéhyde	25
3-2-2- Impact des produits peroxydés sur la qualité des poissons	26

Chapitre 3 : Pollution marine et son impact sur la santé humaine

1-Aspect de la pollution marine	29
1-1- Généralités	29
1-1-1 Définition de la pollution	29
1-1-2- La pollution dans la Méditerranée	30
1-1-3- La pollution en Algérie	30
2-Pollution marine par les métaux lourds.....	30
3- Les transferts des contaminants dans le milieu marin.....	31
3-1-La bioaccumulation.....	31
3-2- La bioconcentration	32
3-3- La bioamplification.....	32
4- Métaux lourds étudiés et leurs impacts sur la santé humaine	32

4-1- Le plomb	32
4-1-1- Comportement du plomb dans l'eau	33
4-1-2- Toxicité du plomb.....	33
4-2- Le mercure	34
4-2-1- Utilisations du mercure	35
4-2-2- Propriétés biologiques et toxicité	35

Partie expérimentale

Chapitre 1 : Caractérisation nutritionnelle et toxicologique de *Sardina pilchardus* capturée dans les côtes Algériennes

1-Introduction	39
2- Matériels et Méthodes	41
2-1- Matériels	41
2-1-1- Choix de l'espèce de poisson	41
2-1-2- Choix des zones d'études	41
2-1-3- Présentation des zones d'étude.....	42
2-1-3-1- La zone de Ghazaouet	42
2-1-3-2- La zone de Béni-Saf.....	42
2-1-3-3- La zone de Mostaganem	42
2-1-3-4- La baie de Jijel	43
2-1-3-5- La baie d'Alger	43
2-1-4 Échantillonnage de <i>Sardina pilchardus</i> et morphométrie	44
2-2- Méthodes	45
2-2-1 Matière sèche	45
2-2-2- Matière minérale.....	45
2-2-3- Protéines brutes	46

2-2-4- Dosage de la matière grasse	47
2-2-4-1- Lipides totaux.....	47
2-2-4-2- Composition en acides gras	48
2-2-4-3- Détermination des métaux lourds	49
3- Résultats et discussions	50
3-1- Longueur totale	50
3-2- Poids	51
3-3- Matière sèche.....	52
3-4- Matière minérale.....	52
3-5- Protéines	53
3-6- Concentration de la matière grasse	54
3-6-1- Lipides totaux.....	54
3-6-2- Les acides gras.....	56
3-7- Évaluation toxicologique de <i>Sardina pilchardus</i>	63
3-7-1-Introduction	63
3-7-2- Métaux lourds.....	64

Chapitre 2 : Effets des traitements thermiques sur la qualité des poissons

1- Introduction.....	68
2-Matériels	69
2-1-Prélèvement des échantillons de sardine	69
3- Méthodes.....	69
3-1- Modes de cuisson.....	69
3-2-Techniques analytiques.....	71
3-2-1- Estimation du degré de peroxydation des lipides des filets de sardine par la méthode TBA-rs	71

4-Traitement statistique.....	72
5- Résultats et discussion	73
5-1- Effets de cuisson sur les composés biochimiques de <i>Sardina pilchardus</i>	73
5-1-1- Teneur en matière sèche	73
5-1-2- Teneur en matière minérale	74
5-1-3- Teneur en protéines	75
5-1-4- Teneur en lipides totaux	76
5-2- Effet de cuisson sur l'oxydation des lipides des filets de <i>sardina pilchardus</i>	78
5-2-1- Taux en MDA (Malondialdéhyde)	78
5-3- Effets du réchauffage sur les composés biochimiques de <i>Sardina pilchardus</i>	80
5-3-1- Teneur en matière sèche.....	82
5-3-2- Teneur en matière minérale	82
5-3-3- Teneur en lipides totaux	82
5-3-4- Teneur en protéines	83
5-4- Effet du réchauffage sur l'oxydation des filets de <i>Sardina pilchardus</i>	84
5-4-1- Taux du MDA (Malondialdéhyde)	84
Chapitre 3 : Effets du fumage par des feuilles d'olivier et d'eucalyptus sur la stabilité oxydative et les propriétés sensorielles de <i>Sardina pilchardus</i>	
1- Introduction.....	87
2- Matériels et méthodes	87
2-1- Matériels	87
2-1-1- Choix du matériel végétal	87
2-1-1-1- L'espèce <i>Eucalyptus globulus</i>	88
2-1-1-2- L'espèce <i>Olea europea L.</i>	88
2-1-2- Échantillonnage des espèces végétales.....	89

2-1-3- Choix du poisson	90
2-1-4- Technique de fumage	90
2-2- Méthodes	91
2-2-1- Préparation des extraits	91
2-2-2- Détermination des composés phénoliques totaux	91
2-2-3- Estimation des activités antioxydantes et antiradicalaires (Test DPPH)	91
2-2-4- Effet du fumage sur la stabilité oxydative des lipides des filets de sardine	92
2-2-5- Effet du fumage sur les qualités sensorielles de <i>Sardina pilchardus</i>	92
2-2-6- Analyse sensorielle des filets de sardine fumée	92
3- Résultats et discussion	93
3-1- Polyphénols totaux et activité antioxydante et antiradicalaire (IC50) des extraits d' <i>Eucalyptus globulus</i> et d' <i>Olea europea</i>	93
3-1-1- Polyphénols totaux	93
3-1-2- Activités antioxydantes et antiradicalaires (IC50)	94
3-2- Estimation du degré de peroxydation des lipides des filets de sardine fumée par la méthode TBA-rs	96
3-3- Propriétés sensorielles	98
3-3-1- La couleur	99
3-3-2- La texture.....	99
3-3-3- La jutosité.....	100
3-3-4- La flaveur	101
3-3-5- L'odeur	102
3-3-6- Appréciation finale.....	103
Conclusion générale.....	104
Références bibliographiques	107

Introduction générale

Pour la population mondiale, le poisson est considéré comme une source primordiale de nutriments essentiels tels que les acides aminés, les oligo-éléments, les vitamines liposolubles et les acides gras polyinsaturés (**Ghaly et al., 2013**). La production des produits de la pêche est assurée en majeure partie par un nombre limité de grands pays producteurs dont la Chine et le Pérou qui occupent les deux premiers rangs depuis 1999 avec des parts respectives de 16,6% et 7,7% en 2009 (**FAO, 2010**).

Dans le bassin Méditerranéen, l'apport alimentaire en produits de la mer du citoyen algérien est inférieur à celui des habitants riverains avec une consommation de l'ordre de 3,2 kg/ha/an contre 10,5 kg/ha/an respectivement ; malgré les efforts employés par l'état algérien pour l'amélioration du secteur halieutique dans le but d'atteindre la norme recommandée de 6 kg/ha/an. La quantité des produits de la mer pêchés dans les côtes Algériennes est estimée à environ 100 000 tonnes par an (**Ministère Algérien de la Pêche, 2013**). En outre, la pêche sardinière, l'une des principales composantes des produits de la pêche, serait évaluée à 70 % des ressources halieutiques et destinées dans sa totalité à satisfaire le marché interne (**Zeghdoudi, 2006**).

Par ailleurs, la composition biochimique de la sardine varie considérablement d'une espèce à une autre selon la taille, le sexe, les changements de saison, les cycles alimentaires et le comportement migratoire (**Corraze et Kanshik, 1999**). Selon l'espèce de poisson, le principal acide gras contenu dans la chair est soit l'EPA ou bien le DHA. Ces espèces sont toutes pauvres en acide alpha linoléique (18:3 n-3) et contiennent divers AG saturés et monoinsaturés à 16 et 18 carbones (**Médale, 2009**). L'impact de la consommation des poissons riches en « acides gras essentiels » sur la santé a fait l'objet de plusieurs études. Il est intéressant de signaler que l'incorporation des acides gras polyinsaturés (AGPI) et spécifiquement le DHA dans les membranes cérébrales (cerveau) est essentielle dans le développement anatomo-fonctionnel du système nerveux central du fœtus et du nouveau-né (**Clandinin et al, 1980**). En effet, le DHA est impliqué dans de multiples fonctions cellulaires faisant intervenir, notamment les médiateurs lipidiques type décosanoïdes. Cet AGPI est incorporé massivement dans le cerveau entre le 3^{ème} trimestre de grossesse et les deux premières années de la vie (**Martinez et Mougan, 1998**). Cependant, ces acides gras peuvent être affecté par les traitements thermiques de cuisson en subissant des modifications palpables suite à leurs oxydations, ce qui

provoque une diminution de la valeurs santé des poissons. Cette oxydation, est la principale cause de la genèse des produits toxiques tels le malondialdéhyde, responsable du stress oxydatif.

Dans un autre contexte, le fumage du poisson est une activité très anciennement pratiquée. Il s'agit d'une technique de conservation qui consiste à soumettre une denrée alimentaire à l'action combinée de la chaleur et de la fumée provenant de la combustion du bois des végétaux, ce qui lui confère une couleur et un arôme très recherchés par le consommateur. De plus, il est connu que ce traitement de fumage protège les aliments contre les agressions microbiologiques et permet aussi de prévenir les phénomènes de lipopéroxydation en raison de l'intervention des molécules antioxydantes contenus dans la fumée tels les polyphénols et les acides phénolique.

Dans ce travail de recherche, nous nous sommes proposé de caractériser la sardine commune «*Sardina pilchardus*» sur le plan nutritionnel et toxicologique d'une part et d'étudier l'impact du traitement technologique de fumage sur les phénomènes d'oxydation des lipides d'autre part. Il importe de noter que l'espèce de poisson étudié était capturée dans cinq différentes zones de la côte Algérienne à savoir trois dans la région Ouest (Ghazaouet, Beni Saf et Mostaganem), une dans la région Est (Jijel) et une dans la région centre (Alger).

Ce travail est articulé en trois parties :

❖ La première a fait l'objet d'une étude bibliographique dans laquelle nous avons apporté des rappels surs :

- Le secteur de la pêche en Algérie et ces difficultés.
- Les aspects nutritionnels de la sardine commune «*Sardina pilchardus*» et les effets de cuisson et du fumage sur la conservation des poissons.
- L'oxydation des lipides et ces impacts sur la qualité des poissons.
- La pollution marine et ces conséquences dévastatrices sur l'environnement et sur la santé humaine.

❖ La deuxième partie a mis en relief les étapes de l'expérimentation et l'organisation générale des essais. Il est à noter que cette partie de notre travail de recherche était scindée en trois grands projets, à savoir :

- 1) Caractérisation nutritionnelle et toxicologique de *Sardina pilchardus* capturée dans les côtes Algérienne.
- 2) Effets des modes de cuisson et du réchauffage sur la qualité nutritionnelle de *Sardina pilchardus*.
- 3) Effets du fumage par des feuilles d'olivier et d'eucalyptus sur la stabilité oxydative et les propriétés sensorielles de *Sardina pilchardus*

❖ Enfin, la troisième partie était consacrée aux traitements statistique des résultats obtenus, leurs présentations et discussions.

Partie
bibliographique

Chapitre 1

Sardina pilchardus : Biologie, intérêts
nutritionnels et technologie de
conservation

1- Taxonomie

Les espèces les plus communes des sardines sont celles appartenant aux genres *Sardina* et *Sardinops* qui avec les genres *Engraulis* (Anchois), *Scomber* (maquereaux) et *Trachurus* (chinchards) forment le groupe des poissons pélagiques dominant les eaux tempérées et subtropicales (**Figure 1**). Les sardines font partie d'un groupe taxonomique complexe qui renferme les poissons pélagiques marins ou dulçaquicoles comme les harengs (**Lavoué et al., 2007**). Dans les différentes zones d'upwellings du monde, où les eaux sont froides et le climat est tempéré, les deux principaux genres de sardines se développent (**Whitehead, 1985; Parrish et al., 1989**).



Figure 1 : La sardine commune « *Sardina pilchardus* » (**Mahmoud et Benkaka, 2007**)

2- Position systématique

Le **tableau 1** montre clairement la position systématique de sardine « *Sardina pilchardus* ».

Embranchement	Vertébrés
Classe	Ostéichthyens
Sous-classe	Actinoptérygiens
Ordre	Clupéiformes
Classe	Clupéidés
Famille	Clupeidae
Genre	<i>Sardina</i>

3- Répartition

La sardine, *Sardina pilchardus*, est rencontrée dans le Nord Atlantique, dans les mers Méditerranée et noire, sa répartition s'étend sur les côtes Atlantiques depuis le Dogger-bank en mer du Nord jusqu'à la côte saharienne en Mauritanie (**Parrish et al., 1989**). Sa répartition et son abondance sont très influencées par les conditions hydroclimatiques, l'isotherme 13 °C marque à peu près sa limite septentrionale et l'isotherme 25 °C sa limite méridionale. Elle est présente depuis la mer du Nord jusqu'en Mauritanie avec des populations résiduelles aux Iles Madères, aux Açores et aux Iles Canaries (**Parrish et al., 1989**).

Périodiquement et selon les anomalies de température de l'eau, l'aire de répartition de sardina pilchardus a vu ses limites se délater ou se rétracter. Au milieu des années 1960-1970, la limite sud de l'extinction de l'espèce s'est prolongée jusqu'au Sénégal, coïncidant avec une intensification de l'upwelling dans cette zone et s'est reculée dans le nord durant les années suivantes (**Binet et al., 1998**).



Figure 2 : Répartition géographique de *Sardina pilchardus* (**Kaschner et al., 2013**).

4- Morphologie et comportement

La sardine possède un ventre argenté brillant et un dos bleuté. Elle se caractérise par des écailles sessiles qui se détachent facilement du corps, un opercule strié, et les deux derniers rayons de la nageoire anale sont plus allongés que les précédents. Elle possède une série de

taches sombres le long des flancs supérieurs (**Whitehead 1985**).

Cette espèce est un pélagique grégaire dont la répartition est conditionnée surtout par le changement de température et notamment par la richesse du milieu en plancton et l'hydrologie (**Forest, 2001**). Elle présente des bancs parfois très importants qui peuvent regrouper des individus d'âge et de sexe différents, mais de taille semblable (**Forest, 2001**). Par contre si la sardine est moins importante, les bancs peuvent être composés de plusieurs espèces de petits pélagiques tels que les anchois (**Cury et al, 2000**).

Pendant la journée, la sardine est présente à des profondeurs de 30 à 55 m. La même espèce remonte à 15 à 35 m de profondeur la nuit (**Whitehead, 1985**). Ce sont la luminosité et la quantité de nourriture qui conditionnent ces déplacements verticaux (**Giannoulaki et al. 1999**). Elle effectue aussi des déplacements horizontaux de faible amplitude qui sont conditionnés par le changement de saisons où elle migre du large vers les côtes durant le printemps et des côtes vers le large à la fin de l'automne (**Dalouche, 1980**). Elle réalise aussi des déplacements le long des côtes qui sont probablement aussi conditionnées par l'âge des individus, la disponibilité de la nourriture essentielle, la température et la reproduction (**Forest, 2001**).

5- Alimentation de l'espèce

Il s'agit d'une espèce planctophage; les jeunes se nourrissent principalement de phytoplancton et de larves de poissons et de petits crustacés. Les adultes consomment surtout le zooplancton tel que les copépodes planctoniques et les différentes larves présentes dans le zooplancton (**Forest, 2001**).

6- Croissance

Pendant son cycle de croissance, la taille de la sardine peut atteindre 27 cm dont 90 % sont aperçus durant la première année. Durant les années suivantes, la croissance est beaucoup plus faible malgré une longévité, qui peut aller jusqu'à 14 ans (**Whitehead, 1985**). Dans la région du nord-ouest africain, la taille de la sardine augmente du nord au sud (**FAO, 2007**) ceci est probablement lié à la richesse trophique du milieu et la température engendrée par l'upwelling auquel sont soumises ces côtes. Durant les deux premières années de sa vie, la sardine atteint sa maturité sexuelle. Tout au long de l'aire de répartition, la croissance et la maturité sexuelle de la sardine présentent de larges variations (**Aleman et Alvarez, 1993 ; FAO, 2001**).

7- Reproduction

Entre le mois de Septembre et Juin, la sardine pond ces œufs principalement sur les côtes Atlantiques européennes et en Méditerranée, et d'octobre à Juin au niveau des côtes africaines (**Ettahiri et al., 2003**). La ponte de la sardine est fortement conditionnée par les facteurs environnementaux tels la température et l'hydrodynamisme (**Olivar et al., 2001**). Elle s'effectue entre 12 °C et 18 °C et se prolonge sur la majeure partie du plateau continental (**Bernal et al., 2007**).

Dans l'Atlantique du Nord Est, les sardines pondent préférentiellement en hiver et au printemps, la durée de la ponte augmente du nord (1 à 2 mois) au sud (6 mois) (**Coombs et al., 2006 ; Stratoudakis et al., 2007**). En Méditerranée, la ponte se prolonge également sur 6 mois avec un maximum en hiver (**Ganias et al., 2007**).

Les sardines possèdent une forte fécondité, chaque femelle peut libérer jusqu'à 35 000 œufs pélagiques (**Whitehead, 1985**), 23 000 œufs pour la sardine marocaine (**Amenezoui et al., 2006**). Cependant, la mortalité des larves est importante et influence fortement le recrutement. La stratégie utilisée pour compenser la forte mortalité potentielle est basée sur une allocation d'énergie à la reproduction favorisant la production massive d'œufs, c'est la stratégie dite « r » (Bakun, 1996). La phase larvaire dure 60 jours (**Ramirez et al., 2001**), les larves vivent entre 10 et 40 m de profondeur et se dispersent plus largement la nuit (**Olivar et al., 2001**).

8- Intérêts nutritionnels de *Sardina pilchardus*

Comme tous les poissons, la sardine possède un intérêt nutritionnel remarquable en raison de sa richesse en lipides et en acides gras de la famille ω -3 (20 à 30 % des acides gras totaux). Le rapport acides gras insaturés / acides gras saturés demeure excellent puisqu'il s'approche de 2. En effet, l'Agence Française de la Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA) recommande un apport alimentaire en acides gras insaturés environ 3 fois supérieur à celui en acides gras saturés (**AFSSA., 2003**). Au sein de la même espèce et selon la saison, le cycle de reproduction et selon l'alimentation, les concentrations en lipides présentent des fluctuations (**Bandarra et al., 1997**).

Les teneurs en matière grasse de la sardine changent de 1,2 à 18,4 g pour 100 g au cours de l'année (**Bandarra et al., 1997**). Cependant, de moindres amplitudes sont aussi décrites pour le hareng (**Aidos et al., 2002**). D'autre part, les produits aquatiques contiennent de 20 à 80 mg de cholestérol pour 100 g de chair, à l'exception de la sardine (160 mg) et de certaines espèces de crevettes lorsqu'elles sont consommées entières (**ANSES, 2010**). Il y a peu de différence

entre les poissons maigres et les poissons gras en ce qui concerne la teneur en cholestérol. Les valeurs sont donc du même ordre de grandeur que pour les viandes de bœuf et de porc (100 à 120 mg/g), mais très inférieures à celles des abats (260 à 500 mg/g) (**ANSES, 2010**). La sardine est également une des espèces de poisson les plus riches en protéines (autour de 20 % de la composition totale du filet). Ces protéines ont une excellente valeur nutritionnelle avec un index UPN (Utilisation Protéique Nette) supérieur à celui du bœuf (**Dumay, 2006**). De plus, ces protéines sont une source incontournable d'acides aminés indispensables puisque 100 g de sardine suffisent à couvrir 100 % des besoins quotidiens. La sardine présente un faible taux en glucides (0,1 % par rapport au poids frais), et contient des vitamines, des sels minéraux et des oligo-éléments (**Dumay, 2006**). Comme pour les acides aminés, une portion de 150 g couvre les besoins journaliers en vitamines D et E et apportent une quantité intéressante de vitamine A. De plus, la sardine contient peu de sodium, mais est riche en calcium, magnésium et potassium (**Dumay, 2006**). Avec toutes ces qualités, la sardine est un aliment hypocalorique (170 kcal pour 100 g) pouvant être intégré dans la plupart des régimes alimentaires (**De Koning et Mol, 1991**), elle a ainsi été classée parmi les 11 espèces de poisson possédant les meilleures recommandations nutritionnelles par la société américaine du cœur (American Heart Association), les autres espèces étant le maquereau, le hareng de l'Atlantique et du Pacifique, la truite de rivière, le saumon de l'Atlantique, le saumon royal, le saumon rouge, l'anchois et la morue noire (**Sidhu, 2003**).

8-1- Le poisson : une source de protéines de haute valeur biologique.

Dans les sociétés occidentales, l'attention portée aux acides gras polyinsaturés oméga 3 en raison de leur intérêt favorable pour la santé humaine nous pousse parfois à oublier que l'un des principaux avantages nutritionnels des poissons est sa richesse en protéines qui apportent tous les acides aminés essentiels nécessaires à la couverture des besoins de l'homme (**Médale, 2008**).

Contrairement aux lipides, la composition en protéines n'est guère affectée significativement par le changement de saison ou par l'alimentation (**Médale, 2008**). Il importe de noter que le profil en acides aminés contenus dans la chair des poissons est comparable à celui des viandes, cependant, les protéines sont présentes dans des taux complètement différents. Nous constatons que les poissons sont d'autant plus riches en protéines myofibrillaires que les viandes (70 à 80 % Vs 39 à 68 %) mais moins riche en protéines insolubles (3 à 10 % Vs 16 à 28 % pour les viandes) (**Haard, 1995**). La teneur en collagène, protéine insoluble constituante majeure du tissu conjonctif, est jusqu'à 10 fois plus faible que

dans la viande de bœuf. Le collagène du poisson contient 2 à 3 fois moins d'hydroxyproline, acide aminé qui joue un rôle déterminant dans la résistance mécanique du tissu conjonctif, ce qui participe aux différences de texture entre la chair de poisson et les viandes.

Cette composition particulière rend les protéines de la chair des poissons aisément digestibles et d'une haute valeur biologique (**Médale, 2008**). La sardine est l'un des poissons les plus riches en protéines (autour de 20 % de la composition totale du filet). Ces protéines ont une très bonne valeur nutritionnelle avec un index UPN (Utilisation Protéique Nette) supérieur à celui du bœuf. En outre, ces protéines sont une excellente source d'acides aminés indispensables puisque 100 g de sardine suffisent à couvrir 100 % des besoins quotidiens (**Médale, 2008**).

8-2- Des micronutriments précieux.

8-2-1- Les vitamines

Les principales vitamines apportées par les produits aquatiques sont d'une part les vitamines liposolubles (A, D et E) retrouvées dans la partie grasse de l'animal et d'autre part certaines vitamines hydrosolubles (PP, B12 et surtout B6) retrouvées dans le muscle. Parmi les vitamines liposolubles, la vitamine E a fait l'objet d'une attention particulière en raison de ses propriétés antioxydantes (**Médale, 2008**).

Plusieurs études conduites chez différentes espèces de poissons démontrent l'efficacité des tocophérols et en particulier de l' α -tocophérol pour prévenir la peroxydation lipidique par le biais de réactions radicalaires en chaîne, réduisant de ce fait la formation des composés provenant de l'oxydation de la matière grasse (**Frigg et al., 1990 ; Chaiyapechara et al., 2003**). Plus le taux de la vitamine E de l'aliment s'accroît, plus le muscle de poisson révélera des concentrations importantes en ce vitamine essentielle (**Frigg et al., 1990**).

La teneur en vitamines hydrosolubles dans la chair de poisson augmente avec l'apport alimentaire jusqu'à atteindre un plateau correspondant à la saturation des capacités de stockage par le tissu musculaire (**Médale, 2008**)

8-2-2 – Les minéraux et oligo-éléments caractéristiques

Les minéraux sont stockés en majorité dans le squelette, particulièrement dans les vertèbres (65 % de minéraux), mais aussi dans les muscles (**Lall, 1995**).

L'élément minéral le plus abondant est le potassium, sa concentration est semblable à celle des viandes (350-400 mg/100 g en moyenne) (**Médale, 2008**). La chair de poisson est

considérée comme une importante source de phosphore, elle en contient 10 à 15 fois plus que les viandes. Cependant, elle est pauvre en calcium, 99 % du calcium étant contenu dans le squelette (**Médale, 2008**).

Le poisson est une source majeure de sélénium pour l'alimentation humaine. Cet élément essentiel est un agent antioxydant protégeant les cellules contre les dommages oxydatifs (de 7 à 124 µg/100g selon les espèces) (**Médale, 2008**).

8-3 - Lipides et acides gras.

Les lipides sont des constituants cellulaires fondamentaux. Ce sont des molécules organiques insolubles dans l'eau et solubles dans les solvants organiques telles que l'éther, le chloroforme, l'hexane ou le benzène (**Oumansour, 2001**). Les lipides forment une classe très hétérogène d'un point de vue fonctionnel : triglycéride (réserve énergétique), sphingomyéline (constituant du tissu nerveux) et qui ont la caractéristique commune d'être constitués d'acides acycliques à longues chaînes linéaires, dénommés acides gras. Chez les poissons, la composition et la teneur en lipides varient avec l'âge, le cycle sexuel et les facteurs environnementaux tels la température et la salinité de l'eau (**Gandemer, 1997**). Les lipides de poissons sont caractérisés par un haut degré d'insaturation. Ils incluent jusqu'à 40 % d'acides gras poly insaturés (A.G.P.I.) (14 à 22 atomes de carbone) (**Medale, 2005**), alors que la graisse des mammifères contient rarement plus de deux doubles liaisons par molécule d'acide gras avec une prédominance des A.G.P.I. de la famille (n-6) et (n-9) (**Abi ayad, 1998**). En effet, la teneur en A.G.P.I. n-3 de la chair de poisson varie entre 15 et 36 % alors qu'elle n'est que de 1 % chez le porc, 2 % chez le bœuf et 4 % chez le poulet (**Gandemer, 1997**). Cette richesse est liée à la forte concentration en A.G.P.I. (n-3) dans la chaîne alimentaire aquatique (**Sargent et al., 1989**).

À l'instar des poissons, la sardine possède un grand intérêt nutritionnel. C'est l'un des poissons les plus riches en lipides et spécifiquement en acides gras de la famille des $\omega 3$ (20 à 30 % des acides gras totaux) et le rapport acides gras insaturés / acides gras saturés est très bon puisque proche de 2. En effet, l'Agence Française de la Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA) recommande un apport alimentaire en acides gras insaturés environ 3 fois supérieur à celui en acides gras saturés (**AFSSA., 2003**). Au sein d'une même espèce, la teneur en lipides change en fonction de la saison, du cycle de reproduction et de l'alimentation ; au cours de la même année, la teneur en gras de la sardine varie de 1,2 à 18,4 g pour 100 g (**Bandarra et al., 1997**), des variations, mais de moindres amplitudes sont aussi décrites pour le hareng (**Aidos et al., 2002**).

D'autre part, les produits aquatiques contiennent de 20 à 80 mg de cholestérol pour 100 g de chair, à l'exception de la sardine (160 mg) et de certaines espèces de crevettes lorsqu'elles sont consommées entières. Il y a peu de différence entre les poissons gras et les poissons maigres pour la teneur en cholestérol. Les valeurs sont donc du même ordre de grandeur que pour les viandes de bœuf et de porc (100 à 120 mg/g), mais très inférieures à celles des abats (260 à 500 mg/g) (ANSES, 2010).

Les lipides sont présents sous deux formes :

8-3-1- Lipides neutres ou lipides de réserve

Essentiellement représentés par des triglycérides (T.G.) qui sont hautement insaturés comparés aux animaux d'élevage terrestres. En effet, les dépôts gras du poisson contiennent plusieurs acides gras avec cinq ou six doubles liaisons (Girard et Paquette, 2003). Ces T.G. qui représentent les réserves lipidiques chez les poissons permettent de classer ces derniers en: **Poissons maigres** : dont la teneur en lipides dans le muscle est inférieure à 1 % et déposent massivement les lipides dans le tissu hépatique (jusqu'à 75 % du poids du foie) ex. la morue (*Gadus morhua*), l'églefin (*Melanogrammus aeglefinus*) ou le turbot (*Psetta Maxima*).

Des poissons gras : chez qui la teneur en lipides dans le muscle est supérieure à 15 %, tels que le hareng (*Clupea harengus*), le maquereau (*Scomber scombrus*) ou l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*).

Des poissons « intermédiaires » ou semi-gras : qui déposent les lipides dans le muscle, mais aussi dans d'autres sites tels que le tissu adipeux périvercéral comme c'est le cas pour les salmonidés par exemple (Ackman, 1995).

En général, le taux de la matière grasse des filets de poisson maigres est bas et stable alors que celui des poissons gras est extrêmement variable. Cependant la variation du pourcentage (%) de graisse se reflète dans le pourcentage d'eau. En effet, la graisse et l'eau constituent environ 80 % du filet (Rodriguez et al., 2003).

8-3-2- Lipides polaires ou phospholipides (P.L.)

Les phospholipides sont des composants majeurs des membranes cellulaires. Leur teneur et leur composition sont relativement constantes. Les phospholipides représentent moins de 1 % du poids du muscle. Ils sont principalement composés de phosphatidylcholine (50 à 60 % des phospholipides) et de phosphatidyl éthanolamine (20 à 30 % des phospholipides) (Aursand et al., 1994). Ils se caractérisent par une grande richesse (jusqu'à 60 %) en A.G.P.I. à longue

chaîne, avec une prépondérance de l'acide eicosapentaénoïque (EPA ou 20 :5 (n-3)) et de l'acide docosahéxaénoïque (D.H.A. ou 22:6 (n- 3)) (**Henderson et Tocher, 1987**). Ces acides gras permettent de maintenir la fluidité membranaire, même à basse température. En effet, **Kiessling et al. (2001)** a montré que les acides gras polyinsaturés (A.G.P.I.) entrent dans la composition des lipides polaires, tandis que les acides gras saturés (A.G.S.) et mono-insaturés (A.G.M.I.) sont représentatifs des lipides neutres. En effet, parmi toutes les classes de lipides, les phospholipides se révèlent être les plus actifs. Certains phospholipides caractéristiques de bactéries possèdent une activité antibactérienne (**Tamehiro et al., 1994**).

Les phospholipides possèdent également des actions cytotoxiques et anti-prolifératives, leur donnant un rôle potentiel dans la lutte contre le cancer. En effet, les phospholipides jouent des rôles divers dans le métabolisme cellulaire, notamment du fait de leur participation dans la composition de la membrane cellulaire (**Dumay, 2006**). Les phospholipides jouent aussi un rôle en aquaculture. Des études menées conjointement entre l'I.F.R.E.MER (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer) et l'I.N.R.A (Institut National de Recherche Agronomique) ont montré que les phospholipides sont des constituants essentiels des aliments pour larves de poissons (**Dumay, 2006**). En effet, ils constituent de très bons vecteurs pour apporter aux larves de poissons les acides gras essentiels à leur développement. De plus, une alimentation des larves de poissons enrichie en phospholipides induit une mortalité plus basse et une prise de poids plus importante (**Cahu et al., 2003**).

9- Techniques de conservation des poissons

Par définition, la conservation est un ensemble de processus de transformation des aliments permettant de prolonger leur durée de consommation. Ainsi, toutes les techniques de conservation des viandes et poissons sont basées sur le ralentissement ou l'inhibition des différents processus de dégradation microbologique, enzymatique et chimique (**Maas Van Berkel et al., 2005**).

L'utilisation du froid est la seule méthode qui permet de maintenir les caractéristiques de la viande fraîche, mais il n'est pas le plus économique dans les pays chauds. Les techniques traditionnelles de transformation des produits carnés en milieu tropical reposent souvent sur l'utilisation, seule ou combinée, d'opérations de salage, séchage et fumage qui mènent à une gamme variée de produits tels que le biltong en Afrique du Sud, le kilichi au Nigeria, le charqui au Brésil, le porc boucané à La Réunion, le kitoza à Madagascar (**Collignan et al., 2008**).

9-1- Séchage

Le séchage est l'un des plus anciens modes de conservation de la viande. C'est une technique physique de conservation qui consiste à éliminer, partiellement ou totalement, l'eau contenue dans les produits frais par l'action combinée de la température, de la ventilation et de l'hygrométrie de l'air (**Maas-van Belkel et al. 2005**).

Économique, puisqu'il ne consomme pas d'énergie et exige peu d'équipement, le séchage solaire est toujours préconisé dans plusieurs pays pauvres où les moyens coûteux de conservation tels la réfrigération, la congélation ou l'appertisation dépassent les possibilités financières des habitants. Exposée à l'air, la viande perd de l'eau par évaporation suivie par sa migration constante des couches profondes vers la périphérie. Cette déshydratation engendre une réduction du développement des microorganismes (**FAO, 1990**).

Par ailleurs, la viande séchée peut se conserver dans certaines conditions d'hygrométrie pendant six mois environ. Enfin, mise à tremper dans l'eau avant la cuisson, elle se réhydrate et reprend ainsi son volume et son poids d'avant séchage (**Laurent, 1981**). Parmi les produits traditionnels obtenus par cette technique, on peut citer le kilichi et le quitab dans les pays du Sahel et le charmoute au Tchad (**Collignan et al., 2008**).

9-2- Le salage.

Produit naturel, le sel sert d'exhausteur de goût et augmente la sapidité des aliments, mais il permet également la conservation de certaines denrées, et particulièrement de la viande. Le terme général de salage en matière de conservation des viandes comprend l'introduction dans les masses musculaires d'ingrédients très divers, du sel ou du salpêtre jusqu'aux antiseptiques tels que l'acide borique et l'acide benzoïque (**Laurent, 1981**)

9-2-1- Techniques de salage

Le salage se pratique soit à sec soit en saumure :

- **Pour le salage à sec**, la viande est frottée avec du sel. Une autre technique consiste à presser fortement les pièces de viande les unes sur les autres et les empiler en intercalant une couche de sel entre deux couches de viande. La pile est défaire et refaite périodiquement en renouvelant les couches de sel et en retournant les pièces de viande, de façon à remonter celles qui étaient au fond (**Kalilou, 1997**).
- **Le salage en saumure ou saumurage** : consiste à tremper la viande dans une saumure composée d'eau, de sel et de divers ingrédients, variables selon les régions. Le salage est dit

léger avec des saumures à 16 % de sel, moyen à 20 % et fort à 25 %. Ces saumures peuvent être épicées avec du girofle, du poivre, ou autre (**Knockaert, 1995**).

9-3- Technologie du fumage.

9-3-1- Définition

Le fumage est une technique qui consiste à exposer le poisson salé et/ou séché préalablement à l'action des fumées produites par la combustion de biomasse (bois, sciure de bois, bourre de noix de coco...). Durant cette opération le poisson s'imprègne en composés volatils issus de la fumée qui lui donne une coloration particulière et une saveur agréable (**Le Galle, 1938**).

On distingue deux types de fumage : le fumage à chaud (température de fumée 60 °C) lorsque, au cours de l'opération de fumage, les produits se trouvent exposés à une température provoquant leur cuisson et donc une modification de leur texture. Dans le cas contraire, le produit restant cru, le fumage est dit à froid (température de la fumée - 25 °C) (**ANSES, 2010**).

9-4- La fumée

9-4-1- Composition physique

La fumée est constituée d'une suspension de particules solides et liquides en milieu gazeux ; les substances contenues dans ces phases sont les mêmes, mais en concentrations différentes. La phase liquide représente environ 90 % de la fumée ; ses particules mesurent 0,1 micron, sont peu solubles et ont des points d'ébullition élevés. La phase gazeuse contient les substances chimiques les plus volatiles, et qui sont facilement absorbées par la chair du poisson. Elles se dissolvent dans l'eau superficielle du poisson (**Knockaert, 1999**).

9-4-2- Composition chimique

Le **tableau 2** regroupe les composés majoritaires dans la fumée de bois (**Sainclivier., 1985**).

Acides	Phénols	Carbonyles	Alcools	Hydrocarbures
Formique	Syringols	Formaldéhyde	Ethanol	Benzopyrene
Acétique	Gaiacols	Propinaldéhyde	Methanol	Benanthracene
Butyrique	Crésols	Furfuraldéhyde		Inden
Caprylique	Xylenols	Octyl aldéhyde		Naphtalene
Oxalique		Acrotoin		Stibene

Vanilique	Methyl	Fluorine
Siringuique	Acétophénone	Phenanthrene
Phatalique		

La composition de la fumée est extrêmement complexe. Les constituants, pour la plupart identifiés, sont classés en phénols (les plus importants au plan technologique), acide organique, alcool, composés carbonylés (les plus nombreux) (**Sainclivier, 1985**).

9-4-3- Les Hydrocarbures aromatiques polycycliques (H.A.P.)

La famille des H.A.P comporte plus d'une centaine de molécules organiques comportant au moins deux cycles aromatiques. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques se forment au cours du processus de pyrolyse ou de combustion incomplète de matière organique tel le bois, huile, tabac, déchet ou aliment (cuisson, séchage, fumage) (**Sainclivier, 1985**). Les concentrations en H.A.P contenues dans les produits fumés varient selon le type de combustible utile. Une étude récente menée sur le charbon de bois a révélé que le taux en H.A.P peut être considérablement réduit dans les viandes fumées en utilisant ce matériel de fumage (**Stumpe-Viksna et al., 2008**).

9-4-4- Les phénols

Les phénols sont des composés chimiques aromatiques portant une fonction hydroxyle - OH. Les dérivés portant plusieurs fonctions — OH sont appelés des polyphénols. Les phénols sont des alcools aromatiques qui proviennent des végétaux. Les phénols simples, déchets du métabolisme végétal, sont assemblés en polyphénols comme la lignine (**A.N.S.E.S, 2010**).

9-5- Action de la fumée sur le poisson.

9-5-1- Action organoleptique

La couleur du poisson fumé est essentiellement due à des réactions de type réaction de Maillard (fumage à chaud). La couleur est d'autant plus prononcée que le fumage dur longtemps. D'après **Knockaert (1999)**, la coloration varie avec les types de bois utilisés. Les phénols sont les principaux responsables de l'arôme (**Sainclivier, 1985**).

9-5-2- Action bactériologique

Dans le fumage à chaud, c'est surtout la chaleur qui détruit les micro-organismes. La fumée peut avoir un rôle antiseptique grâce à la fraction phénolique à bas point d'ébullition qui prolonge la phase de latence des microorganismes. Mais cette action est faible et l'humidité élevée du poisson fumé permettra le développement des moisissures (**Knockaert, 1999**).

9-5-3- Action toxique

Les composés présents dans la fumée n'ont pas toujours des rôles bénéfiques. Lorsque le fumage est mal conduit, certains peuvent présenter des risques. Ainsi les HAP qui se déposent sur le poisson sont susceptibles de provoquer l'apparition de cancers (**A.F.S.A.A, 2003**).

10- Impact du procédé de fumage sur la qualité nutritionnelle

Les interactions qui se produisent entre les constituants de la fumée et les protéines, les matières grasses et les autres éléments constitutifs du produit ne sont pas connues avec précision (**ANSES, 2010**). Les poissons fumés présentent une dénaturation des protéines (jusqu'à 20 % de pertes lors du fumage à froid et jusqu'à 55 % lors du fumage à chaud) plus due à la chaleur qu'à la fumée. Une perte en lysine a aussi été rapportée (**Sainclivier, 1985**). La fumée a une action antioxydante, surtout par les phénols, qui inhibe la réaction d'oxydation dès la phase d'initiation. Toutefois, une perte en EPA et DHA pouvant atteindre 35 % a été rapportée pour du maquereau fumé (**Combe, 2003**).

Chapitre 2

*Effets des traitements
thermiques sur la
qualité des poissons*

1- Introduction

Les poissons bleus notamment la sardine jouent un rôle dans la nutrition humaine en raison de ses qualités 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**). 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.

Le tissu de la sardine est la principale source d'AGPI à longue chaîne oméga-3 avec des effets bénéfiques ou même thérapeutiques sur la santé humaine. EPA et DHA, qui ne se trouvent que dans les poissons et autres fruits de mer, possèdent des propriétés très bénéfiques pour la prévention de la maladie de l'artère coronaire humaine (**Din et al, 2004**), la diminution du risque de cancer de la prostate (**Terry et al, 2001**) et la maladie d'Alzheimer (**Huang et al, 2005**). Il est recommandé qu'au moins deux prises de consommation de la sardine par semaine pour conférer des effets cardio-protecteurs (**Krauss et al, 2000**).

Cependant, ces qualités du poisson peuvent être affectées par les traitements thermiques et le mode de conservation ainsi que le type de réchauffage (**Bhattacharya et al, 1994**). Par conséquent, les différents traitements thermiques de cuisson peuvent provoquer des modifications dans la composition des acides gras et des acides aminés ainsi que des phénomènes de lipopéoxydation provoquant préjudice à la qualité nutritionnelle des poissons (**Pigot et Tucker, 1990**) et sur la santé du consommateur par le biais du stress oxydant responsable de l'apparition de plusieurs maladies du siècle, citant ici les maladies cardiovasculaires et les cancers.

2-Traitements technologiques de cuisson

2-1- Généralités sur les modes de cuisson

La cuisson est un traitement thermique faisant intervenir des transferts de chaleur, de matières et des réactions physiques, chimiques, biochimiques et microbiologiques (**Kinsma et al, 1994**). Le transfert de chaleur est induit à partir d'une source d'énergie vers le produit est induit selon trois principes : la convection, la conduction et le rayonnement. Leurs proportions relatives dans le processus de transfert varient selon les paramètres du four : température, humidité, et vitesse de déplacement de l'air à l'intérieur du four (**Broyart, 1998**).

On peut regrouper les différents modes de cuisson en deux principales classes :

- Les techniques traditionnelles par contact et convection

Dans lesquelles les échanges de matière (eau, lipides, substances dissoutes) ont lieu en surface et où la chaleur est transmise à l'aliment par l'intermédiaire d'un solide (plaque métallique, poêle : grillades) ou d'un fluide (gaz, eau ou huile : friture, cuisson à l'eau). Ce type de cuisson, a donné naissance à des variantes liées soit à une modification de l'appareillage (four à chaleur tournante, four à rayonnement), soit à l'utilisation d'atmosphère humide, de vapeur d'eau surchauffée ou à l'injection de vapeur (**Richard et al, 1997**).

- Les techniques modernes

Les techniques électriques (induction, micro-ondes et chauffage ohmique), la cuisson sous vide, la cuisson-extrusion et l'autoclavage utilisé depuis bien des années, sont des techniques modernes à multiples applications. Elles permettent une modification physique et organoleptique des aliments, en modifiant l'aspect, la couleur, l'odeur, la saveur, la consistance, le volume, le poids et le goût des aliments (**Richard et al, 1997**).

2-2- Différents modes de cuisson appliqués sur les poissons

2-2-3- Grillade

C'est une méthode de cuisson en chaleur sèche, qui utilise la chaleur radiante ; on peut se servir pour cela d'un four possédant cette option, d'un grill électrique, ou encore d'un barbecue. Comme la chaleur ne provient que d'une seule direction, il sera nécessaire de tourner la pièce à griller (**Hallé, 2002**). La chair des poissons est placée à environ 10 cm de la source de chaleur (plus ou moins selon sa taille, et la température de la source) qui doit approcher les 200°C. Les éclaboussures et la fumée causée par la cuisson sont dues à des températures très élevées ; on peut les réduire en augmentant la distance avec la source de chaleur, ou en réduisant la température de cuisson (**Hallé, 2002**).

2-2-4- Friture

Dans ce cas, les viandes et poissons sont placés soit dans une poêle avec juste un peu de matières grasses, soit plongées dans un bain d'huile. Les températures de cuisson atteignent les 180°C, les excès de matières grasses devraient être épongés avant consommation (**Hallé, 2002**). D'après **Akram, (2010)**, la friture des filets de poisson peut être aussi réalisée dans une friteuse automatique pendant 6 minutes à 180°C en utilisant de l'huile végétale.

2-2-5- Braiser

Il s'agit d'une méthode de cuisson durant laquelle, les grandes pièces de poissons sont cuites lentement en atmosphère humide, due à l'adjonction d'eau (ou de bouillon, de sauce tomate, etc.) dans un système fermé, comme une poêle couverte ou une cocotte. La température doit atteindre les 165°C ; c'est la méthode de cuisson qui fait le plus « suer » la viande, c'est aussi le mode de cuisson qui génère le moins de pertes de graisses

2-2-6- Cuisson aux micro-ondes

La viande est chauffée par l'agitation moléculaire produite par les micro-ondes. C'est la méthode de cuisson qui produit le plus de gouttes, de plus la cuisson n'est pas toujours uniforme (**Hallé, 2002**). Il est à noter que les modes de cuissons traditionnels conduisent à une hétérogénéité entre le centre et la surface des produits cuits ; tandis que le chauffage ou la cuisson par micro-ondes conduit à des hétérogénéités plus complexes (**Kondjoyan, 2008**).

2-3-Incidences des traitements thermiques sur les principaux constituants des viandes et poissons

2-3-1- Sur la teneur en eau

Lors de la cuisson, les muscles perdent de l'eau. La teneur en eau des muscles cuits est donc de 10 à 20% inférieure à celle des muscles crus (**Rabot, 1998**). Selon **Sainclivier, (1988)**, les pertes en eau lors de la cuisson sont proportionnelles à la taille des poissons. En outre, les pertes en eau sont intimement liées à la composition biochimique des poissons en particulier en protéines et en lipides (**Garcia Arias et al., 2003**). Les pertes en eau à la cuisson sont souvent liées à la dénaturation des protéines qui est provoquée par l'association d'un pH bas alors que la température des filets est encore élevée (**Asturc, 2007**). Les pertes en eau au cours de la cuisson obéissent à un mécanisme comprenant deux principales phases : une phase de déliaison de l'eau fixée par les protéines myofibrillaires à l'état natif sous l'effet du traitement thermique, et une phase d'expulsion du jus par la contraction du muscle et par écoulement sans contrainte entre les fibres musculaires (**Picgirard L.2010**). De plus, l'augmentation de la teneur en

matières grasses après cuisson est attribuée aux pertes en eau par évaporation pendant la cuisson (**Saguy et Dana, 2003**).

Enfin, le mode de cuisson appliqué influe sur les pertes en eau des poissons. Ces dernières sont estimées à 32% pour les poissons bouillis alors que ceux qui ont subi une friture enregistrent des pertes qui se rapprochent de 42% (**Kasi et al, 2014**).

2-3-2- Sur les protéines

D'une manière générale, les traitements thermiques entraînent une dénaturation protéique rapide qui se traduit par des changements de conformation (**Yongsawatdigul et al, 2003**) et une augmentation de l'hydrophobie des surfaces des viandes et poissons (**Promeyrat et al, 2010**). À des températures de cuisson inférieures à 50°C, les protéines plasmatiques et sarcoplasmiques sont dénaturées engendrant une agrégation et parfois une coagulation des protéines. Au-delà de 65°C, le collagène s'amollit, l'élastine gonfle et l'actomyosine devient plus ferme. En effet, la rétraction des protéines a pour conséquence une perte de rétention d'eau et un durcissement de la chair des poissons au cours de la cuisson (**Van den Broeck, 1985**).

De plus, L'oxydation des protéines du poisson lors de la cuisson conduit, quant à elle, à une perte de biodisponibilité des acides aminés soit par dénaturation chimique de ces composés, soit par diminution de la digestibilité des protéines (**Gatellier et al, 2008**). Ce phénomène, surtout lorsqu'il touche les acides aminés essentiels, va réduire de manière négative la valeur nutritionnelle des poissons (**Gatellier et al, 2008**). La diminution de la vitesse de digestibilité des protéines, liée à leur oxydation et à leur agrégation, peut aussi avoir des conséquences négatives sur la santé humaine (**Evenepoel et al., 1998**). Il a été en effet démontré, dans plusieurs études, que l'accumulation et la fermentation dans le gros côlon de protéines non digérées ou insuffisamment digérées dans l'intestin grêle pouvaient conduire à la formation de produits potentiellement mutagènes, comme les crésols et les phénols formés à partir de la tyrosine et des composés nitrosés (**Evenepoel et al., 1998**).

2-3-3- Sur les lipides

Les lipides des poissons sont caractérisés par une teneur élevée en acides gras polyinsaturés et une prédominance de triglycérides (**Regost, 2003**). Selon **El affifi et al (2011)**, la cuisson augmente la concentration des lipides totaux dans la viande d'agneau. Cette conséquence est liée à la perte d'eau durant la cuisson. D'après **Bauchart et al (2010)**, la cuisson de type frit des viandes et poissons augmenterait d'une manière significative ($P < 0,05$)

les teneurs en lipides et en acides gras totaux. Cependant, les effets de cuisson de de type « grillade » sur les variations des teneurs en lipides totaux et en AG sont généralement non significatifs étant proches de zéro, ce qui indique l'absence d'effets de ces traitements sur les teneurs en lipides et AG totaux. Au cours de la cuisson, les acides gras polyinsaturés sont les plus vulnérables aux phénomènes de peroxydation en raison de la présence des doubles liaisons. Plus le nombre de doubles liaisons est important plus l'oxydation s'intensifie (**Gandemer, 1999**).

D'après **Badiani et al (2002)**, le mode de préparation des viandes et poissons (assaisonnement, utilisation des herbes fines,...) ne modifie pas de manière importante la composition en acides gras totaux ; seule la cuisson augmenterait de façon significative la proportion d'AGPI. Selon le même auteur, les AGPI présentent une bonne stabilité à la chaleur. Ceci s'explique par une relative stabilité de ces AG dans la matrice de la chair des poissons face à la cuisson, lesquels sont associés principalement aux phospholipides solidement intégrés aux membranes.

Dans un autre contexte, l'intérêt porté au CLA (acides linoléiques conjugués) n'a cessé d'augmenter en raison de ses propriétés préventives de pathologies graves pour l'homme (anticancéreuses, anti-athérogénique, anti-diabétogénique et réducteur de la masse grasse) (**Pariza, 2004**). La sensibilité des CLA (acides linoléiques conjugués) à l'oxydation liée à la cuisson est controversée. Des études suggéreraient que les CLA sont non altérés au cours des processus de cuisson et de stockage (**Mulvihill et al, 2001**), alors que **Badiani (2002)** nuancerait ces différentes propositions.

2-3-4- Le stress oxydatif

Le stress oxydant est un type d'agression des constituants cellulaires résultants d'un déséquilibre entre les systèmes de défense antioxydants et la production d'espèces réactives oxygénées (ERO) et azotées. Ce déséquilibre peut avoir diverses origines, telles que la surproduction endogène d'agents pro-oxydants d'origine inflammatoire, un déficit nutritionnel en antioxydants ou même une exposition environnementale à des facteurs pro-oxydants (**Favier et al, 1997**).

Ce déséquilibre entre les systèmes de défense et les systèmes de production des radicaux libres entraîne l'apparition de lésion structurale au niveau des cellules de l'organisme du fait des conséquences qu'il provoque au niveau moléculaire, tel que les altérations des protéines,

cassures de l'ADN, modification des sucres, atteintes de l'intégrité de la membrane cellulaire par induction de peroxydation lipidique (Favier et al, 1997).

En effet, la lipoperoxydation est une détérioration oxydative des acides gras polyinsaturés incorporés dans les lipides des membranes cellulaires ou des lipoprotéines, mais également dans les huiles végétales et les aliments riches en AGPI n-3 (Cillard et al, 2006). Chez l'homme comme chez l'animal, la lipoperoxydation est considérée comme physiologique quand son intensité est contrôlée par l'action d'enzymes pro-oxydants tels que la prostaglandine synthase, la thromboxane synthase ou le 5 lipoxygénase. Cette peroxydation induite par des enzymes est indispensable à l'organisme humain en favorisant la formation de divers eicosanoïdes (prostaglandine, leucotriènes, thromboxanes) biologiquement actifs. Elle se différencie de la lipopéroxydation non enzymatique ou « spontanée » qui s'avère le plus souvent néfaste au bon fonctionnement de l'organisme en contribuant au vieillissement cellulaire et à la production de métabolites toxiques (Pre, 1991)

3- Facteurs influençant la lipopéroxydation

3-1- Espèces réactives de l'oxygène (ERO)

Les radicaux libres sont définis comme des atomes et des molécules contenant un électron non apparié. Cette particularité explique leur très grande réactivité et les rend aptes à réagir avec ces molécules (lipides, protéines, ADN) lors de réactions en chaîne (Favier, 1997).

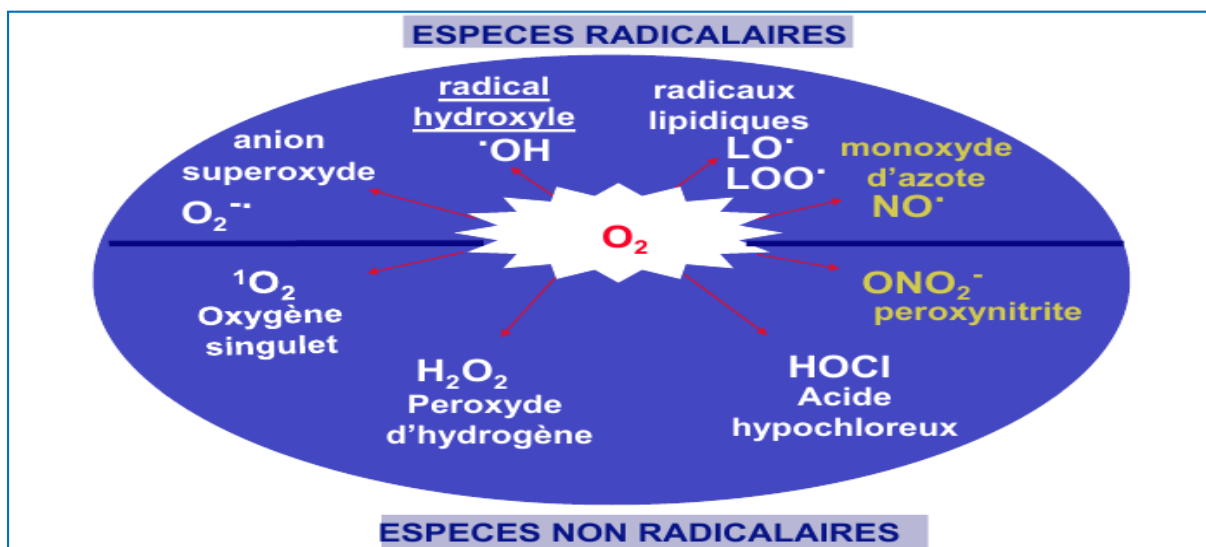


Figure 3 : différentes espèces réactives de l'oxygène (Cillard, 2011)

La réactivité des radicaux libres est très variable selon la nature du radical. Ainsi, parmi les radicaux formés chez les êtres vivants, l'anion radical superoxyde (O_2) et le monoxyde

d'azote (NO) ne sont pas particulièrement réactifs en eux-mêmes, mais constituent des précurseurs pouvant être activés en d'autres espèces plus réactives. La faible réactivité de ces deux radicaux permet d'ailleurs leur utilisation par l'organisme comme médiateurs régulant les fonctions biologiques telle la vasodilatation capillaire (**Favier, 2003**).

Par contre, des radicaux comme les radicaux peroxydes (LOO ou ROO) et surtout le radical hydroxyle (HO) sont extrêmement réactifs (**Winterbourn et al, 2008**), et ce, avec toutes les molécules présentes dans les tissus vivants. D'autres espèces dérivées dites « espèces réactives de l'oxygène » comme le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) ou le nitroperoxyde (ONOOH) sont réactives bien qu'elles ne portent pas d'électron non apparié. L'ensemble des radicaux libres et des espèces dérivées (incluant leurs précurseurs) est souvent appelé espèces réactives de l'oxygène (ERO) et de l'azote (**Favier, 1997**).

3-2- Acides gras polyinsaturés

Il existe deux familles des AGPI n-6 connues généralement sous le nom d'AGPI ω 6 et celle-là famille des AGPI n-3 connue généralement sous le nom d'AGPI ω 3. Le caractère nucléophile des doubles liaisons des AGPI leur confère une grande instabilité en présence d'espèces radicalaires électrophiles (**Frankel et al, 2005**). Cette particularité structurale des AGPI permet aux espèces radicalaires d'arracher facilement l'atome d'hydrogène du groupement méthyle bisallylique. Ainsi, le degré d'oxydabilité des différents types d'AGPI est proportionnel au nombre de groupements méthylène bisallylique et donc au nombre de doubles liaisons (**Cosgrove et al, 1987**).

3-2-1- Lipopéroxydation et formation de malondialdéhyde

Parmi l'ensemble des aldéhydes formés par la lipopéroxydation, le plus connu est le malondialdéhyde (MDA).

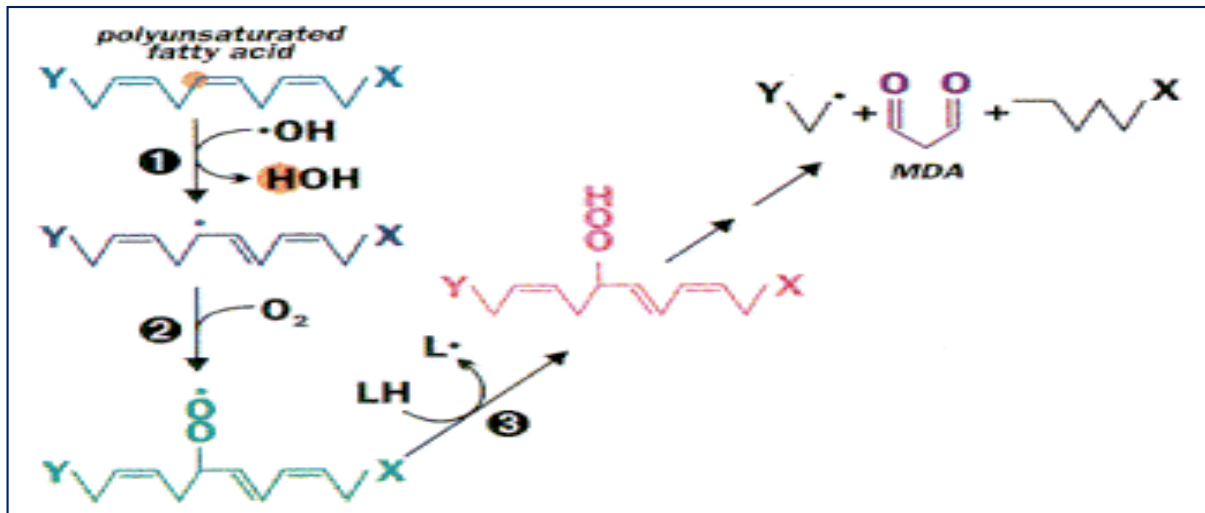


Figure 4 : Oxydation des acides gras polyinsaturés et formation de MDA (Cillard, 2011)

Il est produit par la coupure des AGPI possédant au moins trois doubles liaisons soit l'acide arachidonique (C20 : 4n-6), l'acide éicosapentaénoïque (C20 :5 n-3, EPA) et l'acide docosapentaénoïque (C20 :4 n-6, DPA) et l'acide linoléique (C18 :3 n-3, ALA) (Cillard, 2011).

Plus exactement ce sont les hydroperoxydes très sujets aux réactions de cyclisation, qui conduisent à la formation d'hydrobicycloendoperoxydes qui eux se décomposent par scission pour donner du malondialdéhyde (MDA) (Cillard, 2011).

D'autre part le MDA peut aussi être formé à partir des AGPI n-3 et des AGPI n-6, mais également à partir de composés non lipidiques tels que l'acide ascorbique, les acides aminés, le désoxyribose ou le saccharose lorsqu'ils sont exposés à l'action des radicaux hydroxyles notamment en présence de métaux. Enfin, le MDA est également un excellent substrat des peroxydases. Ainsi, les lipoperoxydes plaquettaires sont à l'origine d'une partie du MDA sanguin (Lefevre et al, 1998). Le dosage du MDA dans les systèmes biologiques est couramment utilisé, car c'est un marqueur fiable de peroxydation relativement facile à mesurer par HPLC et à détecter par fluorimétrie, ce qui représente un avantage important par rapport aux autres marqueurs.

3-2-2- Impact des produits peroxydés sur la qualité des poissons

La nature des TBA-rs et leurs proportions dépendent des acides gras oxydés (Eymard, 2003). Les produits secondaires tels les TBA-rs contribuent à une perte de saveur ainsi qu'à la genèse de groupements toxiques fréquemment associés à la rancidité (Halliwell et Chirico, 1993). De plus, les produits carbonylés, issus de la fission des aldéhydes et des hydroperoxydes,

peuvent réagir avec les groupements amines conduisant à une baisse de la valeur nutritive de la chair des poissons (**Hidalgo et al., 1992**), à la production d'odeurs désagréables (**F.A.O., 1994**) et à la perte de saveur (**Harris, 1994**). Selon les travaux de **Aubourg et al (2004)**, la production de TBA-rs pendant la cuisson et la congélation est plus importante chez la sardine que chez le merlan bleu. En effet, chez les petits pélagiques comme la sardine, l'hydrolyse et l'oxydations des lipides contribuent à la dégradation des poissons (**Saeed et Howell, 2002**).

Le suivi de l'oxydation des lipides est un outil très important dans l'évaluation de la qualité du poisson (**Melton, 1983**). Cependant, ce parametre présente une difficulté palpable résidant dans l'évolution du processus oxydatif (**Eymard, 2003**). De ce fait, on ne sait pas toujours dans quel intervalle on est situé par rapport au maximum de propagation. De plus, les produits de l'oxydation des lipides interagissent rapidement avec des constituants biologiques qui ne sont pas sensibles aux dosages utilisés (**Rapeepan et al, 2009**). Selon **Ozyurt et al., (2005)**, le suivi d'un substrat de l'oxydation et le dosage des TBA-rs est une combinaison pertinente pour l'évaluation de la qualité du poisson. En accord avec **Eymard (2003)** et **Aubourg (2004)**, il est intéressant de noter que l'analyse sensorielle couplée au dosage des TBA-rs nous permet de déduire le statut de qualité des poissons. En effet, parmi tous les paramètres biochimiques, les TBA-rs sont les plus liés à la formation d'odeurs de rance (**Olafsdottir et al., 1997**).

Chapitre 3

Pollution marine et son impact sur la santé humaine

1- Aspect de la pollution marine

1-1 Généralités

1-1-1 Définition de la pollution

Le groupe d'experts de la FAO et de l'OMS définissent le terme de pollution marine comme : « l'introduction par l'homme directement ou indirectement de substances ou d'énergie dans l'environnement marin ; ayant pour conséquence des effets néfastes, tels que nuisances pour les ressources vivantes, risque pour la santé humaine, entraves aux activités maritimes (y compris la pêche), altération de la qualité de l'eau de mer et réduction des agréments et des sites de loisirs » (**Gesamp, 1997**).

Les principaux polluants de l'eau sont les eaux usées, et d'autres déchets consommateurs d'oxygène (essentiellement les substances organiques dont la décomposition entraîne un

épuisement de l'oxygène), les agents contaminants, les engrais, les produits chimiques organiques notamment les pesticides, les tensioactifs et divers produits ou déchets industriels (cf. fig. 1) , le pétrole, les minéraux et les composés chimiques : les sédiments composés de particules minérales extraites du sol, les substances radioactives provenant des activités nucléaires, industrielles (**Ramade, 1982**)

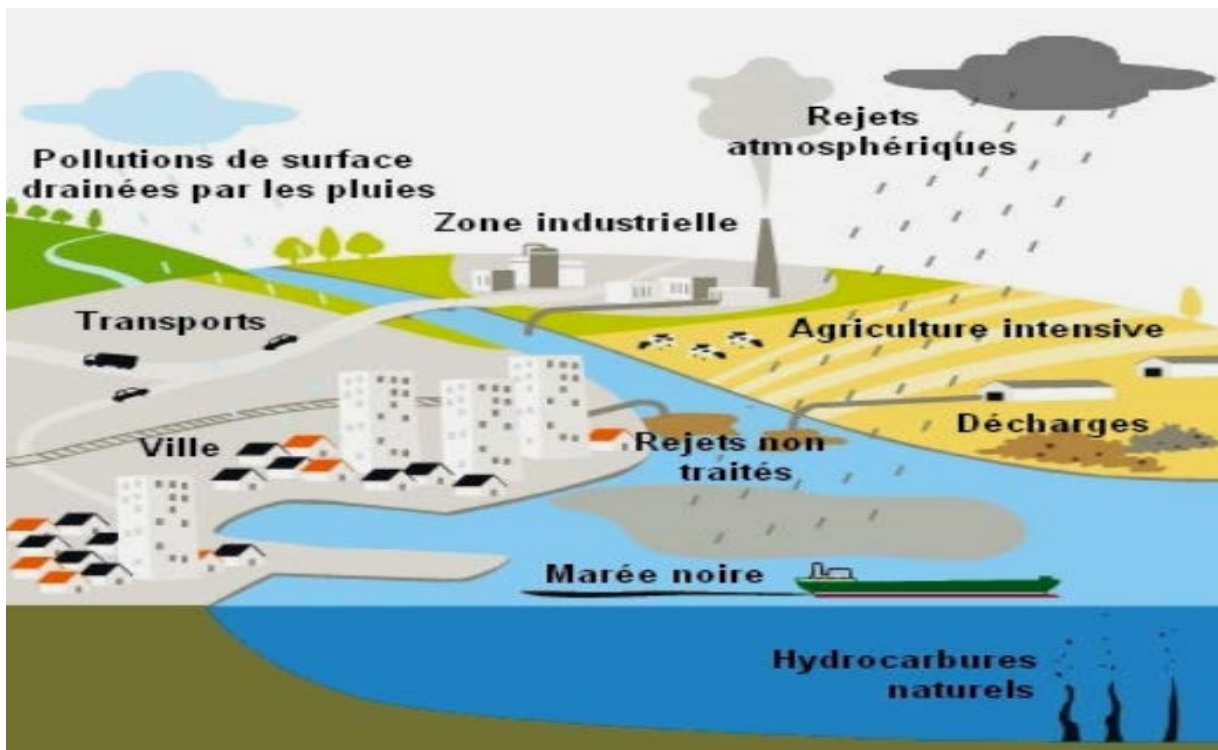


Figure 5 : Origine de la pollution du littoral (Cedre, 2008)

1-1-2- La pollution dans la Méditerranée

La méditerranée a toujours été un Carrefour de civilisations et de cultures, actuellement elle est l'une des mers les plus polluées du monde, de plus, elle est sillonnée par 50 % de circulation maritime mondiale (**Bousquet, 2003**).

En effet, la méditerranée représente 30 % du transport maritime mondiale, elle connaît à elle seule 1/5 des accidents pétroliers mondiaux. La méditerranée est la première destination touristique au monde (30 % du tourisme mondial) (**P.N.U.E, 2004**). La plupart des zones côtières de la méditerranée abritent des industries chimiques et extractives qui produisent des quantités significatives de déchets industriels (par exemple des métaux lourds, des substances dangereuses et des polluants organiques persistants) susceptibles de gagner directement ou indirectement (c'est-à-dire via les rivières et les eaux de

ruissellement) les milieux marins de la méditerranée (**A.E.E, 2002**). La pollution par les métaux et les hydrocarbures présentent des dangers certains pour la méditerranée à court et à long terme (**Donniers, 2007**).

1-1-3- La pollution en Algérie

En Algérie, les endroits où les problèmes de déchets industriels existent, sont les villes côtières et industrielles à l'image de Skikda, Annaba et Jijel dans l'Est. Au centre on trouve l'axe Alger-Oued Smar, Rouiba-Reghaia et Béjaia. À l'ouest, Oran-Arzew, Ghazaouet et Mostaganem (**UNEP, 1992**). Les côtes Algériennes étaient considérées comme étant les plus poissonneuses au niveau de la méditerranée, le rendement de la pêche a diminué de près de 80 % ces deux dernières années ; il s'agit de la première conséquence de la pollution marine (**Farida, 2007**). 17 stations d'épurations des eaux usées urbaines ont été construites dans la zone côtière algérienne, 5 seulement fonctionnent normalement ce qui représente environ 25 % de capacité de traitement totale (**A.E.E, 2006**).

2- Pollution marine par les métaux lourds

La pollution marine comprend une gamme de menaces, y compris à partir de sources terrestres, les déversements d'hydrocarbures, eaux usées non traitées, l'envasement, l'eutrophisation (enrichissement en éléments nutritifs), les espèces envahissantes, les polluants organiques persistants (POP), métaux lourds des résidus miniers et d'autres sources, l'acidification, substances radioactives, les déchets marins, la surpêche et la destruction des habitats côtiers et marins (**Bellwood et al. 2004**).

L'eau de mer contient en solution des combinaisons de tous les éléments chimiques, mais seulement certains d'entre eux, au nombre de douze, ont des concentrations égales ou supérieures au mg.L^{-1} . Ces douze éléments majeurs interviennent pour 99,4 % en masse du total de la croûte terrestre (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, H, P et Mn par ordre d'abondance). Les éléments traces, au nombre de 68, ne représentent en masse que 0,6 % du total et sont à des concentrations inférieures à 10^{-6} M dans l'eau de mer (**Neff, 2002**).

À la différence de la plupart des contaminants organiques, les métaux lourds sont des constituants naturels dans les roches et dans les gisements minéraux. Ainsi, normalement ces éléments sont présents à de faibles teneurs (à l'état de traces, moins de 0,1 %) dans les sols, les sédiments, les eaux de surface et les organismes vivants (**Callender, 2003**). Si les métaux sont souvent indispensables au déroulement des processus biologiques (oligo-éléments), nombre d'entre eux peuvent s'avérer contaminants pour diverses formes de vie, lorsque leur

concentration dépasse un seuil, lui-même fonctionne de l'état physico-chimique (spéciation) de l'élément considéré (**Kucuksezgin et al, 2006**). C'est le cas du Fer (Fe), du Cuivre (Cu), du Zinc (Zn), du Nickel (Ni), du Cobalt (Co), du Vanadium (V), du Sélénium (Se), du Molybdène (Mo), du Manganèse (Mn), du Chrome (Cr), de l'Arsenic (As) et du Titane (Ti) (**Miquel, 2001**). D'autres ne sont pas nécessaires à la vie et peuvent être même préjudiciables comme le Mercure (Hg), le Plomb (Pb), le Cadmium (Cd) et l'antimoine (Sb)(**Lafabrie, 2007**).

3- Les transferts des contaminants dans le milieu marin

Beaucoup d'organismes marins accumulent des contaminants à de très fortes concentrations dans leurs tissus. Ces processus d'accumulation dépendent des taux d'assimilation, d'excrétion et de stockage de chaque élément (**Rainbow et Phillips, 1993**).

3-1- La bioaccumulation

Est un mécanisme physiologique qui se traduit par la fixation des substances toxiques dans les organismes marins, c'est donc la possibilité pour une espèce donnée de concentrer un toxique donné à partir du milieu extérieur, ces substances non biodégradables vont se concentrer le long des divers maillons de la chaîne trophique, les concentrations maximales se trouvent chez les grands prédateurs (poissons, mammifères marins...) ou chez les mollusques filtreurs comme les moules (**Boutiba,2004**).

3-2- La bioconcentration

La bioconcentration est un cas particulier de bioaccumulation. Elle est définie comme le processus par lequel une substance (ou un élément) se trouve présente dans un organisme vivant à une concentration supérieure à celle de son milieu environnant. C'est donc l'accroissement direct de la concentration d'un contaminant lorsqu'il passe de l'eau à un organisme aquatique. Le facteur de concentration (FC) est défini comme une constante issue du rapport de la concentration d'un élément dans un organisme en état d'équilibre à sa concentration dans le biotope (**Ramade, 1992**).

3-3- La bioamplification

C'est une concentration d'un toxique après consommation de plus petit organisme de la chaîne par le plus grand ; il s'agit dans ce cas de la possibilité pour un toxique d'être cumulé

par une chaîne trophique, si le toxique n'est pas dégradé ou éliminé, il va s'accumuler de plus en plus au niveau de chaque maillon de la chaîne alimentaire (**Boutiba,2004**).

4- Métaux lourds étudiés et leurs impacts sur la santé humaine

4-1- Le plomb

Le plomb est un élément naturel très réactif dans l'environnement. L'atmosphère est son principal vecteur vers l'océan (**Wittmers et al., 2002**). On le trouve principalement dans des minerais comme la galène et le sulfure de plomb (PbS). Des travaux archéologiques récents ont mis en évidence des sites de production à partir de la galène (PbS) en Asie centrale datant d'environ 6 500 ans avant notre ère (**Wittmers et al., 2002**) et le développement d'une chimie du Pb en Égypte ancienne vers 3 000 av. J.-C. essentiellement liée à l'élaboration de cosmétiques (**Walter et al., 1999**).

Le plomb est concentré dans les gisements de sulfures où il est communément rencontré sous forme de galène (PbS[s]). Il peut être également rencontré sous la forme d'anglésite (PbSO₄[s]) et de cérusite (PbCO₃[s]). À l'air, le plomb métallique forme une couche protectrice d'oxyde de plomb qui le protège contre la corrosion(**Burnol et al., 2006**). L'utilisation presque universelle de composés du Pb pour les raccords et les soudures effectués dans les réseaux de distribution d'eau a des répercussions importantes sur la qualité de l'eau potable. Au Canada, il se peut que les réseaux de distribution et la plomberie installés avant 1945 soient faits de tuyaux en Pb (**Quinn, 1990**).

Les déchets solides et liquides (boues) constituent environ 81 % des rejets de Pb effectués dans l'environnement, habituellement dans des décharges. Mais ce sont les émissions atmosphériques qui sont responsables de la dispersion du Pb dans l'ensemble de l'environnement (**Bliefert et Perraud, 2004**).

Tableau 3. Les Caractéristiques physico-chimiques du Pb (**Miquel , 2001**)

Masse atomique	270
Masse volumique	11,35 g/cm³
Température de fusion	327 °C
Température d'ébullition	1740 °
Symbole chimique	Pb
Minerai d'origine Galène	Galène

4-1-1- Comportement du plomb dans l'eau

Bien qu'en milieu océanique, la majorité du plomb soit sous forme dissoute la fixation de ce métal sur des particules organiques suivi de leur absorption dans les sédiments, ainsi que leur incorporation dans la biomasse qui se sédimente également quand les organismes meurent (**Ramade, 2000**).

Dans des conditions réductrices, les concentrations en plomb présentes dans les eaux souterraines sont limitées par la solubilité de la phase solide hydroxyde, ou, dans certains cas, du plomb métallique, qui présente une stabilité élevée dans des conditions réductrices (**Burnol et al., 2006**).

4-1-2- Toxicité du plomb

La toxicité des composés minéraux du plomb est en rapport avec leur plus ou moins grande hydrosolubilité (**Viala et Botta, 2005**). Ce sont les composés et sels du plomb qui sont plus toxiques que le plomb métallique (**Bliefert et Perrot, 2004**). Le plomb pénètre dans le corps humain, que ce soit par ingestion ou inhalation, diffuse via la circulation sanguine vers des organes où il est stocké (cerveau, cheveux, os...) et par voie cutanée (**Miquel, 2001**). L'intoxication aiguë provoque une néphropathie tubulaire, avec anurie, parfois associée à des troubles neuromusculaires (**Ramade, 2000**). Le fœtus et le jeune enfant sont particulièrement sensibles à l'effet toxique du plomb provoquant ainsi des troubles neurocomportemental, caractérisé par une baisse peu ou pas réversible des facultés cognitives (**Tremel-Shaub et Fiex, 2005**).

Une exposition chronique peut entraîner des risques d'hypofertilité, de malformation fœtale. D'une façon générale, en cas d'intoxication au plomb, on parle du « saturnisme » (**Savary, 2003**). On admet qu'une dose de 1 mg de plomb est suffisante pour engendrer rapidement le saturnisme (**Viala et Botta, 2005**). Selon **Pistl et al., (2008)**, l'intoxication chronique causée par le trihydrate acétate de plomb a un effet immunotoxique chez les rats manifestés par une diminution significative des capacités fonctionnelles des phagocytes et les lymphocytes T. L'intoxication chronique se caractérise par l'apparition d'une anémie, d'un éthéré, d'un liseré dû au plomb au niveau de la gencive et d'une anorexie, de gastralgie...etc. (**Benecke, 2004**).

4-2- Le mercure

Connus depuis l'Antiquité, les alchimistes puis le corps médical du XVIe au XIXe siècle le désignaient par le nom « vif-argent » et le représentaient grâce au symbole de la planète Mercure, d'où son nom actuel. Son symbole Hg provient du latin, lui-même emprunté au grec, hydrargyrum qui signifie « argent liquide ». Il est utilisé dans le passé pour produire de nombreux remèdes simples ou composés (Dina, 2012). C'est une substance classée dangereuse prioritaire par la Directive européenne 2000/60/CE. De plus, la classification CEE (étiquetage réglementaire des substances et préparations dangereuses) identifie le mercure comme « très toxique pour les organismes aquatiques, et pouvant entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique » (Boucheseiche, 2002).

Tableau 4. Propriétés physico-chimiques du mercure (Dina, 2012)

Numéro atomique	80
Masse atomique	200,59 g mol ⁻¹
Température de fusion	-38,9 °C
Température d'ébullition	356,6 °C
Symbole chimique	Hg

Le mercure existe à divers degrés d'oxydation : 0 (mercure métallique), I (ion mercurieux Hg²⁺, Hg₂SO₄), II (ion mercurique Hg²⁺, HgO, HgSO₃, HgI⁺, HgI², HgI³⁻, HgI⁴²⁻). Le mercure métallique n'est pas oxydé à l'air sec. Cependant, en présence d'humidité, le mercure subit une oxydation (Dina Baghdadi, 2012).

4-2-1- Utilisations du mercure

Le mercure est rare dans le milieu naturel : il se trouve cependant dans les roches, parfois à des concentrations justifiant une exploitation. Le mercure est extrait du cinabre (sulfure de mercure), par des techniques minières classiques. Le mercure, libéré sous forme de vapeur, est recueilli par condensation (Stellio, 2005).

Le mercure est utilisé par l'homme dans de multiples domaines. Il a été largement utilisé dans l'agriculture (pesticide), comme fongicide pour les papeteries et les industries de peinture, pour le traitement des minerais d'or et d'argent, dans l'industrie catalytique et l'électrolyse,

dans les équipements électroniques et électriques, les lampes, les explosifs, les batteries et les instruments de mesure (**Lindqvist, 1991**).

4-2-2- Propriétés biologiques et toxicité

Le mercure est le seul élément métallique dont l'introduction dans le milieu marin par l'activité humaine ait entraîné la mort d'hommes. Quarante-huit décès, sept cents paralysés et plusieurs milliers d'individus atteints ont en effet été recensés suite au déversement de cent cinquante tonnes de mercure dans la baie de Minamata, au sud du Japon, au cours des années cinquante et soixante. Cette maladie tragique fut le résultat de l'ingestion, par des pêcheurs et leur famille, de poissons contaminés par un dérivé neurotoxique du mercure, le méthyle-mercure (**Stellio, 2005**).

La toxicité aiguë du mercure (introduit sous forme inorganique) pour les mollusques varie de $5 \mu\text{g.L}^{-1}$ à plus de $5000 \mu\text{g.L}^{-1}$. Elle varie en outre avec la température et la salinité du milieu : elle augmente généralement avec la température et à faible salinité (**Marchand et Kantin, 1997**). Les larves et les embryons figurent parmi les plus sensibles. Le mercure est donc considéré comme un élément extrêmement toxique pour la vie aquatique puisque les doses létales les plus basses sont inférieures à $10 \mu \text{g.L}^{-1}$ à certains stades du développement d'espèces déjà constatées comme très sensibles ; les concentrations sans effet sont inférieures à $1 \mu \text{g.L}^{-1}$ (**Gesamp, 1997**). En France, le Conseil supérieur de l'hygiène publique (CSHP) propose une norme de tolérance de $0,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ (poids humide) chez les poissons en bout de chaîne alimentaire (dont le thon) et de $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ (poids humide) pour les autres produits de la pêche. (**Marchand et Kantin, 1997**).

Le Règlement (CE) n° 466/2001 fixe les quantités maximales de certains contaminants : nitrates, aflatoxines, plomb, cadmium, mercure, monochloro-propane-1, 2 diol (3 — MCPD), dioxines, ochratoxine A, patuline et l'étain inorganique. La fixation de teneurs maximales pour certains contaminants vise à réduire la présence de ces contaminants dans certaines denrées alimentaires aux niveaux les plus faibles que permettent raisonnablement de bonnes pratiques de fabrication ou agricoles, afin d'obtenir un niveau élevé de protection de la santé publique, en particulier pour les groupes sensibles de la population : enfants, personnes allergiques, etc. (Règlement [CE] n° 221/2002, mise à jour de l'annexe concernant les teneurs maximales en métaux lourds) (**Stellio, 2005**).

Partie

expérimentale

Chapitre 1

*Caractérisation nutritionnelle et toxicologique de *Sardina pilchardus* capturée dans les côtes Algériennes*

1- Introduction

À l'heure où le consommateur est de plus en plus soucieux de la composition et de la valeur nutritionnelle du contenu de son assiette, les professionnels des filières viandes ont porté ces dernières années un intérêt particulier pour la qualité nutritionnelle des produits de la pêche. Le poisson bleu notamment la sardine joue un rôle dans la nutrition humaine en raison de ses qualités nutritionnelles et organoleptiques, mais aussi pour ces aptitudes technologiques permettant de prolonger sa durée de consommation.

Les avantages nutritionnels de la consommation de la sardine sont principalement imputables aux effets de l'oméga-3 ; des acides gras polyinsaturés (AGPI) qui sont signalés à avoir plusieurs avantages pour la santé humaine. Le tissu de la sardine est la principale source d'AGPI à longues chaînes avec des effets bénéfiques ou même thérapeutiques sur la santé humaine. L'acide eicosapentaénoïque (EPA) et

l'acide docosahexaénoïque (DHA), qui ne se trouvent que dans les poissons et autres fruits de mer, possèdent des propriétés bénéfiques et préventives contre l'apparition des maladies coronariennes humaine (**Leaf et Weber, 1988 ; Din et al, 2004**) et favorisent la diminution du risque de cancer de la prostate (**Judéet al., 2006**) et la maladie d'Alzheimer (**Huang et al, 2005**). Dans ce sens, les nutritionnistes recommandent la consommation de sardine au moins deux fois par semaine pour conférer des effets cardioprotecteurs (**Krauss et al, 2000**). Cependant et pour la même espèce de poisson, la composition en acides gras est exposée aux différents facteurs influençant directement sa variation. La nature de l'alimentation, la variation saisonnière et la localisation sont les facteurs fondamentaux affectant la composition en lipides et en acides gras (**Özogul et Özogul, 2007**).

Actuellement et dans un autre contexte, les industries ainsi que les activités humaines intensifient les émissions de divers polluants environnementaux (**Yabanli, 2013**) tels que les métaux lourds pour lesquels l'intérêt de leur détermination dans le milieu aquatique notamment dans les poissons est devenu impérative et nécessaire (**Kayhan et al., 2010**). Naturellement, l'eau de mer contient de faibles concentrations de métaux lourds, mais leur taux augmente en raison du rejet des polluants anthropiques (**Kargin et Dönmez, 2001**). Les poissons et autres organismes aquatiques sont continuellement en contact avec ces polluants (**Burger et al., 2002**) qui s'accumulent en grandes quantités dans leurs chairs et squelettes (**Olaifa et al., 2003**). Certains métaux lourds tels que le cadmium et le plomb endommagent les reins, provoquant des symptômes de toxicité chronique et d'autres maladies telles que les cancers (tumeurs) et le dysfonctionnement hépatique (**Abou-Arab et al., 1996**). La présence de ces polluants dans la chair des poissons diminue fortement leurs valeurs santé en augmentant considérablement leur niveau de toxicité.

Dans cette partie, nous nous sommes intéressés à une espèce de poisson très largement consommé par la population algérienne. Il s'agit de la sardine commune « *Sardina pilchardus* » connue par sa richesse en nutriments nécessaires pour la santé humaine. Ce projet est la suite d'un travail de recherche précédente réalisée dans la région Ouest dont l'objectif était de faire ressortir les qualités nutritionnelles de *Sardina pilchardus* d'une manière générale. Il importe de signaler que l'expérimentation était réalisée au niveau du Laboratoire de « Technologie alimentaire et Nutrition » de l'université de Mostaganem en collaboration avec le laboratoire de « Chimie alimentaire » de l'université d'Athènes (Grèce) en ciblant les objectifs suivants :

- 1) Caractériser *Sardina pilchardus* pêchée dans la côte Algérienne sur le plan nutritionnel en déterminant les taux des différents composés tels les protéines, les lipides et les acides gras
- 2) Étudier l'effet du site de capture sur l'aspect toxicologique de cette même espèce de poisson en ciblant la mesure des métaux lourds hautement toxiques dont le mercure (Hg) et le plomb (Pb)

2- Matériels et Méthodes

2-1 Matériels

2-1-1- Choix de l'espèce de poisson

Notre choix s'est porté sur un poisson appartenant à la famille des clupéidés. Il s'agit de l'espèce *Sardina pilchardus*, un poisson pélagique très consommé par les populations du bassin méditerranéen, particulièrement en Algérie en raison de sa grande disponibilité et sa qualité nutritionnelle très remarquable, citant ici sa richesse en acides gras insaturés, essentiels pour la nutrition humaine (**Figure 6**).



Figure 6 : Échantillons de sardine pêchée dans la côte Algérienne

2-1-2 Choix des zones d'études

L'Algérie dispose d'un littoral d'environ 1280 km, allant de la frontière Algéro-Marocaine à l'Ouest, à la frontière Algéro-Tunisienne à l'Est. La superficie maritime sous juridiction nationale algérienne offre près de 9,5 millions d'hectares pour l'exercice de la pêche (**Zeghdoudi, 2006**).

Dans cette étude, notre choix s'est porté sur des zones de pêche relevant de la côte Algérienne connues pour leurs fortes productions de sardine qui compte environ 80% des poissons pélagiques pêchés, ce qui les rend des pôles économiques par excellence à forte activité commerciale.

2-1-3- Présentation des zones d'étude

2-1-3-1- La zone de Ghazaouet

Ghazaouet (Nemours pendant la colonisation française) est située à l'Ouest de l'Algérie (latitude : 35°06' Nord ; longitude : 1°52'Ouest) (**Figure 7**). Elle est limitée au nord par la mer méditerranée, au sud par la commune de Tient, au Sud-Ouest par la commune de Nedroma, à l'Ouest par la commune de Tounane et à l'Est par la commune de Dar Yaghmoracen (**Benmansour, 2009**). Cette zone de pêche est caractérisée par un port présentant une activité mixte (commerce et pêche). Il est situé à 30 km de l'Est de la frontière Algéro-Marocaine, à 170

km de la métropole Ouest « Oran » et à environ 180 km du port espagnol d'Almeria avec lequel il est relié par une desserte maritime régulière en ferries. Ce port se trouve au fond d'une anse sablonneuse de 1300mètres et de 400 mètres de creux (**Benmansour, 2009**).

2-1-3-2-La zone de Béni-Saf

Béni-Saf est une région côtière située sur la côte Nord-Ouest de l'Algérie (**Figure 7**). Les fonds marins de cette région forment le plateau continental le plus étendu de la côte Algérienne. Le port de béni-Saf est situé au milieu d'une baie qui le protège naturellement contre les vents d'ouest, cependant, il reste exposé à la houle du Nord et du Nord-Ouest. En effet, la région d'extrême Ouest de Beni Saf est privilégiée, du fait que les courants de l'atlantique riche en plancton pénètrent en permanence en Méditerranée par le détroit de Gibraltar. Géographiquement, les zones de pêche de notre expérimentation sont positionnées sur une latitude de 35°18'08" Net une longitude de 1° 23' 01" W.

2-1-3-3 La zone de Mostaganem

Mostaganem est une wilaya côtière située à l'Ouest de l'Algérie avec une façade maritime de l'ordre de 149 km (**Figure 8**). De ce fait, elle est considérée comme la plus grande zone de pêche du pays. Le port de Mostaganem est situé dans la partie Est du Golfe d'Arzew (Latitude : 35° 56' Nord et Longitude : 00° 05'Est) (**Kherraz, 2015**). Les fonds marins du littoral Mostaganémois sont relativement plats, sableux et surtout vaseux (**Figure 7**). Cependant, près des côtes de Stidia, de la Mactâa et de la Salamandre, on aperçoit la présence de quelques petites zones rocheuses. Il importe de signaler que le Golfe d'Arzew est réputé d'être l'un des principaux fonds chalutables en Algérie (**Kherraz, 2015**).

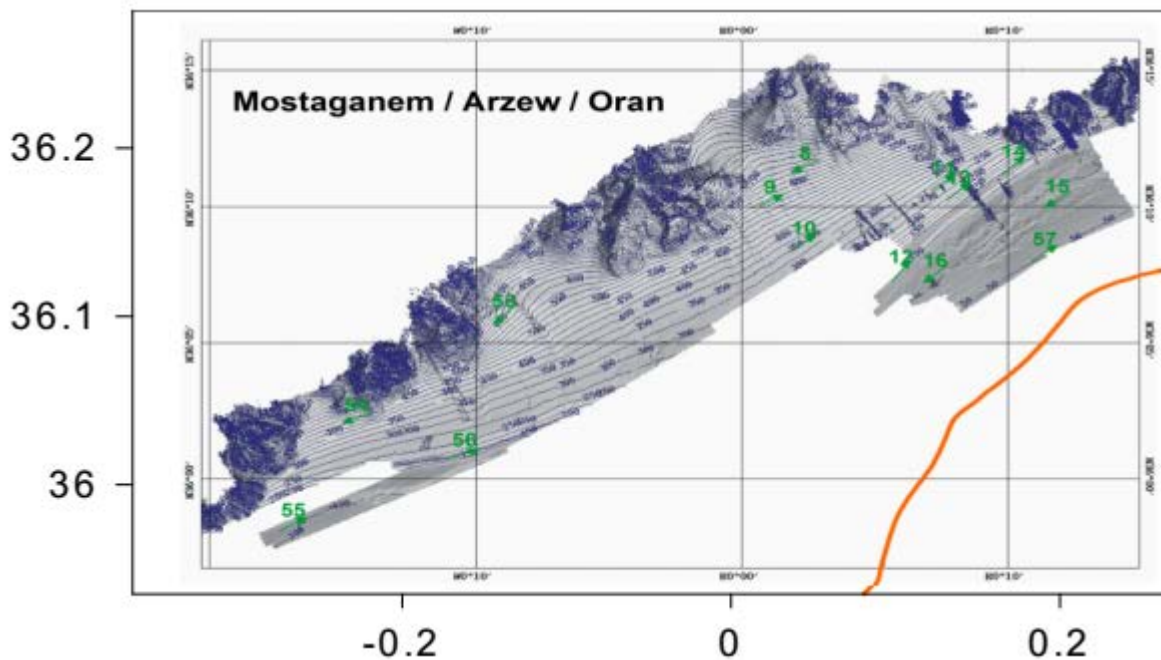


Figure 7 : Représentation des isobathes de la région de Mostaganem (Kherraz, 2015)

2-1-3-4 La baie de Jijel

La baie de Jijel se situe à 360 km d'Alger et à 310 km de Annaba, elle est limitée à l'Ouest par la pointe de Jijel ($36^{\circ}49'44''\text{N} - 5^{\circ}46'13''\text{E}$) et à l'Est par Ras El Moghreb ($37^{\circ}01'27''\text{N} ; 6^{\circ}15'52''\text{E}$) (**Figure 8**). La baie de Jijel s'étend sur une superficie de 1.323 km². Il est à signaler que les fonds compris entre 100 et 500 mètres s'étendent sur 305 km² alors que la partie inférieure du talus continental (500 à 1.000 mètres) représente 459 km². En outre, le plateau continental (rivage-isobathe 100 mètres) représente 559 km² de l'ensemble de la superficie de la baie. Dans la zone ouest de la baie, la largeur totale des plages varie de quelques dizaines de mètres (Jijel ; Djendjen), où le littoral est dégradé sous l'effet des aménagements physiques (extension du port de Jijel et de Djendjen), à plusieurs centaines de mètres ou plus au centre et à l'Est de la baie (**Refes, 2011**). La baie de Jijel renferme plusieurs ports de pêche, en l'occurrence le port de Jijel, le port de Boudis, le port d'El Aouana, ...etc

2-1-3-5 La baie d'Alger

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte Algérienne entre les longitudes Est : de $03^{\circ}01'00''\text{E}$ à $03^{\circ}14'30''\text{E}$ et les latitudes Nord : de $36^{\circ}44'30''\text{N}$ à $36^{\circ}49'15''\text{N}$ (**Figure 8**). Elle présente une forme semi-circulaire d'une superficie approximative estimée à 180 Km² où elle s'inscrit en creux dans la plaine de La Mitidja. Elle est délimitée par le cap Matifou (Tamentfoust) à l'Est et la Pointe Pescade (Rais Hamidou) à l'Ouest. Au nord, elle est limitée

par la mer Méditerranée. La baie d'Alger subit les déversements de deux Oueds : Oued El Hamiz et Oued El Harrach (**Bachari Houma, 2009**).

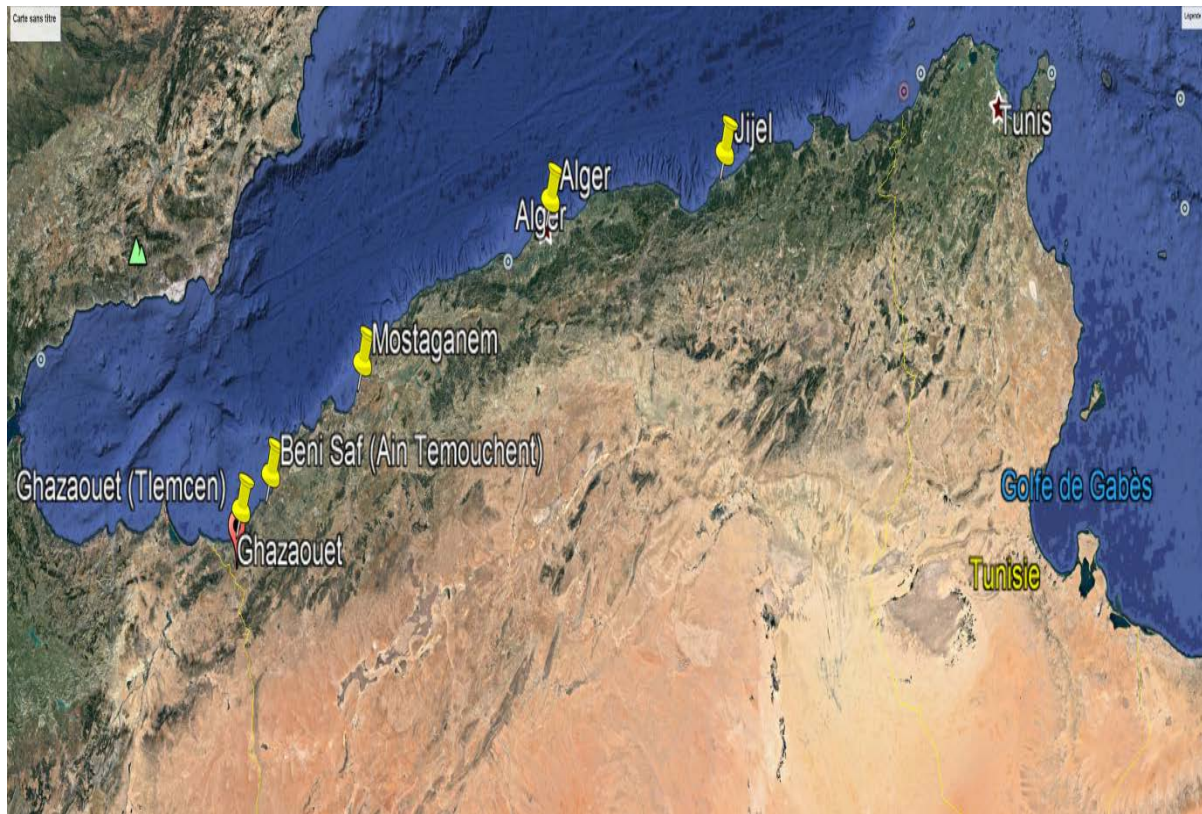


Figure 8 : Zones de capture de *Sardina pilchardus* dans la côte algérienne (**Google Earth**)

2-1-4 Échantillonnage de *Sardina pilchardus* et morphométrie

Les échantillons de *Sardina pilchardus* ont été capturés au niveau de cinq différentes zones de la côte Algérienne par des navires de type « Sardinier », à savoir trois dans la région ouest (Ghazaouet, Beni Saf et Mostaganem), une dans la région Est (Baie de Jijel) et une dans la région centre (Baie d'Alger) et cela durant le mois de Février 2014 (**Figure 9**). Dans chaque navire et à partir des différents échantillons de chaque zone de capture, 60 spécimens ont été prélevés et conservés dans des bacs en polystyrène munis de batteries de glace (-18°C). À leurs sorties du port, les sardines échantillonnées ont été mises dans une glacière électrique (-18°C) pour qu'elles soient acheminés en toute sécurité au laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition de l'université de Mostaganem pour procéder à leurs mesures morphométriques. Enfin, ces dernières ont subi une éviscération avec élimination de la tête et des arêtes afin d'obtenir des filets, suivie d'une conservation à -18 °C pour des analyses biochimiques et toxicologiques ultérieurs.

À l'arrivée des échantillons de sardine au laboratoire, des mesures morphométriques (longueurs totales et des poids corporels) ont été effectuées. Le paramètre longueur totale a été déterminé à l'aide d'un ictyomètre. Il est à noter que la longueur totale (LT) représente la distance comprise entre l'extrémité du museau et les deux lobes postérieurs. Le poids (W) de nos échantillons est déterminé à l'aide d'une balance analytique de précision.



Figure 9 : Préparation des échantillons de *Sardina pilchardus* après la pêche

2-2- Méthodes

2-2-1 Matière sèche

La teneur en matière sèche est déterminée conventionnellement par le poids d'une prise d'essai de filet de sardine broyé (1g) après dessiccation à 105 °C dans une étuve pendant 24 h (AFNOR, 1985).

2-2-2- Matière minérale

La teneur en cendres est conventionnellement le résidu de la substance après destruction de la matière organique par incinération à 550 °C dans un four à moufle pendant 6 h (AFNOR, 1985).

La teneur en matière minérale de l'échantillon est calculée en fonction de la relation suivante :

$$\text{MM en \%} = (M_2 - M_0 / M_1 - M_2) \times 100$$

Avec :

M_0 : masse du creuset vide en (gr)

M_1 : masse totale du creuset contenant la prise d'essai en (gr)

M_2 : masse totale du creuset contenant les minéraux bruts en (gr)

La teneur en matière minérale est exprimée en g/100g d'échantillon.

2-2-3- Protéines brutes

La détermination de la teneur en protéines contenues dans les filets de sardine a fait appel à la méthode de **Kjeldhal, (1883)**. Elle s'effectue en trois étapes :

Étape 1 : Digestion ou minéralisation de l'échantillon (1 g dans notre cas)

Pendant l'étape de la digestion, l'azote protéique est transformé en azote ammoniacal par oxydation de la matière organique dans l'acide sulfurique H_2SO_4 concentré à haute température, en présence d'un catalyseur (Sélénium) :

- L'acide sulfurique concentré a pour but d'oxyder la matière organique et de transformer l'azote protéique en ammoniac NH_3 . Il sert également à piéger l'ammoniac gazeux sous la forme de sulfate d'ammonium NH_3SO_4 , par action de la base avec l'acide.

- L'addition du Sélénium a pour but d'élever le point d'ébullition de la solution pour accélérer la réaction de minéralisation de la matière organique



Figure 10 : Minéralisateur Kjeldhal (DKL series VELP Scientifica)

Étape 2 : Distillation de l'ammoniac

Avant de distiller l'ammoniac (NH_3) à la vapeur d'eau, on doit libérer l'ammoniac sous la forme d'un sel $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ par l'addition d'une solution concentrée de NaOH en excès.

L'ammoniac est ensuite distillé par la vapeur d'eau et piégé dans une solution d'acide borique. L'ammoniac réagit avec l'acide borique pour former des sels borates d'ammonium.

Étape 3 : Titrage de l'ammoniac :

L'ammoniac sous la forme de borates d'ammonium est titré directement à l'aide d'une solution standardisée d'acide sulfurique (H_2SO_4 : 0,1 N) en présence d'un indicateur coloré (indicateur de Tashiro).

On prépare un blanc en mettant tous les réactifs sauf l'échantillon, pour soustraire l'ammoniac contenu dans les réactifs de l'ammoniac contenu dans l'échantillon.

Calcul du % de protéines dans l'échantillon :

Le % de protéines dans l'échantillon est obtenu en multipliant le % d'azote total par un facteur « F » d'épandant du type d'aliment analysé (6,25 dans notre cas, car il s'agit de la viande de poisson).

$$\% \text{ N} = 0,0014 \times (V_1 - V_0) \times 100/m$$

$$\% \text{ PB} = \% \text{ N} \times 6,25.$$

V_0 : volume en millilitres de solution d'acide sulfurique utilisé pour l'essai à blanc.

V_1 : volume en millilitres de solution d'acide sulfurique utilisé pour la détermination.

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

2-2-4- Dosage de la matière grasse

2-2-4-1 Lipides totaux

À partir de chacun des prélèvements de filets de sardine, les lipides totaux ont été extraits par la méthode de **Folch et al (1957)** ensuite analysés par chromatographie en phase gazeuse (CPG). 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 aqueuse de NaCl à 0,58 % permet la séparation des phases. La phase supérieure constituée de méthanol-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 chloroforme-lipide. La pesée du ballon contenant l'extrait lipidique après évaporation du

solvant permet de calculer la teneur en lipide exprimée en g par 100 g d'échantillon, en faisant appel à la formule suivante :

$$\mathbf{MG} = \frac{\mathbf{P2-P1}}{\mathbf{pe}} \times \mathbf{100}$$

P2 : poids du ballon contenant les lipides.

P1 : poids du ballon vide.

Pe : prise d'essai.

Dans la perspective de déterminer le profil des acides gras (AG) par CPG, les lipides sont recueillis dans des piluliers et conservés à -18 °C afin d'inhiber l'oxydation des acides gras insaturés (AGI).

2-2-4-2- Composition en acides gras

Les extraits lipidiques sont préalablement saponifiés à l'aide de KOH (0,5 N) puis méthylés par un mélange de méthanol-n-hexane selon la méthode de **Nasopoulou et al., (2012)**.

Les esters méthyliques des acides gras sont ensuite séparés, quantifiés et analysés par chromatographie en phase gazeuse (Chromatographe : Shimadzu CLASS VP (GC-17A. Kyoto, Japan) sur colonne capillaire de 60 cm de longueur et de 0,25 mm de diamètre (Agilent, Santa Clara California, USA).

Les conditions opératoires de chromatographie en phase gazeuse sont les suivantes :

- Injecteur et détecteur de température (220 °C et 225 °C) respectivement.
- La température de four a été programmée pour augmenter de 45 °C à 240 °C (à raison de 20 °C à 35 °C/minute).

Des aliquotes de 1 µl étaient injectées avec de la silicone phénylique de bicyanopropil en tant que phase stationnaire et l'hydrogène a été employé comme gaz vecteur. Les pics des acides gras étaient identifiés par comparaison avec le temps de rétention du méthyle et la quantification des acides gras a été faite par une référence à un étalon interne (C₁₇:0).

2-2-4-3- Détermination des métaux lourds

Un gramme de chaque échantillon de sardine a été minéralisé par un mélange de 10 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) et de 5 ml d'acide nitrique (HNO_3) pendant 60 minutes à 250 °C à l'aide d'une unité de digestion automatique Kjeldahl VELP (série DKL, 8). Les solutions obtenues ont été jaugées à 50 ml avec de l'eau distillée, ensuite filtrées à travers un papier-filtre Whatmann afin d'éliminer les impuretés. Les filtrats ont été transférés dans des tubes en verre rincés préalablement avec une solution de HNO_3 (5 %) et enfin conservés à une température ambiante pour des analyses ultérieures.

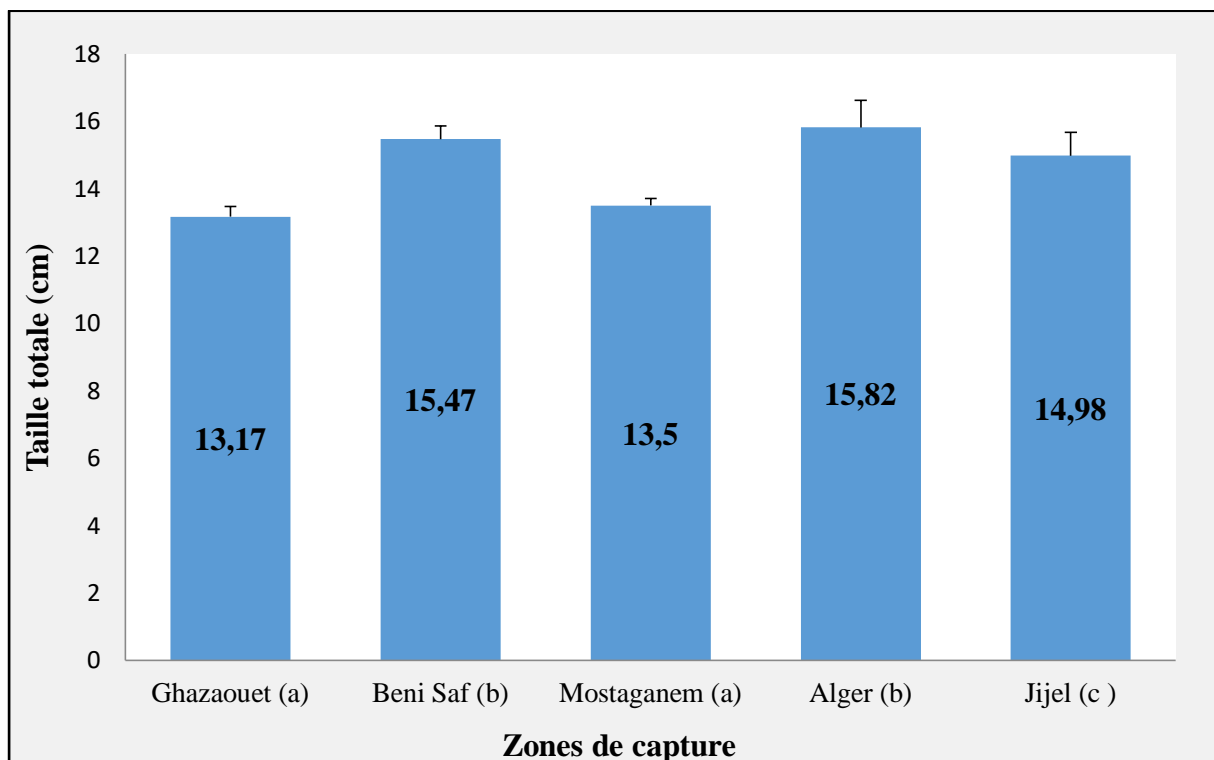
Les concentrations du Pb et du Hg ont été déterminées en milligrammes de métal par kilogramme de filets de sardine par le biais d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (AAS) Shimadzu AA-7000. Les limites de détection étaient de l'ordre de 0,05 et 0,06 $mg.kg^{-1}$ pour le Pb et le Hg, respectivement. Les niveaux de plomb et de mercure ont été enregistrés à partir de l'échelle numérique de l'AAS et calculés selon l'équation suivante : $C = R \times (D / W)$.

Où, C : concentrations de l'élément ($mg.kg^{-1}$), R: lecture de l'échelle numérique de AAS, D: Dilution de l'échantillon préparé et W: Poids de l'échantillon (**Shaltout et al., 2015**).

3- Résultats et discussions

3-1-Longueur totale

Les mesures de la taille des sardines échantillonnées au niveau des 5 sites de capture (Ghazaouet, Béni-Saf, Mostaganem, Alger et Jijel) sont mises en exergue dans la **figure 11**. Il ressort que les sardines pêchées à Beni Saf, Alger et Jijel dépassent ($P<0.05$) celles de Ghazaouet et de Mostaganem de 2 cm en moyenne. Les longueurs totales des différentes sardines montrent une variabilité en fonction du site de capture avec des tailles allant de 13,17 cm pour la sardine de Ghazaouet à 15,82 cm pour la sardine d'Alger ($P<0,05$).



Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type ($n=20$). Les différentes lettres affectées (a, b, c) indiquent un effet significatif du site de capture ($P<0,05$). LT : Longueur totale

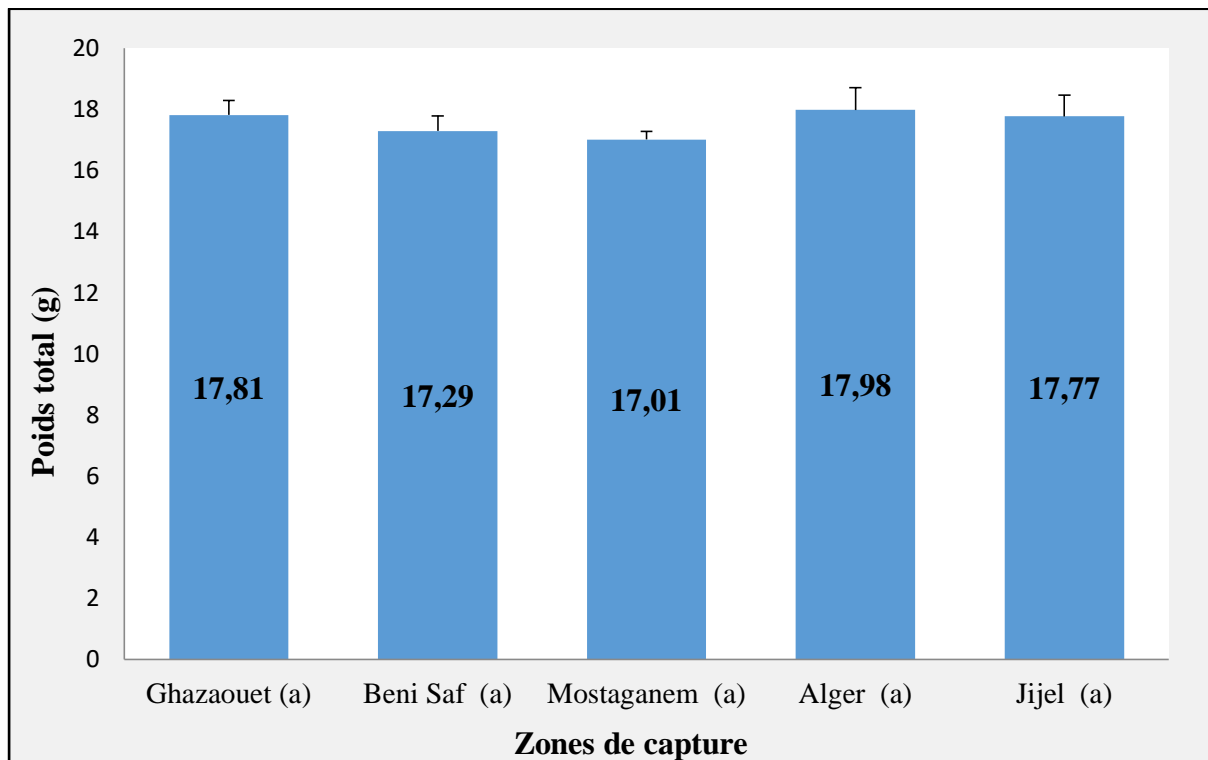
Figure 11. Longueurs des sardines pêchées aux des différents sites de capture de la côte Algérienne, exprimée en centimètres (cm).

Il est à signaler qu'une légère hétérogénéité a été constatée entre les sardines capturées. Une différence significative ($P<0.05$) de l'ordre de 16,75 % a été enregistrée entre la sardine de Ghazaouet et celle d'Alger. Généralement, la taille de la sardine varie selon les zones de capture et le sexe. La taille moyenne de nos échantillons (14,58 cm) est supérieure à celle obtenue par

Abad *et al.* (1993) et inférieure à celle dégagée par Mendez-Vilamilet *al.*, (1997) avec des longueurs totales de l'ordre de 13,6 cm et 15,30 cm, respectivement.

3-2 Poids

Les poids des différents échantillons de sardines capturées dans la côte Algérienne sont illustrés dans **la figure 12**. Il importe de noter que l'étude statistique n'a révélé aucun effet significatif du site de capture sur ce paramètre ($P > 0.05$). Cependant, le poids moyen de la sardine d'Alger (17,98 g) reste supérieur aux sardines de Mostaganem, Beni Saf, Jijel et Ghazaouet avec des différences de l'ordre de 5,39 %, 3,83 %, 1,16 % et 1 %, respectivement.



Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type ($n=20$). Les différentes lettres affectées (a, b, c) indiquent un effet significatif du site de capture ($P < 0,05$). Poids total en gramme (g)

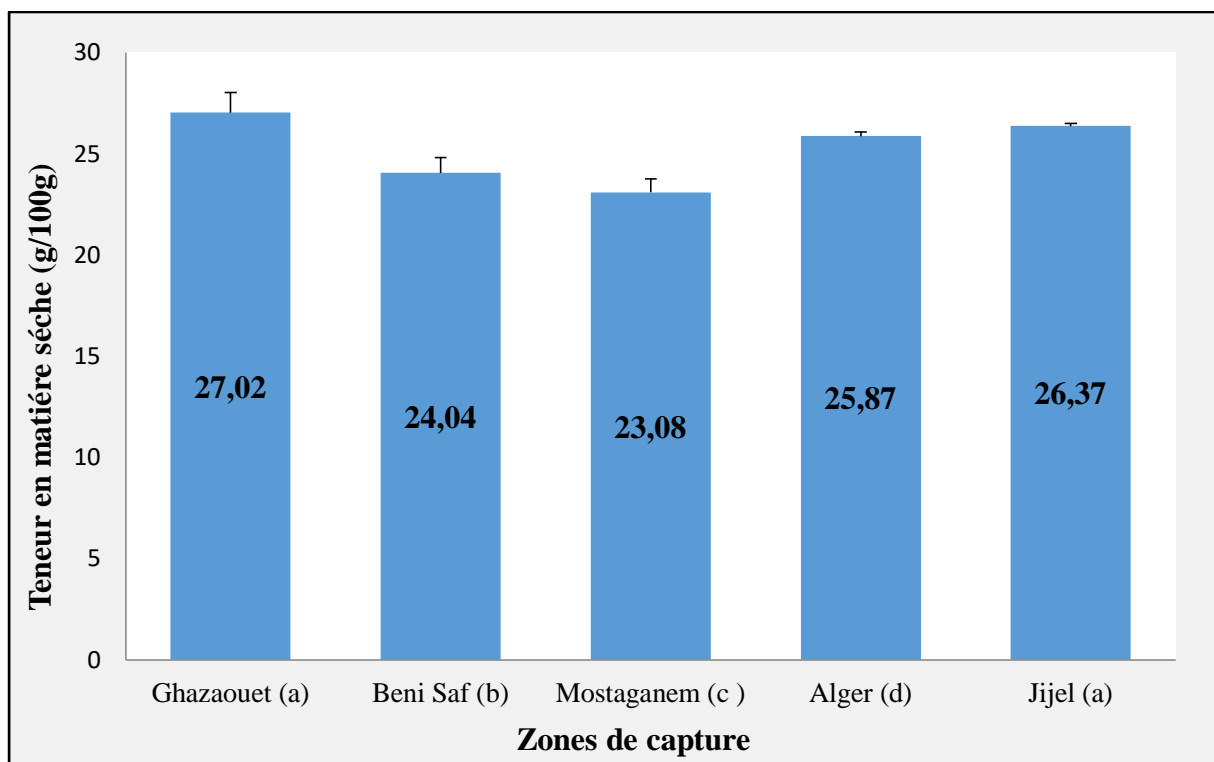
Figure 12. Poids des sardines pêchées aux des différents sites de capture de la côte Algérienne, exprimée en grammes (g)

Dans ce travail de recherche, la taille et le poids sont des facteurs qui séparent les individus par leur morphologie, liée à la fois aux caractéristiques génétiques, mais également aux conditions environnementales (Pinheiro *et al.*, 2005). Une étude menée par Tudela (1999) sur des anchois d'origine géographique diverse a révélé que les conditions environnementales sont responsables de la variation du poids.

Conformément à la littérature, la variabilité pondérale pourrait aussi être liée à de nombreux facteurs comme les mouvements, la quantité et la qualité de la nourriture, le niveau de stress ou la qualité de l'eau comme la rapporté **Sara et al. (1999) et Roncarati et al. (2001)**.

3-3 Matière sèche

Le contenu en matière sèche des différents filets de sardine étudiée apparaît dans des proportions variables ($P < 0,05$) (**Figure 13**) avec des taux allant de $23,08 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ à $27,02 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$, présentant ainsi une différence estimée à 14,58 % entre la sardine de Mostaganem et de Ghazaouet. Cette variation est due principalement à la richesse du site en facteur alimentaire (Özogul and Özogul, 2007). Selon **Bandarra et al., (2001)**, la teneur en eau évolue de façon inversement proportionnelle à la teneur en lipides (**Bandarra et al., 2001**). Cette relation qui existe entre le gras (composant de la matière sèche) et la teneur en eau fait varier le taux de la matière sèche des poissons (**Nunes et al., 1992 ; Aubourg, 2001 ; Bandarra et al., 2001**). Une étude réalisée par **Caponio et al., (2004)** sur la sardine italienne a révélé que la teneur en matière sèche était de l'ordre de 24 %.

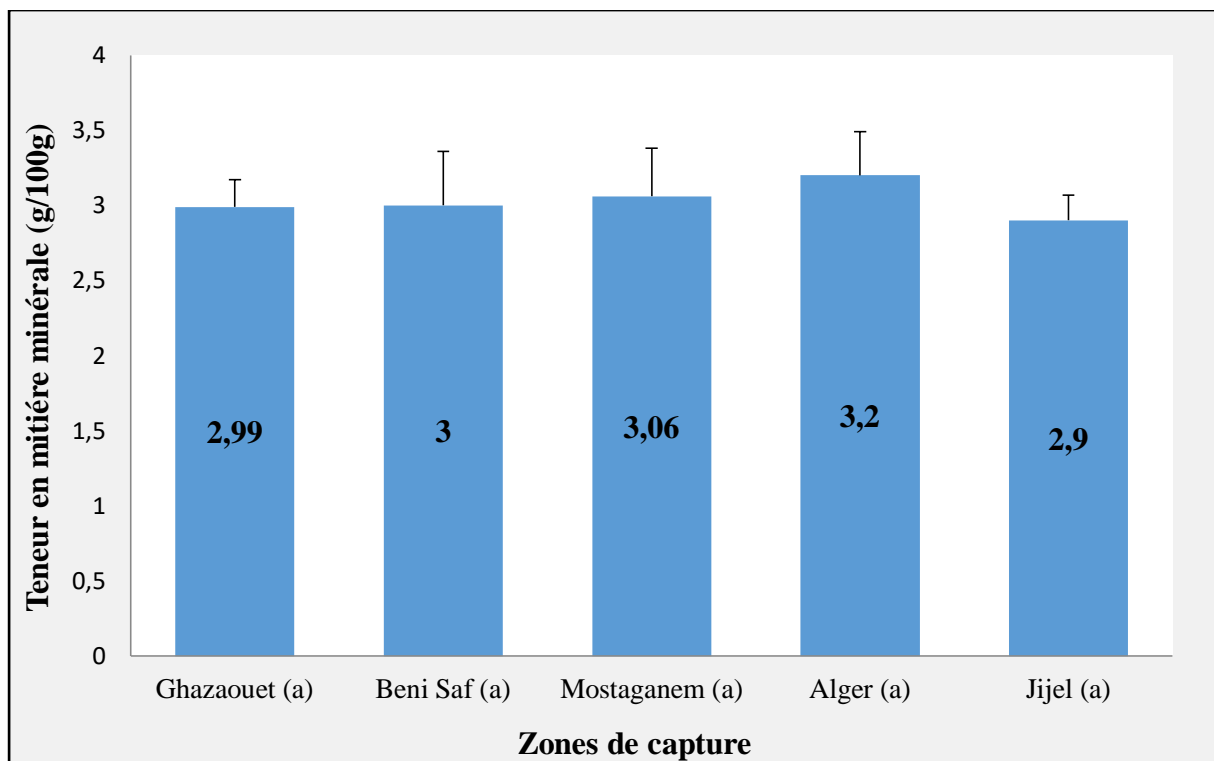


Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type ($n=20$). Les différentes lettres affectées (a, b, c) indiquent un effet significatif du site de capture ($P < 0,05$). MS : Matière Sèche

Figure 13. Teneur en matière sèche des filets de sardine pêchée aux des différents sites de capture de la côte Algérienne, exprimée en $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$

3-4 Matière minérale

L'analyse de variance a révélé que le site de capture ne présente aucune influence statistique sur le taux de cendre (**Figure 14**). Il en découle une teneur en matière minérale plus élevée dans la sardine d'Alger que dans la sardine de Jijel avec une différence évaluée à 10 % ($3.20 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ Vs $2.90 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$). **Nunes et al., (2003)** affirment que le filet du poisson est hautement riche en minéraux, notamment en phosphore, sodium, calcium et magnésium avec une distribution portant en priorité : Potassium > Phosphore > Sodium > Manganèse > Calcium > Zinc > cuivre.



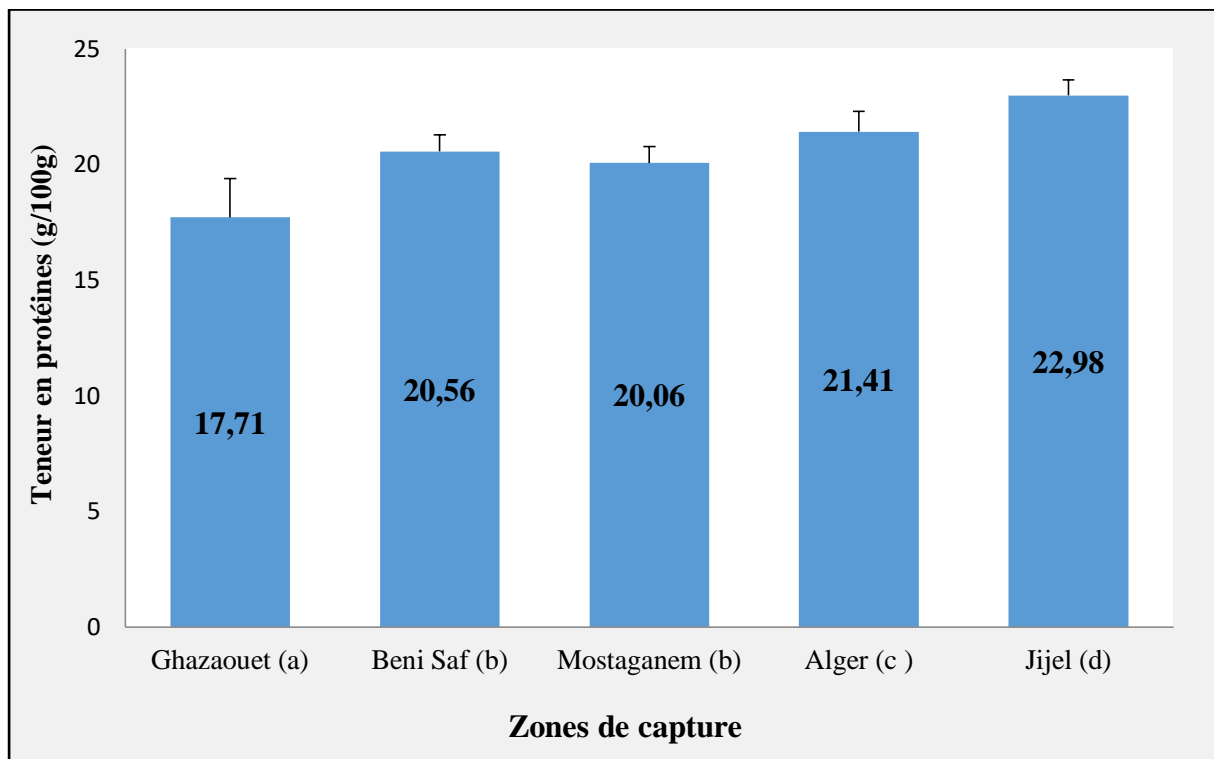
Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type ($n=20$). Les différentes lettres affectées (a, b, c) indiquent un effet significatif du site de capture ($P<0,05$). MM : Matière Minérale

Figure 14. Teneur en matière minérale des filets de sardine capturée dans les différents sites de la côte Algérienne, exprimée en $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$

Les résultats obtenus à travers notre étude laissent montrer que le taux de cendre de e sardine est supérieur à celui décelé par **Caponio et al., (2004)** dans la sardine italienne 2,1 %. Cependant, les résultats obtenus à travers notre travail de recherche restent inférieurs à ceux de **Bouderoua et al., (2011)** qui ont décelé des taux de cendre compris entre 4.11g et $4.41\text{g}/100\text{g}^{-1}$ dans les sardines capturées dans les régions de Mostaganem et Beni Saf.

3-5 Protéines

Les contenus protéiques des différents échantillons de filet laissent observer que la sardine de Jijel présente le taux le plus élevé en protéines ($22.98 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$) ($P < 0,05$). Avec cette concentration, elle surclasse largement la sardine de Ghazaouet, Mostaganem et de Beni Saf (3,27 g, 2,92 g et 2,42 g de différence respectivement) (**Figure 15**). **Robards *et al.*, 1999** ont montré que la teneur en protéines des poissons est globalement stable et indépendante du sexe et de la taille des individus. **Nunes *et al.*, 2003** affirment que le poisson renferme de 17 à 25 % de protéines brutes avec une teneur moyenne de $19 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$. Les protéines de la sardine sont de haute valeur nutritionnelle, renfermant les neuf acides aminés essentiels (**Nunes *et al.*, 2003**), contrairement au saumon, qui présente une teneur très réduite en protéine par rapport à la sardine, notamment en période de migration et de reproduction (**Aksneset *et al.*, 1986**). Enfin, les protéines d'origine marine sont très digestibles en raison de leur faible taux en tissus conjonctifs comparativement aux viandes rouges et blanches (**Nunes *et al.*, 2003**).



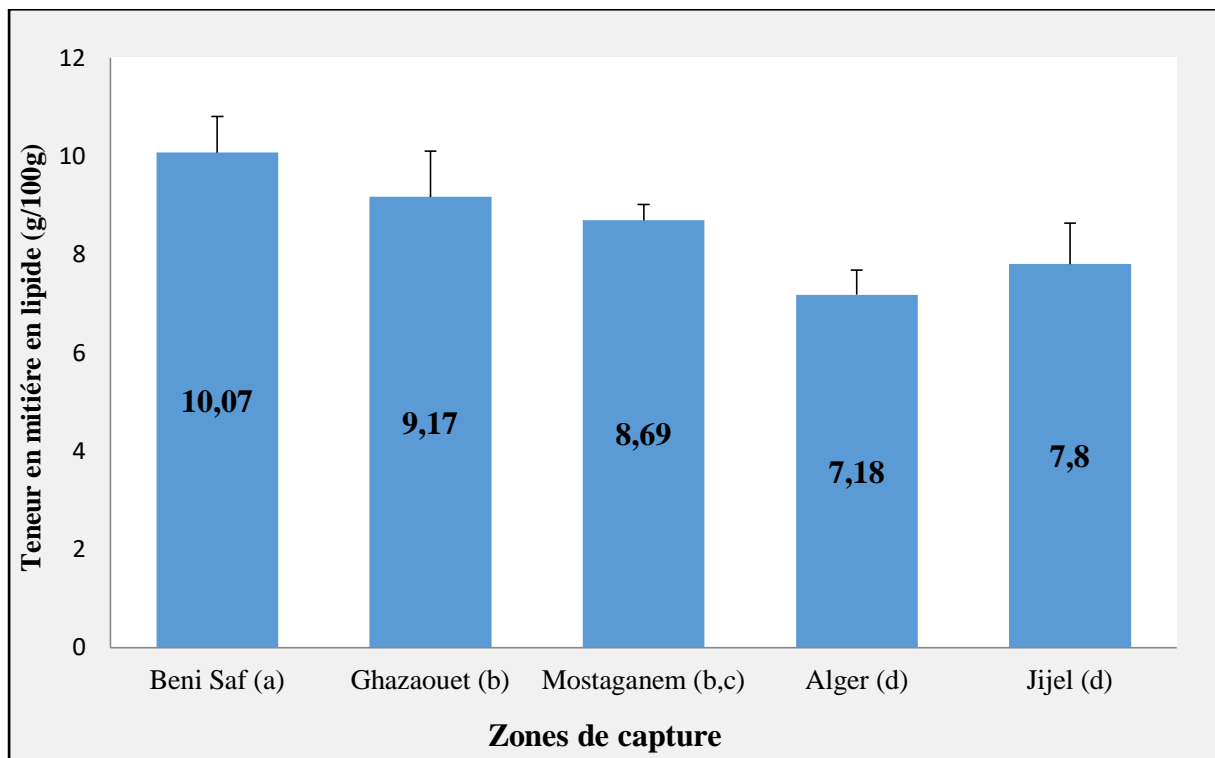
Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type ($n=20$). Les différentes lettres affectées (a, b, c) indiquent un effet significatif du site de capture ($P < 0,05$).

Figure 15. Teneur des protéines contenues dans les filets de sardine capturée dans la côte Algérienne, exprimée en $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$

3-6 - Concentration de la matière grasse

3-6-1 - Lipides totaux

Les teneurs en lipides totaux selon le site de capture sont illustrées dans le **tableau 8** et **la figure 16**. La comparaison des teneurs en lipides dans les différents échantillons de sardine montre une supériorité plus marquée dans les filets de sardine de Beni Saf par rapport aux autres échantillons notamment ceux prélevés à Alger (10.07 Vs 7 g.100g⁻¹). La différence est estimée à environ 1,5 fois ($p < 0,05$).



Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type ($n=3$). Les différentes lettres affectées (a, b, c) indiquent un effet significatif du site de capture ($P < 0,05$).

Figure 16. Teneur en lipides totaux contenus dans les filets de sardine capturée dans la côte Algérienne, exprimée en g.100g⁻¹

En général, la teneur en lipides des poissons est influencée par plusieurs facteurs tels que l'alimentation, l'espèce, la saison et l'origine géographique (**Rasoarahona et al., 2005**). Les teneurs en lipides obtenus à travers notre étude montrent des points de similitudes avec les études réalisées par **Bandarra et al. (1997)**, **Bouderoua et al., (2011)** qui ont fait ressortir des teneurs de 8g.100g⁻¹ et 10.58g.100g⁻¹ dans la sardine brésilienne et algérienne respectivement.

Selon **Body et Vleig, (1989)**, la teneur en lipides du filet dépend aussi de la nature du muscle considéré. Pour les poissons maigres, les muscles sombres (appelés souvent muscles rouges) contiennent environ deux fois plus de lipides que les muscles blancs. Pour les poissons

gras tels que le maquereau (*Scomber australicus*), la teneur en lipides du muscle rouge atteint 19,6 g alors que celle du muscle blanc est estimée à 3,9 g pour 100 g de muscle.

3-6-2 Les acides gras

Le **tableau 5** met en évidence les teneurs (exprimées en % des AG identifiés) de 12 acides gras contenus dans les filets de *Sardina pilchardus* capturée dans la côte Algérienne.

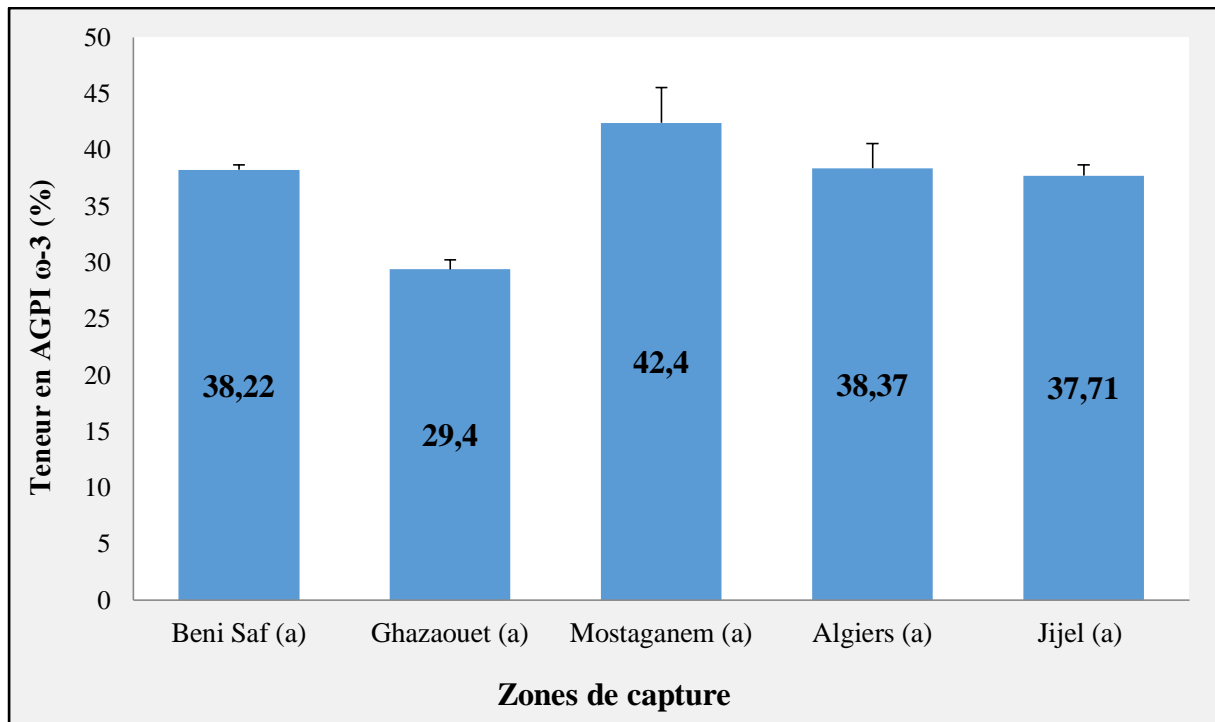
Les pourcentages des différents acides gras se situaient entre 35,50 % et 41,32 % pour la somme des acides gras saturés (AGS), 14,22-22,27 % pour les acides gras mono-insaturés (AGMI) et 36,63-47,96 % pour les acides gras polyinsaturés (AGPI). Les acides gras identifiés laissent observer un profil dominé respectivement par : l'acide palmitique (C16 : 0, 20,10-27,84 %), l'acide palmitoléique (C16 : 1 ω -7, 2,23-6,10 %), l'acide oléique (C18 : 1 ω -9 cis, 5,57-16,07 %), l'acide linoléique (C18 : 2 ω -6, 1,45-5,89 %), l'acide eicosapentaénoïque (EPA, C20 : 5 ω -3, 7,60-15,75 %) et l'acide docosahexaénoïque (DHA, C22 : 6 ω -3, 16,83 -33,42%). Il est également constaté que les pourcentages de ces acides gras changeaient significativement entre les différents sites de capture de *sardina pilchardus* ($p < 0,05$). Selon **Saito et al. (1997)**, les changements de la composition en acides gras du poisson dépendent de la zone de pêche qui reste influencée par les conditions environnementales.

En outre, les proportions d'AGPI (ω -3) (allant de 29,4 % pour la sardine de Ghazaouet à 42,4 % pour la sardine de Mostaganem) (**Figure 17**) étaient supérieures à celles des AGPI (ω -6) (allant de 2,58 % pour la sardine d'Alger à 7,23 % pour la sardine de Ghazaouet) (**Figure 18**). Selon **Lawrence (2013)**, un apport alimentaire élevé en ω -6 AGPI est associé à un risque accru de développement du cancer.

Concernant la somme des AGPI, le contenu le plus élevé a été observé dans la sardine capturée à Mostaganem (47,96 %). Selon **Corazze, (1999)**, les AGPI n-3 représentent jusqu'à 36 % de l'ensemble des acides gras contenus dans le poisson, une valeur qui demeure supérieure à celles qui caractérisent la viande de porc (1 %), la viande de bœuf (2 %) et la viande de poulet (4 %). Cette richesse en AGPI n-3 est liée au régime alimentaire à base de plancton composé essentiellement de 40 % d'AGPI n-3 (**Sergent et al., 1989**). Dans cette étude, l'acide gras saturé le plus abondant était l'acide palmitique (C16 : 0) avec une contribution allant de 56,23 % (sardine de Mostaganem) à 67,37 % (sardine de Ghazaouet) des AGS totaux (**Figure 19**). Nos résultats corroborent ceux de **Özogul et Özogul (2007)** qui ont dégagé un pourcentage en acide palmitique (C16 : 0) de l'ordre de 20,5 % avec une contribution de 52,97 % des AGS totaux dans la sardine pêchée dans les côtes turques.

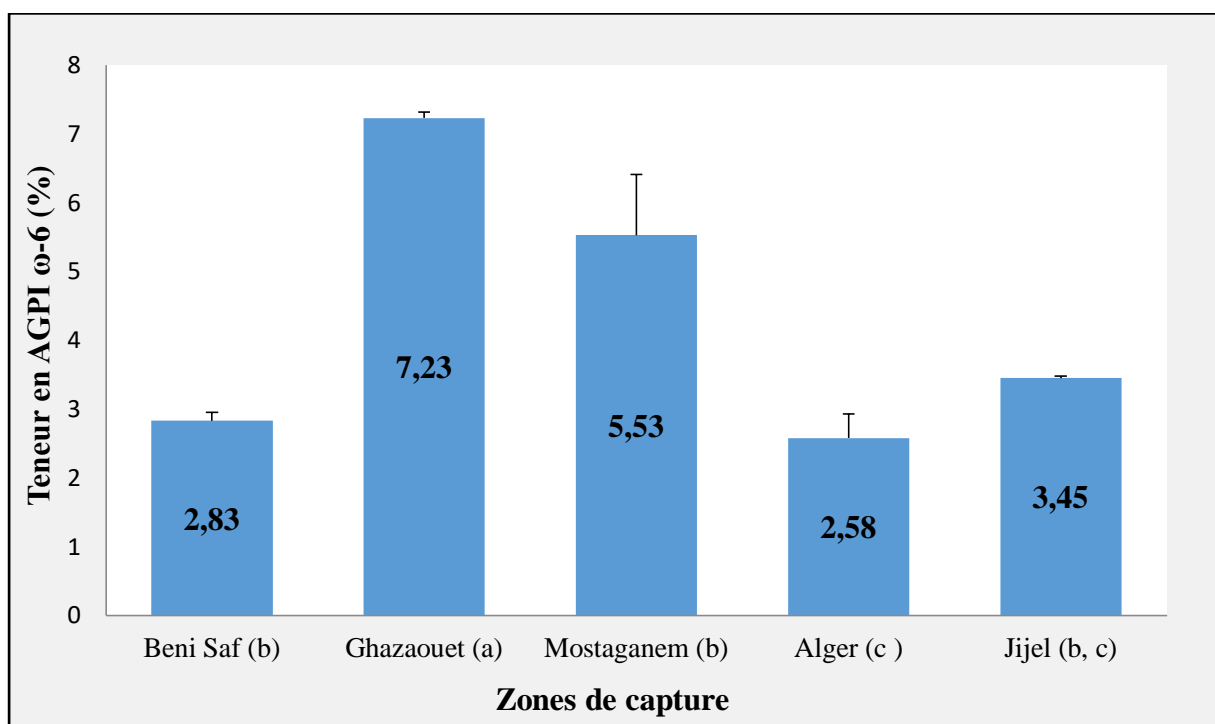
Tableau 5. Lipides totaux (en g.100g⁻¹) et profil d'acides gras des filets de *Sardina pilchardus* capturée dans la côte algérienne (en %).

	Alger	Mostaganem	Jijel	Beni Saf	Ghazaouet
TL	7.18 ± 0,50 ^d	8.69 ± 0,32 ^{b,c}	7.80 ± 0,84 ^d	10.07 ± 0,74 ^a	9.17 ± 0,93 ^b
C14:0	3.13 ± 0,19 ^b	3.06 ± 0,18 ^b	2.55 ± 0,40 ^b	6.73 ± 0,11 ^a	6.47 ± 0,48 ^a
16:0	27.27 ± 0,67 ^b	20.10 ± 1,83 ^c	27.63 ± 0,42 ^a	23.79 ± 0,23 ^b	27.84 ± 0,91 ^a
16:1 (ω-7)	2.23 ± 0,28 ^b	2.98 ± 0,16 ^b	2.57 ± 0,07 ^b	6.10 ± 0,34 ^a	5.79 ± 0,06 ^a
18:0	9.85 ± 4,94 ^a	12.58 ± 2,72 ^a	5.56 ± 0,03 ^a	4.98 ± 0,10 ^a	6.74 ± 0,16 ^a
18:1 cis (ω-9)	13.14 ± 0,83 ^b	5.57 ± 0,79 ^e	16.07 ± 0,20 ^a	7.18 ± 0,31 ^d	8.82 ± 0,32 ^c
18:1 trans (ω-9)	1.47 ± 0,17 ^d	2.44 ± 0,26 ^d	2.33 ± 0,05 ^c	3.62 ± 0,03 ^b	4.08 ± 0,06 ^a
18:2 (ω-6)	2.12 ± 0,23 ^b	2.83 ± 0,42 ^b	2.75 ± 0,02 ^c	1.45 ± 0,10 ^b	5.89 ± 0,08 ^a
18:3 (ω-3)	2.29 ± 1,15 ^a	1.13 ± 0,27 ^a	1.40 ± 0,01 ^a	1.09 ± 0,03 ^a	1.23 ± 0,02 ^a
20:1 (ω-6)	1.18 ± 0,09 ^c	3.23 ± 0,47 ^b	1.30 ± 0,04 ^b	3.72 ± 0,19 ^a	1.45 ± 0,67 ^b
20:4 (ω-6)	0.46 ± 0,12 ^c	2.73 ± 0,46 ^a	0.70 ± 0,01 ^c	1.38 ± 0,02 ^b	1.34 ± 0,01 ^{a,b}
20:5 (ω-3) EPA	7.74 ± 0,51 ^c	7.85 ± 1,74 ^c	7.60 ± 0,13 ^c	15.75 ± 0,15 ^a	11.34 ± 0,06 ^b
22:6 (ω-3) DHA	28.34 ± 0,53 ^b	33.42 ± 1,12 ^c	28.71 ± 0,82 ^a	21.38 ± 0,27 ^d	16.83 ± 0,74 ^e
Total AGS	40.25 ± 5,80 ^{a,b}	35.74 ± 4,73 ^b	35.74 ± 0,85 ^b	35.5 ± 0,44 ^b	41.32 ± 1,55 ^a
Total ω-9	14.61 ± 1,00 ^b	8.01 ± 1,05 ^d	18.4 ± 0,25 ^a	10.8 ± 0,34 ^c	12.9 ± 0,38 ^b
Total AGMI	18.02 ± 1,37 ^c	14.22 ± 1,68 ^d	22.27 ± 0,36 ^a	20.62 ± 0,87 ^b	20.14 ± 1,11 ^{a,b}
Total ω-3 AGPI	38.37 ± 2,19 ^a	42.40 ± 3,13 ^a	37.71 ± 0,96 ^a	38.22 ± 0,45 ^a	29.4 ± 0,82 ^a
Total ω-6 AGPI	2.58 ± 0,35 ^c	5.53 ± 0,88 ^b	3.45 ± 0,03 ^{b,c}	2.83 ± 0,12 ^b	7.23 ± 0,09 ^a
Total AGPI	40.95 ± 2,54 ^c	47.96 ± 4,01 ^d	41.16 ± 1,00 ^a	41.05 ± 0,57 ^b	36.63 ± 0,91 ^{b,c}
AGPI/AGS	1.01 ± 0,43 ^{b,c}	1.34 ± 0,84 ^a	1.15 ± 1,17 ^b	1.15 ± 1,29 ^b	0.88 ± 0,58 ^c
ω-6/ω-3	0.06 ± 0,15 ^d	0.13 ± 0,28 ^b	0.09 ± 0,03 ^{c,d}	0.07 ± 0,26 ^{b,c}	0.24 ± 0,10 ^a
At*	0.67 ± 0,10 ^b	0.52 ± 0,21 ^{b,c}	0.59 ± 0,31 ^b	0.82 ± 0,51 ^a	0.94 ± 0,11 ^a



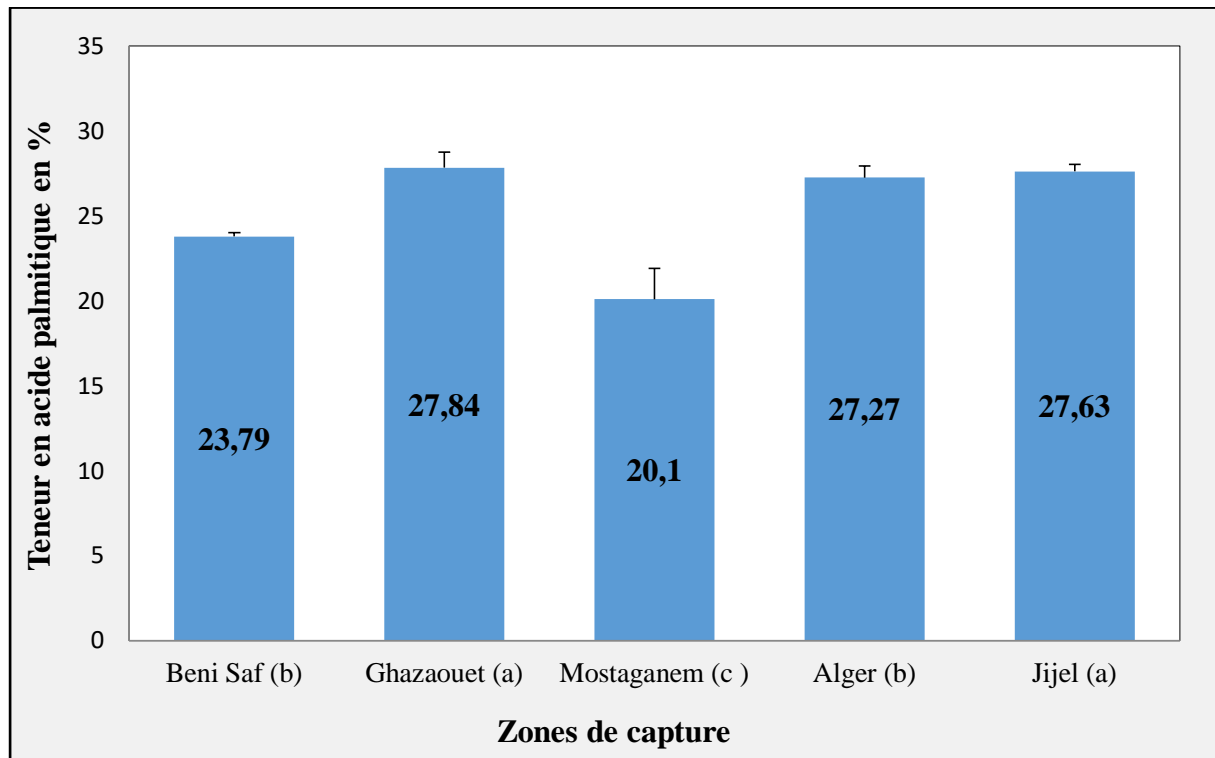
Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type ($n=3$). Les différentes lettres affectées (a, b, c) indiquent un effet significatif du site de capture ($P<0,05$).

Figure 17. Teneur en acides gras polyinsaturés (AGPI ω -3) contenus dans les filets de sardine capturée dans la côte Algérienne, exprimée en %.



Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type ($n=3$). Les différentes lettres affectées (a, b, c) indiquent un effet significatif du site de capture ($P<0,05$).

Figure 18. Teneur en acides gras polyinsaturés (AGPI ω -6) contenus dans les filets de sardine capturée dans la côte Algérienne, exprimée en %.

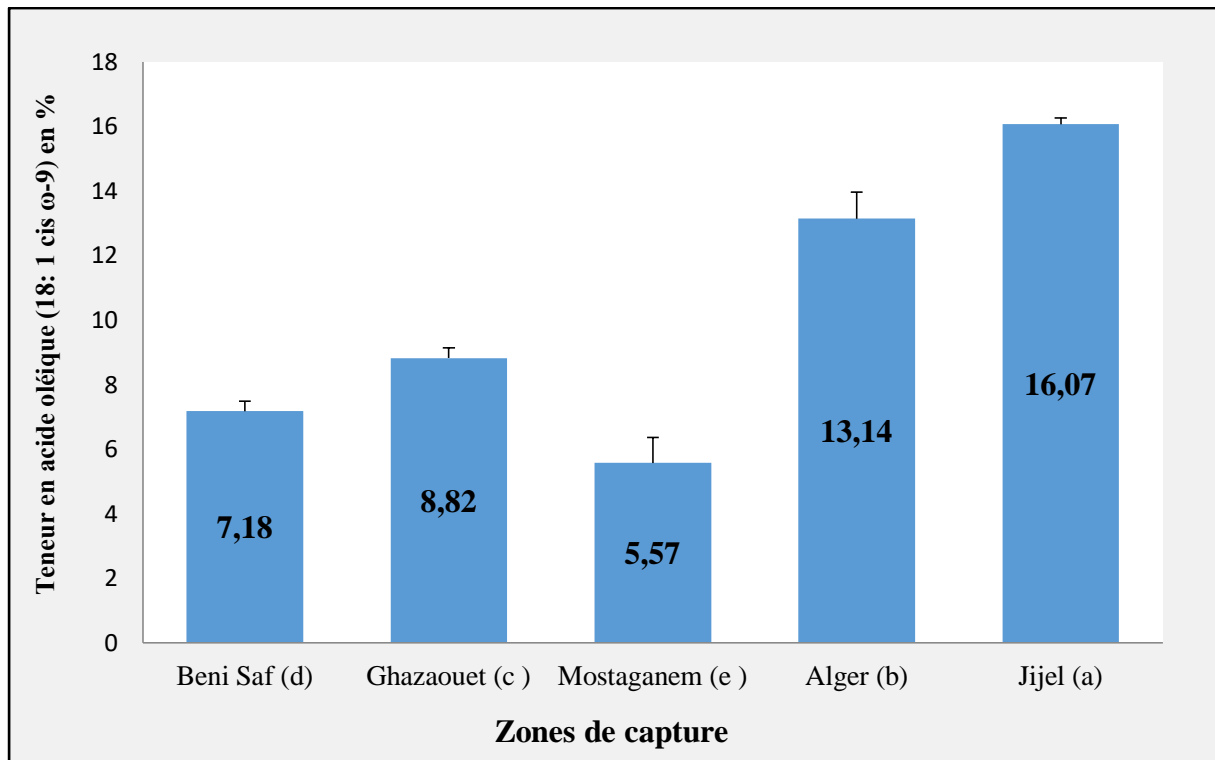


Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type ($n=3$). Les différentes lettres affectées (a, b, c) indiquent un effet significatif du site de capture ($P<0,05$).

Figure 19. Teneur en acides palmitique (C16 : 0) contenus dans les filets de sardine capturée dans la côte Algérienne, exprimée en %.

L'acide oléique (18 : 1 cis ω -9) était le plus représenté des AGMI totaux, en particulier dans la sardine d'Alger (72,91 % du total des AGMI) et de Jijel (72,15 % du total des AGMI) (**Figure 20**). Le taux élevé en C18 :1 était en concordance avec les résultats d'**Ackman (1995)** qui a remarqué que le principal AGMI détecté dans la sardine était l'acide oléique. Les résultats de notre expérimentation sont comparables à ceux de **Leonardis et Maccrola, (2004)** ; **Saglik et Imre, (2001)** qui ont fait ressortir des concentrations importantes en acide oléique dans *Spicara smaris* de la méditerranée (le picarel). Selon **Durazo-Beltran et al., (2004)** les AGMI sont mobilisés les premiers après les acides gras saturés. Cette sélection préférentielle serait motivée par la nécessité de maintenir l'intégrité des cellules et la fluidité membranaire.

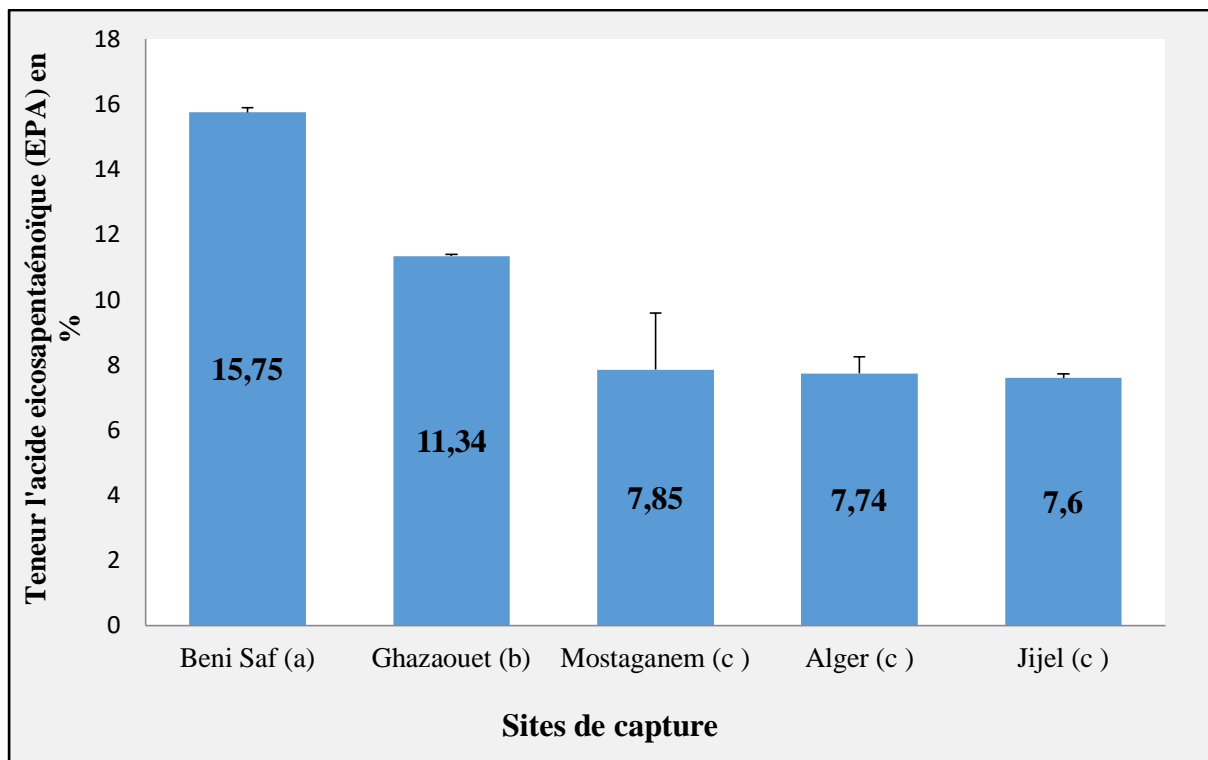
De plus, l'augmentation des teneurs en lipides du filet induit un accroissement des teneurs des AGMI, qui s'incorporent préférentiellement dans les réserves de triacylglycérol (**Weber et al., 2003**).



Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type ($n=3$). Les différentes lettres affectées (a, b, c, d, e) indiquent un effet significatif du site de capture ($P<0,05$).

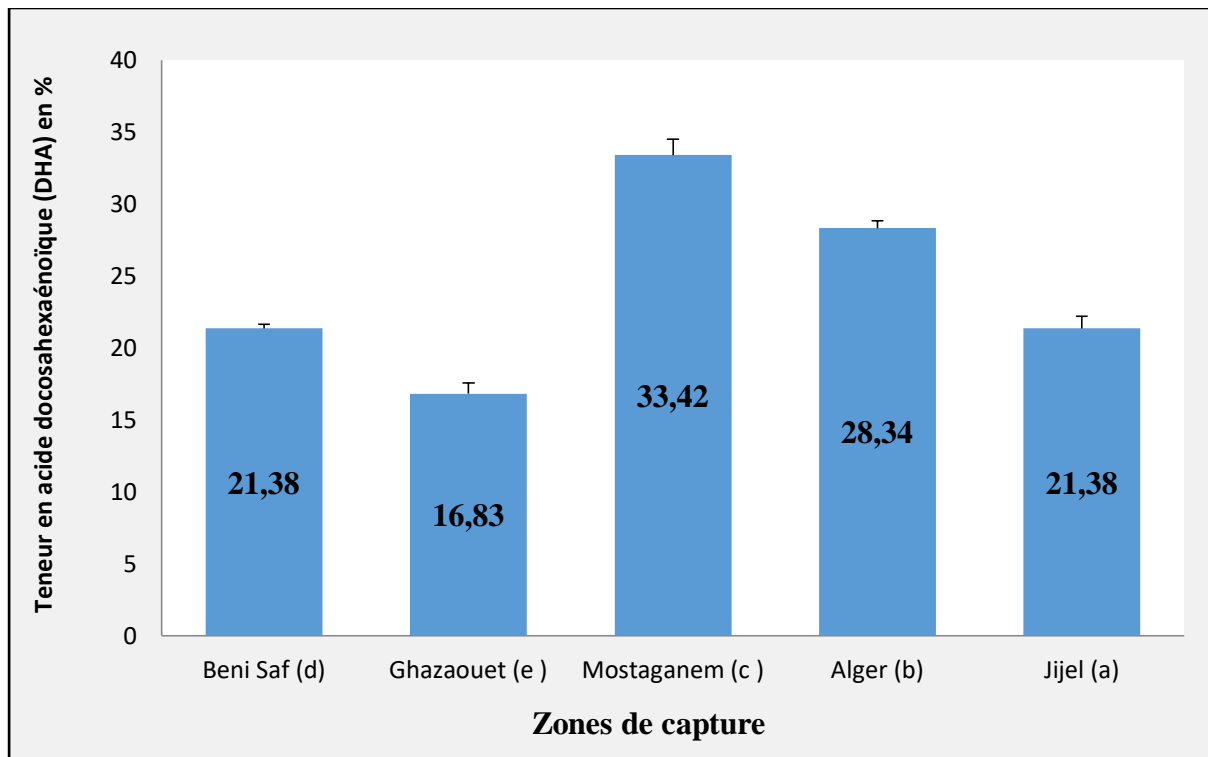
Figure 20. Teneur en acides oléique (C18 : 1 cis ω -9) contenus dans les filets de sardine capturée dans la côte Algérienne, exprimée en %

Pour ce qui est des AGPI, les principaux acides gras identifiés étaient l'acide eicosapentaénoïque (EPA, C20 : 5 ω -3) (**Figure 21**) et l'acide docosahexaénoïque (DHA, C22 : 6 ω -3) (**Figure 22**). Les teneurs en EPA les plus élevées ont été décelées dans les sardines de Beni saf et de Ghazaouet avec une contribution de l'ordre de 38,36 % et de 31 % du total des AGPI ($p < 0,05$). Cependant, les apports de DHA étaient similaires dans les sardines d'Alger, de Mostaganem et de Jijel (69 % du total des PUFA) alors que les sardines de Beni Saf et de Ghazaouet ont laissé observer des contributions inférieures de l'ordre de 52 % et de 46 % du total des AGPI, respectivement. L'EPA est l'acide gras essentiel le plus important de la série n-3 dans l'alimentation humaine, car il est le précurseur des eicosanoïdes de la série n-3 (**Chen et al., 1995**).



Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type ($n=3$). Les différentes lettres affectées (a, b, c) indiquent un effet significatif du site de capture ($P<0,05$).

Figure 21. Teneur en acides eicosapentaénoïque (EPA, C20 : 5 ω -3) contenus dans les filets de sardine capturée dans la côte Algérienne, exprimée en %.

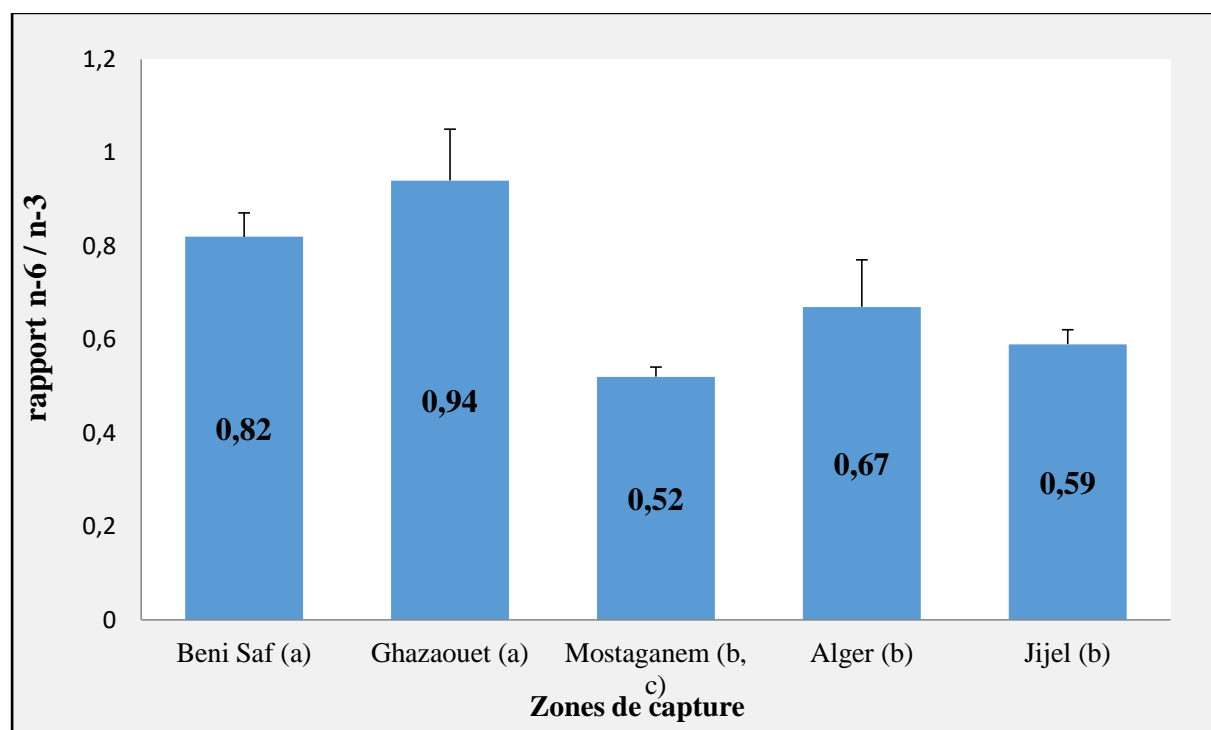


Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type ($n=3$). Les différentes lettres affectées (a, b, c, d, e) indiquent un effet significatif du site de capture ($P<0,05$).

Figure 22. Teneur en acides docosahexaénoïque (DHA, C22: 6 ω -3) contenus dans les filets de sardine capturée dans la côte Algérienne, exprimée en %.

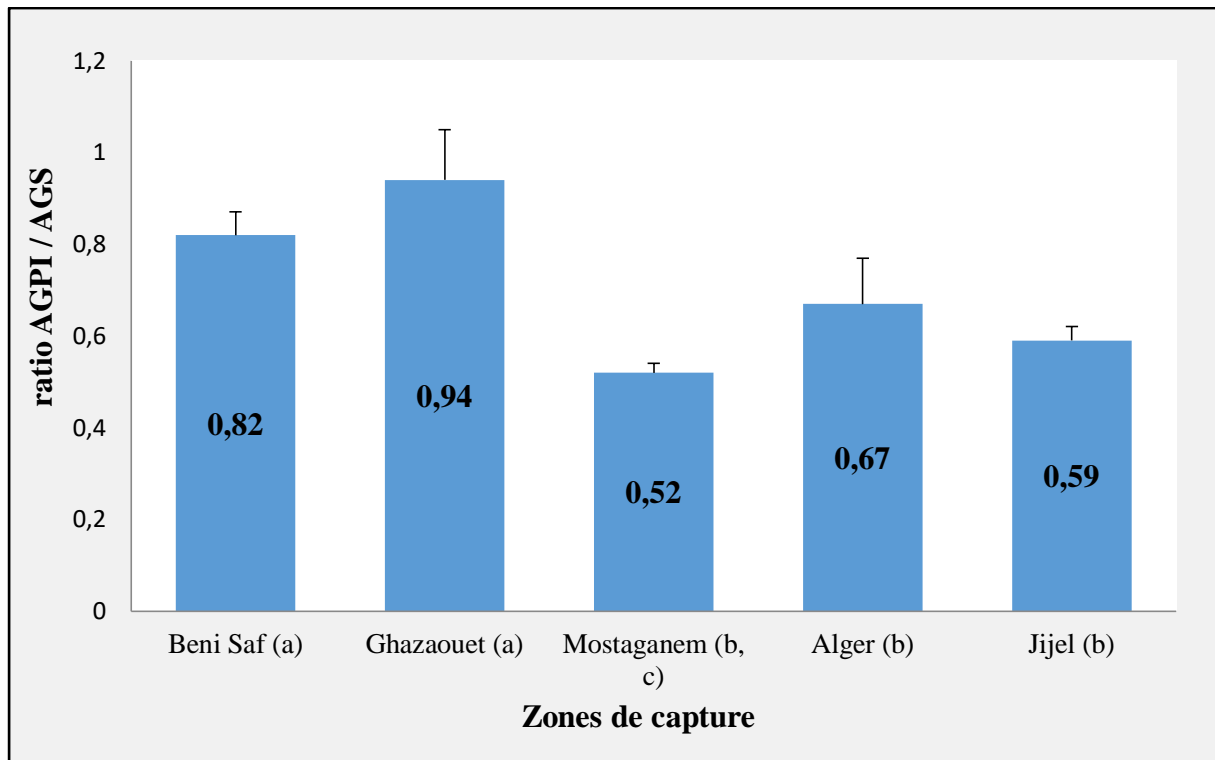
Il a été rapporté que le DHA participe considérablement dans la diminution de la concentration du cholestérol dans le plasma (Childs, King et Knopp, 1990). Les proportions de DHA obtenues à travers notre étude sont nettement supérieures à celles trouvées par Boudroua et al. (2011) dans la sardine capturée dans la côte algérienne (56.22 % du total des AGPI). D'après Watanabe et al. (1991), le DHA est plus efficace que l'EPA en tant qu'acide gras essentiel ; ce qui améliore la valeur santé de la sardine. En outre, cette recherche a noté une diminution de l'EPA au détriment de DHA. Des résultats similaires ont été obtenus par Boudroua et al. (2011) avec des taux de l'ordre de 9,85 % pour l'EPA et de 26,66 % pour le DHA.

Concernant le rapport ω -6/ ω -3, le site de capture affecte significativement ce paramètre ($p < 0,05$) avec des valeurs allant de 0,06 (Sardine d'Alger) à 0,24 (Sardine de Ghazaouet) (Figure 23). En même temps, les ratios AGPI/AGS détectés dans les filets de sardine de Mostaganem (1,13), de Beni saf et de Jijel (1,15) étaient les plus élevés, tandis que les valeurs les plus basses étaient enregistrées dans la sardine d'Alger (1,01) et de Ghazaouet (0,88) (Figure 24). Les valeurs AGPI/AGS obtenues dans ce travail de recherche (0.88-1.13) restent supérieures à celle enregistrée par Özogul et Özogul (2007) dans *Sardinella aurita* (0.8).



Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type ($n=3$). Les différentes lettres affectées (a, b, c, d) indiquent un effet significatif du site de capture ($P < 0,05$).

Figure 23. Rapport ω -6/ ω -3 des filets de sardine capturée dans la côte Algérienne.



Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type ($n=3$). Les différentes lettres affectées (a, b, c, d) indiquent un effet significatif du site de capture ($P<0,05$).

Figure 24. Rapport AGPI/AGS des filets de sardine capturée dans la côte Algérienne.

3-7- Évaluation toxicologique de *Sardina pilchardus*

3-7-1-Introduction

Les écosystèmes aquatiques sont souvent plus susceptibles d'être pollués par des métaux lourds, une détérioration générale de ces écosystèmes a été identifiée dans les dernières décennies (Sivaperumal et al., 2007). Les organismes aquatiques, y compris les poissons sont constamment exposés à des produits chimiques tels que les métaux lourds dans des eaux polluées (Aurélié, 2004).

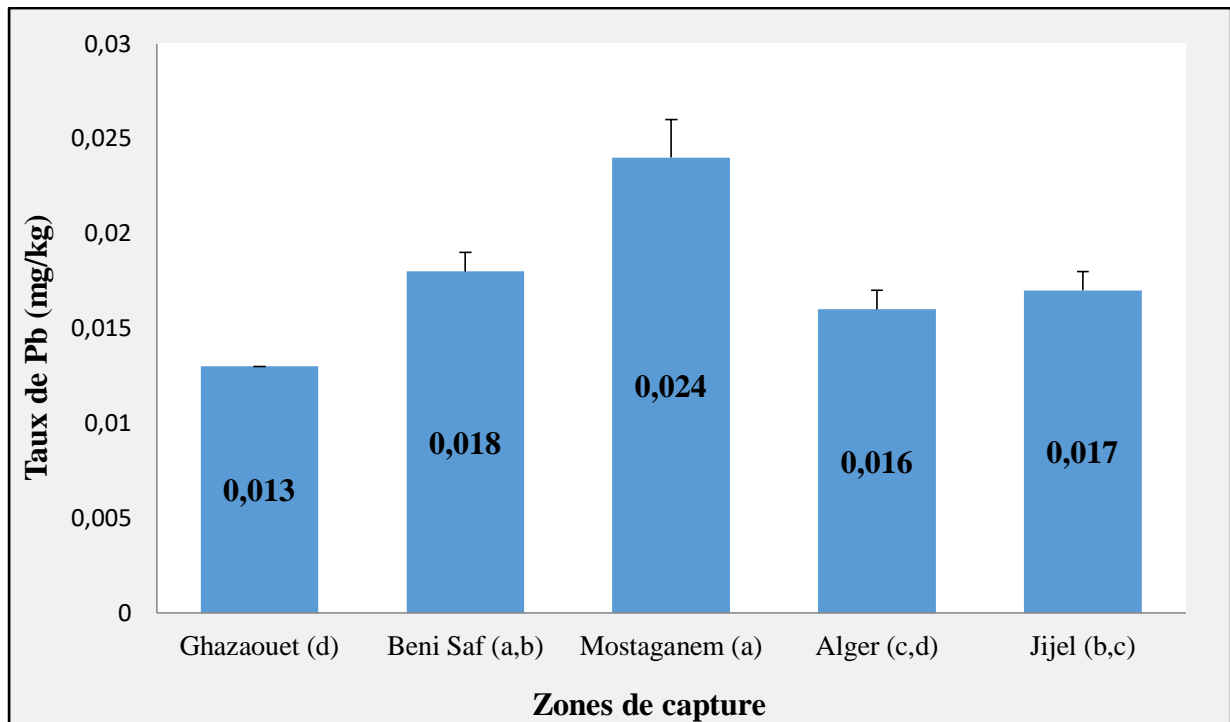
Les poissons sont largement utilisés comme espèces sentinelles de la contamination dans le milieu aquatique. Les poissons sont une partie importante de l'alimentation humaine et il n'est donc pas surprenant que de nombreuses études ont été menées sur la pollution par les métaux chez différentes espèces de poissons comestibles (Lewis et al., 2002). Généralement, l'analyse des concentrations des métaux lourds dans les tissus de poissons doit prendre en compte l'influence possible des variables telles que la taille corporelle, l'âge et la saison (Rotchell et al., 2001).

3-7-2- Métaux lourds

Les figures 25 et 26 montrent les concentrations du plomb et du mercure décelés dans les filets de sardine (*Sardina pilchardus*) capturés au niveau des différents sites de la côte algérienne. Dans ce travail de recherche, les teneurs en plomb varient de 0,013 mg/kg (Sardine de Ghazaouet) à 0,024 mg/kg (Sardine de Mostaganem) avec une différence estimée à environ 45 % ($P < 0,05$). Pour l'organisme humain, les éléments essentiels tels que le cuivre (Cu), le fer (Fe) et le zinc (Zn) sont nécessaires en quantités traces pour diverses réactions biochimiques et enzymatiques alors que le cadmium (Cd) et le plomb (Pb) sont toxiques et ne présentent aucune fonction biologique (Miedico et al., 2015). Selon Cirillo et al, (2010), les métaux lourds présentent des effets pathogènes avérés. Chez les mammifères et selon le même auteur, le chrome (Cr) est un élément à effets mutagènes et considéré comme carcinogène du système circulatoire.

Il importe de noter que le plomb (Pb) peut être ingéré directement par l'homme ou bien indirectement via les poissons (Olaifa et al., 2003). Yabanli., (2013) a rapporté une concentration moyenne de plomb de l'ordre de 0,14 mg/kg dans la sardine d'Izmir (Turquie). Selon le ministère sud-africain de la Santé, la concentration maximale de plomb autorisée dans le poisson frais et transformé est de 0,5 mg/kg, cependant la Commission européenne (2006) tolère un maximum de 0,3 mg/kg (Bosh et al., 2015). Les résultats obtenus à travers notre étude sont supérieurs à ceux de Yusa et al., (2008) et Guerin et al., (2011) qui ont décelé des taux en plomb de l'ordre de 0,05 mg/kg et de 0,04 mg/kg dans la sardine espagnole et française respectivement. En méditerranée, les niveaux moyens de plomb varient selon plusieurs auteurs. Selon, Çogun et al., (2005), les concentrations de ce métal sont comprises entre 14-26,6 mg.kg⁻¹ dans les parties comestibles de l'espèce *S. solea*. Canlı et al., (2001) ont détecté des taux moins importants dans la chair de *S. pilchardus* (5.28-7.67 mg.kg⁻¹).

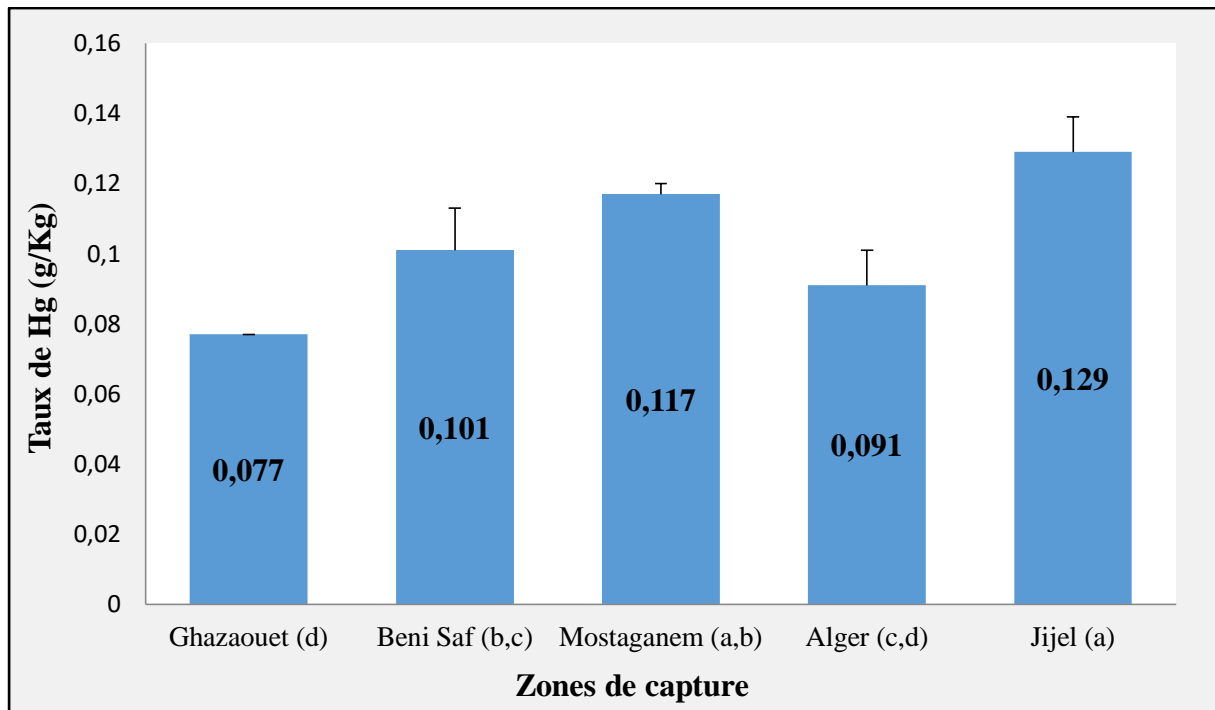
En outre, le mercure peut être trouvé dans la chaîne alimentaire humaine notamment dans les crustacés (Plessi et al., 2001). Dans notre étude, les niveaux de mercure étaient compris dans un intervalle allant de 0,077 mg/kg (sardine de Ghazaouet) à 0,129 mg/kg (sardine de Jijel) avec une différence de 40 % entre ces deux sites ($P < 0,05$). Nos résultats sont nettement inférieurs de ceux enregistrés par Miedico et al., (2015) et Chen et al., (2011) qui ont rapporté des taux de mercure allant de 0,344 à 0,557 mg.kg⁻¹ et de l'ordre de 0.786 mg.kg⁻¹ dans les poissons bleus dont la sardine italienne et dans l'espèce *Thunnus obesus* (Thon).



Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type (n=20). Les moyennes affectées d'une lettre différente dans une même ligne indiquent un effet significatif du site de capture ($P < 0,05$). Pb : Plomb

Figure 25 : Concentrations du Pb (Plomb) dans les filets de sardines capturées dans la côte algérienne, exprimées en (mg/kg de filets de sardine).

Selon les travaux de **Hernandez et al., (1990)**, la sardine de la méditerranée présente un taux de mercure équivalent à 0,14 mg/kg. De plus, il est important de souligner que l'accumulation du mercure est intimement liée à celle du méthyl-mercure, qui est la forme la plus toxique de mercure (**Park et al., 2011, Squadrone et al., 2013**). Dans la littérature, la teneur maximale en mercure enregistrée dans la sardine était estimée à 0,09 mg/kg (**Shiber, 2010**). Dans cette étude, la concentration de mercure dans les différents échantillons de sardines a été jugée supérieure aux limites légales ; à l'exception de la sardine de Ghazaouet. Enfin, la consommation constante des poissons est fortement recommandée en raison des avantages nutritionnels qui les caractérisent mais sans pour autant négliger l'aspect anti-nutritionnel émanant des différents produits toxiques en particulier les métaux lourds.



Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type (n=20). Les moyennes affectées d'une lettre différente dans une même ligne indiquent un effet significatif du site de capture ($P < 0,05$). Hg : Mercure

Figure 26 : Concentrations du Hg (Mercure) dans les filets de sardines capturées dans la côte algérienne, exprimées en (mg/kg de filets de sardine).

Chapitre 2

*Effets des modes de cuisson et du
réchauffage sur la qualité nutritionnelle
de *Sardina pilchardus**

1- Introduction

Le traitement de la viande par la cuisson permet d'améliorer sa qualité, mais pourra aussi conduire à l'oxydation de ses lipides et de ses protéines avec un impact négatif sur la qualité nutritionnelle (**Gatellier et al., 2009**) et la qualité sensorielle (**Haak et al., 2006**) et la valeur santé. Le mode de cuisson influence la quantité et la qualité de la matière organique. On assiste à une modification de la composition en acides gras du produit fini par rapport à la composition de la matière première ainsi que le rapport des acides gras entre eux (**Bourre., 2003**). Selon **Gandemer et Duchéne, (2015)** ; il existe trois principaux types de cuisson qui sont largement utilisés, en l'occurrence la cuisson à sec qui concerne l'action de rôtir, sauter ou griller induisant de ce fait une perte d'eau en grande quantité ; la cuisson humide (dans l'eau, à la vapeur, en papillote ou en sauce) et enfin la friture qui nécessite dans la plupart des cas l'utilisation des huiles alimentaires.

En outre, la conservation par le froid, qui comprend la réfrigération et la congélation, joue un rôle primordial dans la préparation et l'entreposage des viandes et poissons (**Balde., 2008**). Les produits réfrigérés constituent, la grande majorité des denrées alimentaires animales consommées dans le monde (**Balde., 2008**). Cependant, les différentes techniques de conservation des viandes et poissons par le froid entraînent des modifications physiques, microbiologiques et biochimiques (**Balde., 2008**) en altérant essentiellement les acides gras ainsi que les protéines par le biais de plusieurs séries de processus oxydatifs. Ces modifications sont surtout liées à l'activité de l'eau qui se traduit par les variations de la teneur en eau du tissu musculaire (**Moning., 2003**).

Dans cette optique, l'objectif de la présente étude de recherche consiste à étudier les effets de quelques traitements thermiques (cuisson et réchauffage) et de conservation (congélation) sur les qualités nutritionnelles des filets de *Sardina pilchardus* pêchée dans les côtes Algériennes et déduire leurs impacts sur la valeur santé de cette même espèce de poisson.

2- Matériels

2-1- Prélèvement des échantillons de sardine

À partir des différents échantillons de sardines prélevées des différentes zones de capture (Ghazaouet, Beni Saf, Mostaganem, Alger et Jijel), 300 spécimens de sardines (*Sardina pilchardus*), de 13 à 15 cm de longueur et de 16 à 18 g de poids en moyenne ont été prélevés. Les têtes, les arêtes, les viscères, et les queues des sardines ont été enlevés dans le but d'obtenir des filets. Ces derniers ont été ensuite répartis d'une manière aléatoire en 10 groupes homogènes de 30 filets chacun. Un groupe a été maintenu à l'état frais et cru afin de servir comme témoin (T). Les 9 groupes restants (270 filets) ont été scindés équitablement en trois lots distincts (chaque lot comprend 3 groupes de 30 filets de sardine) pour subir enfin différents modes de cuisson.

3- Méthodes

3-1- Modes de cuisson

La cuisson est le stade ultime de préparation des aliments avant leurs consommations. Le mode de cuisson, sa durée et son intensité sont adaptés à l'origine et à la qualité des viandes et poissons. Dans notre expérimentation, 3 modes de cuisson ont été retenus pour chaque lot, à savoir :

- **Une friture (F)** pendant 4 min à 180 °C en utilisant l'huile de tournesol (1^{er} groupe de chaque lot)



Figure 27 : Friture des filets de sardine

- **Une cuisson au four (CF)** pendant 20 minutes à 200 °C (2eme groupe de chaque lot)



Figure 28 : Cuisson au four des filets de sardine

- **Et une grillade (G)** pendant 3 minutes sur une grille en acier inoxydable à une température de 350 °C (3eme groupe de chaque lot)



Figure 29 : Grillade des filets de sardine

Après cuisson, les filets de sardine ont été conditionnés dans un film d'aluminium, étiquetés et répartis comme suit (**Figure 30**) :

- Les filets témoins (sans cuisson) et ceux du premier lot (Lot 1) ont subi des analyses biochimiques instantanées.
- Les filets du deuxième lot (Lot 2) ont été conservés à -18 °C pendant 45 jours ensuite réchauffés à l'aide d'un four conventionnel.
- Les filets du troisième lot (Lot 3) ont été conservés à -18 °C pendant 45 jours ensuite réchauffés aux micro-ondes.

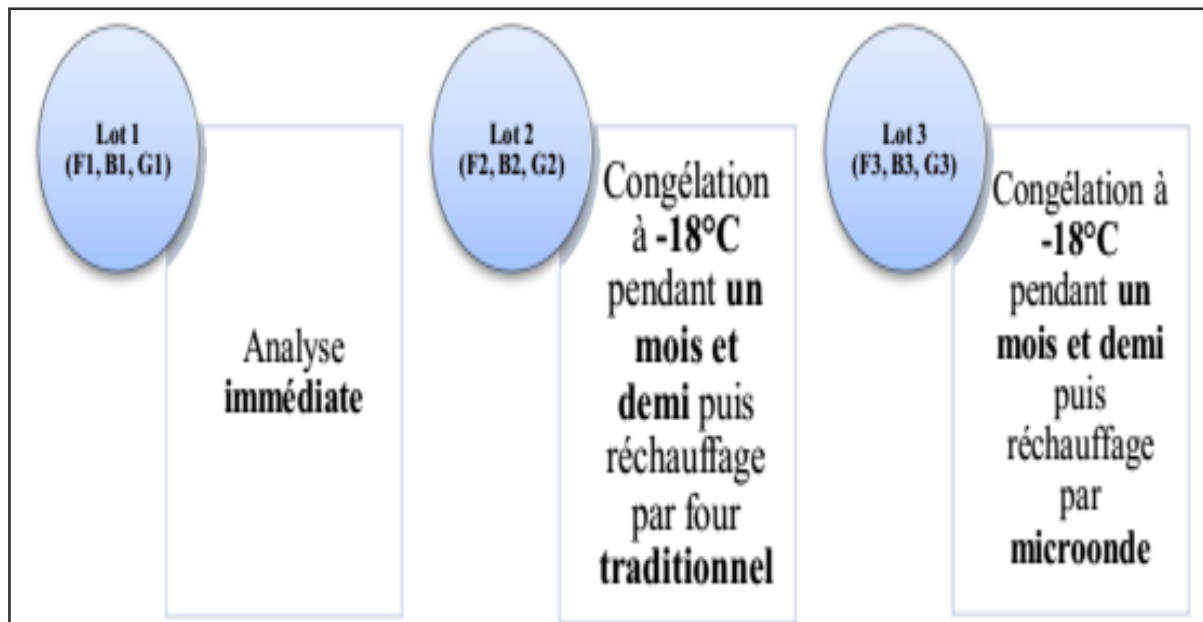


Figure 30 : Répartition des différents lots de filet de sardine après cuisson

3-2- Techniques analytiques

Il importe de noter que l'ensemble des analyses et dosages de cette partie ont été effectués au niveau du laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition de l'université de Mostaganem durant l'année 2015. En outre, la détermination des teneurs en matière sèche et minérale (**AFNOR., 1985**) ; en protéines (**Kjeldhal., 1883**) et en lipides totaux (**Folch., 1957**) ont fait appel aux différentes techniques décrites précédemment dans le chapitre 1 de la partie expérimentale (Caractérisation nutritionnelle de *Sardina pilchardus* capturée dans les côtes Algérienne).

3-2-1- Estimation du degré de peroxydation des lipides des filets de sardine par la méthode TBA-rs

Dans ce travail de recherche, l'objectif de la méthode « TBA-rs » est de mettre en exergue l'effet de cuisson et l'effet du couple congélation-réchauffage sur l'oxydation des lipides. Les filets de *Sardina pilchardus* ayant subis trois modes de cuisson différents ont fait l'objet de ces analyses afin d'apprécier le degré d'oxydation des composés biochimiques contenus dans les filets de sardine notamment celles des lipides. Les produits secondaires de l'oxydation des lipides les plus couramment dosés sont les aldéhydes. L'acide thiobarbiturique (TBA) réagit avec le malondialdéhyde (MDA) pour former un complexe de couleur rose et/ou jaune possédant un taux d'absorption maximal à une longueur d'onde de 532 nm. Il réagit également avec d'autres aldéhydes résultants de l'oxydation des AGPI (acides gras polyinsaturés) à longue chaîne.

Pour ce faire, des échantillons de 2 grammes ont été placés distinctement dans des tubes 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 de 20 000 tpm. Le broyat est passé à travers un papier filtre afin d'obtenir un filtrat. 2 ml de ce filtrat sont additionnés à 2 ml d'acide thiobarbiturique. La concentration des substances réactives au TBA (TBArS), exprimée en équivalent MDA est évaluée par la lecture de l'absorbance au spectrophotomètre visible des TBA-rs extraits des échantillons par l'acide trichloracétique (TCA) (Genot., 1996).

4- Traitement statistique

Les résultats obtenus ont fait l'objet d'une analyse de variance suivie d'une comparaison des moyennes en appliquant le test de Duncan (IBM SPSS software® version 20)

5- Résultats et discussion

5-1- Effets de cuisson sur les composés biochimiques de *Sardina pilchardus*

Sur le plan nutritionnel, les rendements à la cuisson procurent une indication directe sur les pertes et les gains en composés biochimiques contenus dans les viandes et poissons d'une part et leurs modifications en d'autres part. Il importe de noter que les protéines ainsi que les lipides sont les plus vulnérables vis-à-vis des traitements thermiques et de conservation. Les résultats enregistrés à travers cette partie sont illustrés dans le **tableau 6** ci-dessous.

Tableau 6 : Effets des différents modes de cuisson sur la composition biochimique et sur la lipopéoxydation des filets de sardine pêchée dans les côtes algériennes

	Matière sèche	Protéine	Matière grasse	Matière minérale	MDA
Filet de sardine cru (T)	24,00±0,61a	20.31±0.33a	7,02±0,33a	2,17±0,23a	0,15±0,02a
Filet de sardine frit (F1)	40,00±0.8b	28.18±0.24b	13.31±0.58b	4.77±0.09b	1.35±0.04b
Filet de sardine cuit au four (CF1)	50.10±0.77c	20.60±0.42a	7.68±0.38c	3.08±0.13c	0.21±0.02c
Filet de sardine grillé (G1)	45.10±0.55d	24.23±0.43c	9.60±0.40d	3.25±0.13d	0.33±0.04d

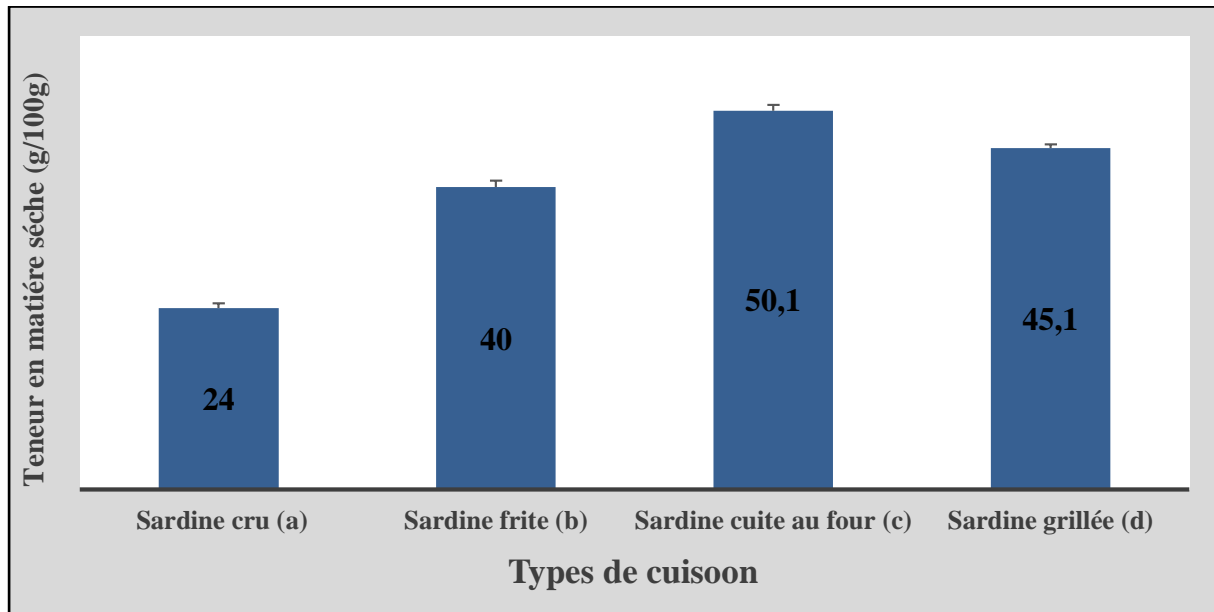
*Les filets de sardine ayant subis les différents modes de cuisson sont représentés par les lettres : F1 (Frits), CF1 (cuits au four) et G1 (grillés). Les filets crus : T

*Les résultats sont présentés sous forme de moyenne ± écart type (n=10). Les différentes lettres affectées (a, b, c...) indiquent un effet significatif du facteur réchauffage.

5-1-1- Teneur en matière sèche

Les résultats obtenus ont dévoilé que les modes de cuisson étudiés dans notre expérimentation entraînent un gain significatif en matière sèche ($P < 0,05$). A cet effet, des augmentations de l'ordre de 40 %, 52 % et 46.7 % sont observées respectivement dans la sardine frite, cuite au four et grillée (F1, CF1, G1) (**Tableau 6**). Ceci est expliqué par la perte en eau dans les filets de sardine au cours de la cuisson qui est corrélée à la dénaturation des protéines provoquée par l'association d'un pH bas alors que la température de cuisson est élevée (**Asturc, 2007**). Selon **Nikmaram et al., (2011)** la cuisson de type « rôti » appliquée sur la viande de veau entraîne une augmentation significative de la teneur en matière sèche. **Kocatepe**

(2011) rapporte que la cuisson de l'anchois entraîne une perte en eau, processus induisant un accroissement de la matière sèche après cuisson (**Figure 31**).



Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type ($n=20$). Les différentes lettres affectées (a, b, c, d) indiquent un effet significatif du site de capture ($P<0,05$).

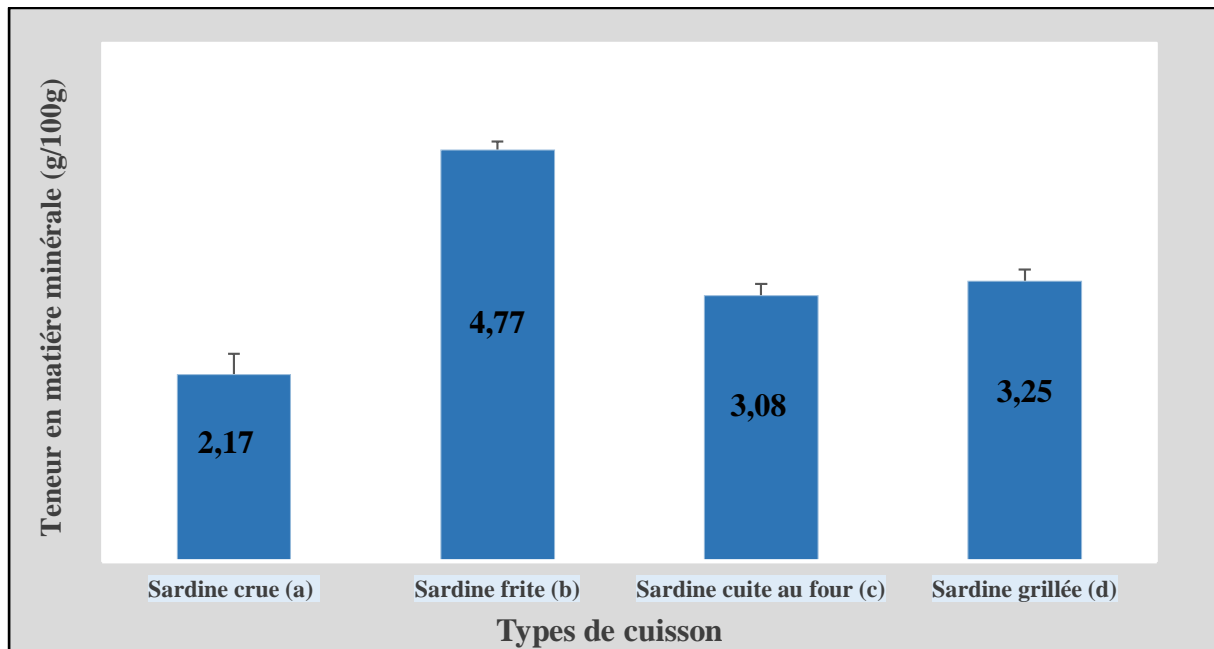
Figure 31. Teneur en matière sèche des filets de sardine selon le mode de cuisson appliqué, exprimée en $g \cdot 100g^{-1}$

En outre, les effets des différents modes de cuisson retenus dans notre travail recherche sur la matière sèche retentissent également sur l'humidité, d'où l'on remarque une tendance inverse ; on enregistre à ce propos une baisse significative ($P<0,05$) de l'ordre de 21 %, 35.3 % et de 28 % pour la sardine frite, cuite au four et grillée respectivement (F1, CF1, G1). Nos résultats sont similaires à ceux rapportés par **Aberoumand, (2014)**, qui a constaté que les différents modes de cuisson (bouillie, Rôti et friture) entraînent une perte significative en eau dans l'espèce de poisson *Carangoides malabaricus* pêchée en Iran.

5-1-2- Teneur en matière minérale

L'analyse de variance a révélé que les modes de cuisson appliqués engendrent une augmentation significative ($P<0.05$) des teneurs en cendres avec des gains de l'ordre de 54 %, 29.5 % et de 33 % dans les filets de sardine frits, cuits au four et grillés respectivement (4.77g Vs 3.08g Vs 3.25g/100g) par rapport aux filets crus (2.17g/100g) (**Tableau 6**). Ces accroissements de la matière minérale dans les filets de sardine étudiés sont expliqués par la grande perte en eau contenue dans les filets de sardine pendant la cuisson. Ces résultats concordent avec ceux de **Alipour et al., (2010)** qui ont constaté que la grillade des filets

d'esturgeon iranien entraîne une augmentation du taux de cendre. Selon **Hakimeh et al, (2010)** la friture de la carpe argentée entraîne une augmentation du taux de cendre qui était de 1.04g/100g avant cuisson pour atteindre 1.72g/100g après cuisson alors que la cuisson de type grillade n'a présenté aucun effet observé sur les minéraux (**Figure 32**).



Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type (n=20). Les différentes lettres affectées (a, b, c, d) indiquent un effet significatif du site de capture ($P < 0,05$).

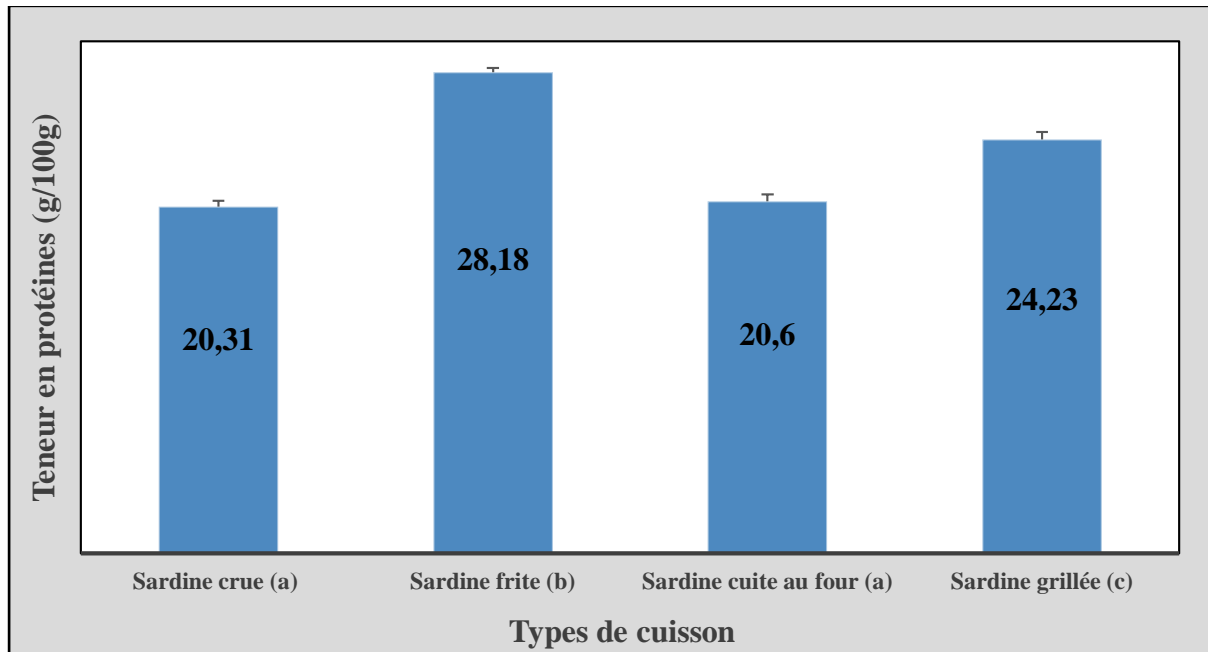
Figure 32. Teneur en matière minérale des filets de sardine selon le mode de cuisson appliqué, exprimée en $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$

5-1-3- Teneur en protéines

Les résultats des teneurs en protéines des filets de sardine sont illustrés dans le **Tableau 6**.

Les contenus en protéines des différents échantillons étudiés laissent observer que les filets de sardine frits surclassent les filets grillés (G1) et cuits au four (CF1) (28,18g Vs 24,23g Vs 20,60g). Cependant, il importe de signaler que la cuisson au four dénote un effet non significatif sur le taux protéique des filets étudiés comparativement au témoin (20.31g/100g) ($0.05 < P$) (**Figure 33**). Selon **Williams., (2007)**, les gains en protéines sont dus principalement aux pertes en eau des filets de sardine suite à l'application des différents traitements thermiques. Ainsi, selon le même auteur Ces traitements ont pour effet de concentrer les nutriments notamment les protéines. Sur le plan nutritionnel, la cuisson entraîne des modifications structurales sur les protéines myofibrillaires, en particulier sur le collagène induisant de ce fait leurs dénaturations qui réduit significativement leurs qualités nutritionnelles (**Martens et al,**

1982). Nos résultats sont en accord avec ceux de **Gokoglu et al., (2004)** qui ont révélé que la truite arc-en-ciel frite et cuite au four et aux micro-ondes présentait des taux élevés en protéines comparativement à la truite crue. Une étude menée par **Kocatepe, (2011)** sur l'anchois turc a révélé que le taux de protéines varie selon le mode de cuisson appliqué, cette teneur était de 22.71g/100g contre 25.55g/100g dans l'anchois grillée, soit une différence estimée à 11 %.



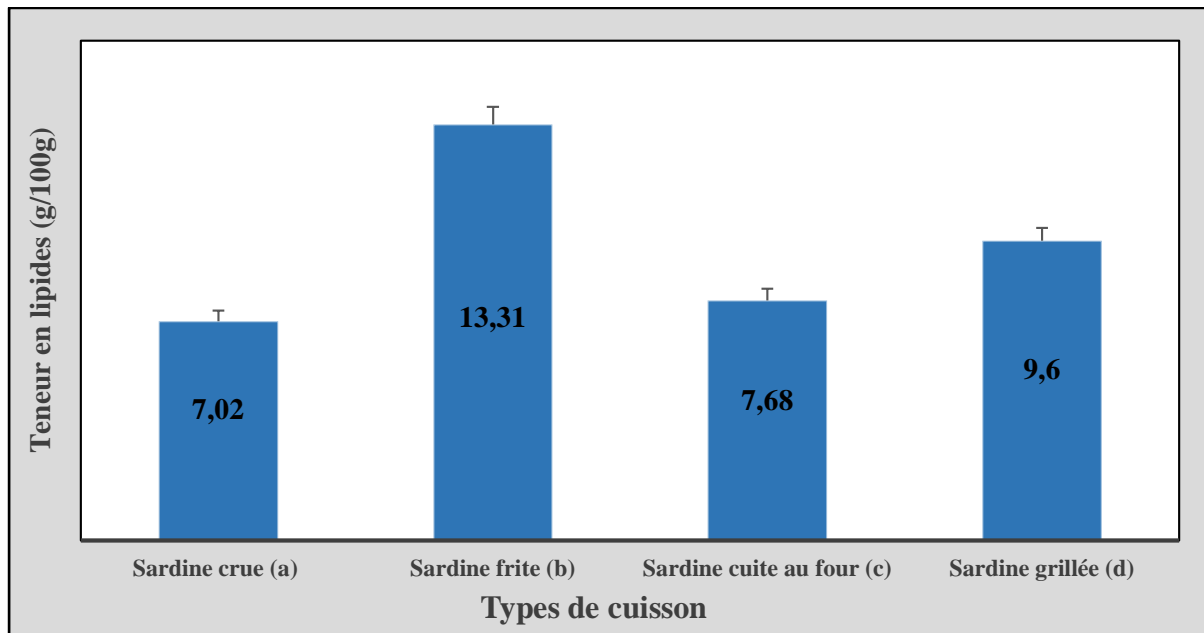
Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type (n=20). Les différentes lettres affectées (a, b, c, d) indiquent un effet significatif du site de capture ($P < 0,05$).

Figure 33. Teneur en protéines des filets de sardine selon le mode de cuisson appliqué, exprimée en $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$

5-1-4- Teneur en lipides totaux

En ce qui concerne le taux des lipides totaux, les résultats obtenus laissent observer que les différents modes de cuisson appliqués ont exercé un effet significatif ($P < 0,05$) sur les proportions lipidiques des filets étudiés. Il est à noter que la friture (F1) a le plus enrichi les filets de sardine en lipide comparativement aux autres traitements thermiques ; la différence est chiffrée à environ 2 fois (7.02g Vs 13.31g/100g) (**Tableau 6**). Cette conséquence est liée à la perte d'eau durant la cuisson (**Zotos et al., 2013**). De plus, la cuisson au four (CF1) n'a pas eu un effet marqué sur le gain en lipide par rapport à la sardine crue (7.02g Vs 7.68g) alors que la grillade (G1) a entraîné un gain plus important en matière grasse estimé à 2.6g/100g (7.02g Vs 9.60g/100g) (**Figure 34**). Des résultats similaires ont été rapportés par **Nasopoulos et al., (2013)** qui ont constaté que le taux des lipides totaux augmente significativement dans les filets

de sardine capturée dans les côtes grecques après cuisson de type grillade (0.75g Vs 2.62g/100g) soit un gain de 71 % (**Tableau 6**). Selon **Gokoglu. (2004)**, la friture de la truite arc-en-ciel favorise la concentration des lipides (3.44g cru Vs 12.7g/100g) en favorisant la pénétration de l'huile à l'intérieure de la structure des filets cuits par un processus d'absorption.



Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type (n=20). Les différentes lettres affectées (a, b, c, d) indiquent un effet significatif du site de capture ($P < 0,05$).

Figure 34. Teneur en lipides totaux des filets de sardine selon le mode de cuisson appliqué, exprimée en $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$

En outre, **Puwastien et al. (1998)** ont remarqué aussi que les poissons thaïlandais bouillis contenaient la même teneur de matières grasses que les poissons crus.

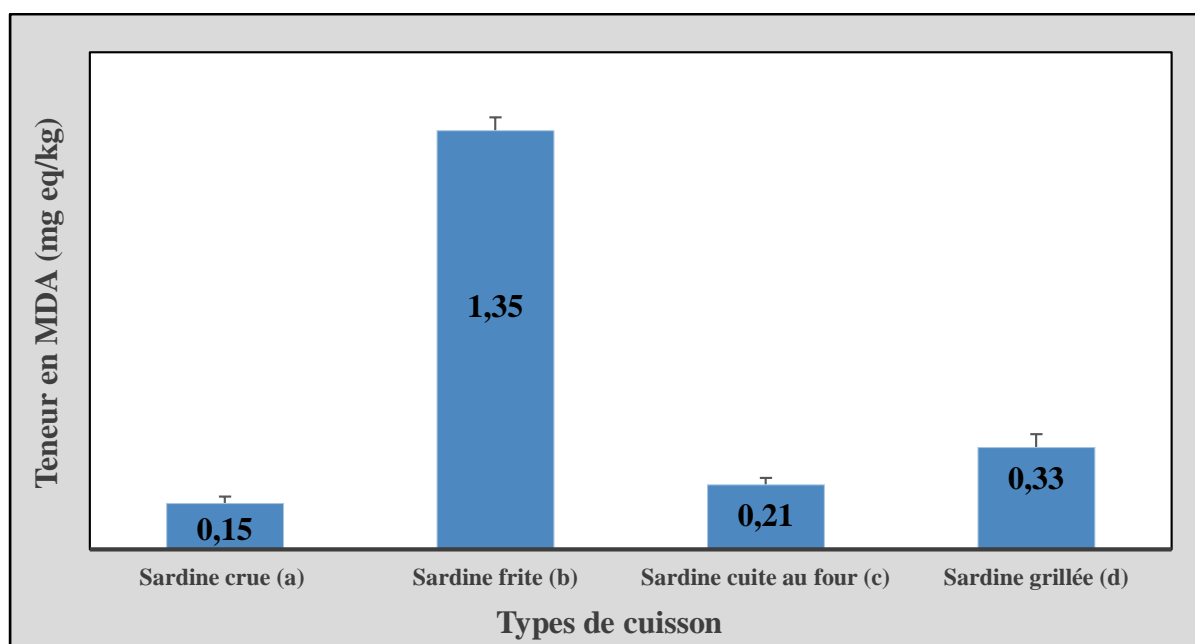
D'après **Nielsen et al, (2005)** et **Gokçe et al, (2004)** ; les teneurs en lipides varient chez les poissons en fonction des facteurs extrinsèques liés à l'espèce du poisson (taille, âge, état physiologique et la saison). Dans les poissons, le contenu en matières grasses dépend fortement de la saison de capture (**Varela, Perez, et Ruõz-Roso, 1990**), des facteurs trophiques (alimentation) (**Kiessling et al, 2001** et **Jobling et Bendiksen, 2003**), des facteurs environnementaux (température et salinité) (**Eroldogan et al, 2004**) et dépend aussi des modes de cuisson appliqués (**Nasopoulou et al., 2013**).

5-2- Effet de cuisson sur l'oxydation des lipides des filets de *sardina pilchardus*

5-2-1- Taux en MDA (Malondialdéhyde)

Les résultats du degré de peroxydation des lipides des filets de sardine crus et cuits sont illustrés dans le **Tableau 6**.

Les teneurs en MDA apparaissent en concentrations supérieures dans les filets ayant subi les différents modes de cuisson que dans les filets crus (0.15 mg eq Vs 1.35 Vs 0.21 Vs 0.33 mg eq/kg) ; soit des différences estimées à 89 %, 28.5 % et 54.5 % pour les filets de sardine frits, cuits au four et grillés respectivement ($P < 0,05$). En effet, la friture engendre le plus de peroxydation lipidique par rapport aux autres traitements thermiques ; la différence est estimée à environ 9 fois (0.15 mg eq cru Vs 1.35 mg eq frit) (**Figure 35**).



Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type ($n=20$). Les différentes lettres affectées (a, b, c, d) indiquent un effet significatif du site de capture ($P < 0,05$).

Figure 35. Teneur en malondialdéhyde (MDA) t des filets de sardine selon le mode de cuisson appliqué, exprimée en $g.100g^{-1}$

Selon **Durand et al., (2006)**, la peroxydation des lipides est une des causes majeures de l'élévation du taux du MDA. Ce dernier est considéré comme un produit toxique provenant de l'oxydation des lipides et qui est directement impliqué à une diminution de la valeur santé des viandes (**Gandemer et al, 1999**).

Les proportions élevées de MDA dans les filets de sardine frits (1.35 mg eq) peuvent s'expliquer par leur enrichissement en matière grasse contenue dans l'huile utilisée et qui a été absorbée par les filets au moment de la cuisson, favorisant par la suite l'accroissement du taux des composés toxiques en particulier le malondialdéhyde (MDA) (**Combes et Dalle Zotte., 2005**). Nos résultats sont proches de ceux de **Ansorena et al, (2010)** qui ont affirmé que la cuisson de type friture à l'huile du saumon et de la morue a une tendance accrue d'élever le taux des substances réactives à l'acide thiobarbiturique (TBARS) dont le malondialdéhyde (0.28 mg/kg Vs 0.73 mg/kg pour le saumon et 0.06 mg/kg Vs 0.53 mg/kg pour la morue) soit une différence de 61.6 % et 88.6 % respectivement.

En outre, le chauffage stimule la peroxydation lipidique donnant naissance de ce fait à des aldéhydes réagissant avec les groupements amines des protéines pour donner des bases de « Schiff ». Ces oxydations vont entraîner des dénaturations importantes des protéines qui peuvent modifier leurs propriétés fonctionnelles et leur digestibilité (**Kagan, 1988**). Selon **Gladyshev et al, (2006)**, ces phénomènes de lipopéroxydation peuvent être ralentis par le biais des antioxydants naturels que renferment quelques poissons dans leur chair, empêchant de ce fait l'oxydation des acides gras polyinsaturés lors des traitements thermiques. Enfin, **Ansorena et al, (2010)** on déduit que les huiles végétales utilisées pour la friture peuvent limiter aussi les oxydations des lipides en faisant intervenir leurs antioxydants naturels qu'elles renferment.

5-3- Effets du réchauffage sur les composés biochimiques de *Sardina pilchardus*

La composition biochimique et le degré de peroxydation des lipides des différents types de filets cuits, congelés et réchauffés sont indiqués dans le **tableau 7**.

Tableau 7 : Effets du réchauffage au four conventionnel et aux micro-ondes des filets de sardine pêchée dans les côtes algériennes

Filets de Sardine frits (F)	Matière sèche	Protéine	Matière grasse	Matière minérale	MDA
Non congelés-réchauffés (F1 Témoin)	40.00±0.8a	28.18±0.24a	13.31±0.58a	4.77±0.09a	1.35±0.04a
Congelée, réchauffée au four conventionnel (F2)	42.10±0.78b	29.76±0.21b	12.88±0.48a	4.63±0.09a	1.59±0.04b
Congelée, réchauffée aux MO (F3)	45.40±0.95c	31.88±0.86c	15.31±0.40b	6.03±0.18b,d	1.67±0.18b
Filets de sardine cuits au four (CF)					
Non congelés-réchauffés (CF1 Témoin)	50.10±0.77d	20.60±0.42d	7.68±0.38c	3.08±0.13c	0.21±0.02c
Congelée, réchauffée au four conventionnel (CF2)	52.40±0.77e	19.22±0.25e	7.08±0.15c	2.90±0.09c	0.42±0.08d
Congelée, réchauffée aux MO (CF3)	55.10±0.64f	25.02±0.23f	9.05±0.19d	5.88±0.08d	0.53±0.05e
Filets de sardine grillés (G)					
Non congelés-réchauffés (G1 Témoin)	45.1±0.55c	24.23±0.43f	9.60±0.40d	3.25±0.13c	0.33±0.04f
congelée, réchauffée au four conventionnel (G2)	46.27±0.81c	23.02±0.23g	11.31±0.44e	3.09±0.04c	0.53±0.03e
congelée, réchauffée aux MO (G3)	47.9±0.56g	26.98±0.17h	13.54±0.50e,a	6.19±0.10d,e	0.37±0.06f,g

*Les filets de sardine ayant subis les différents modes de cuisson sont représentés par les lettres : F (Frits), CF (cuits au four) et G (grillés). Les chiffres : 1, 2 et 3 correspondent aux échantillons témoins, réchauffés au four conventionnel et réchauffés aux micro-ondes, respectivement.

*Les résultats sont présentés sous forme de moyenne ± écart type (n=10). Les différentes lettres affectées (a, b, c...) indiquent un effet significatif du facteur réchauffage.

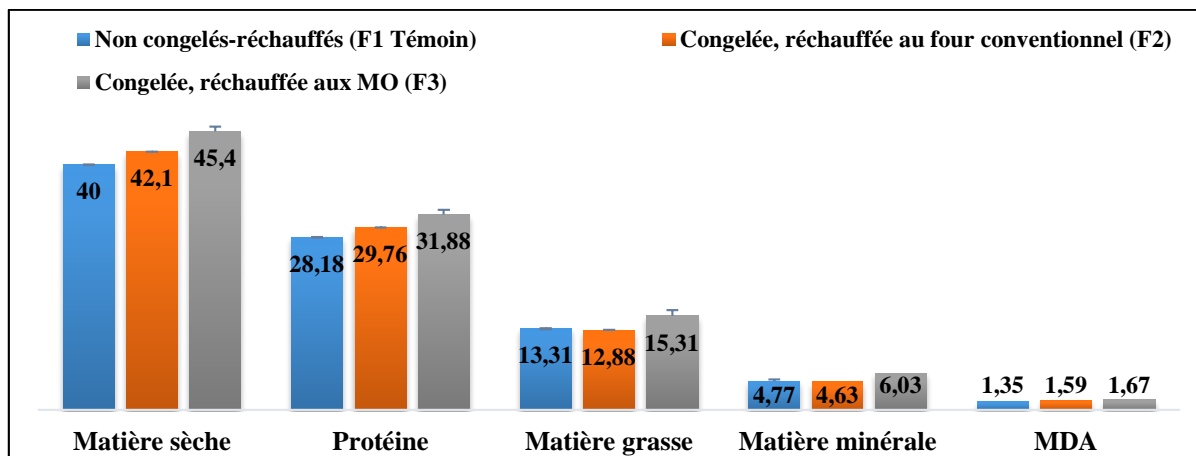


Figure 36. Teneur en matière sèche, protéines, lipides, matière minérale (en g/100g) et en MDA (mg eq/kg) des filets de sardine frits

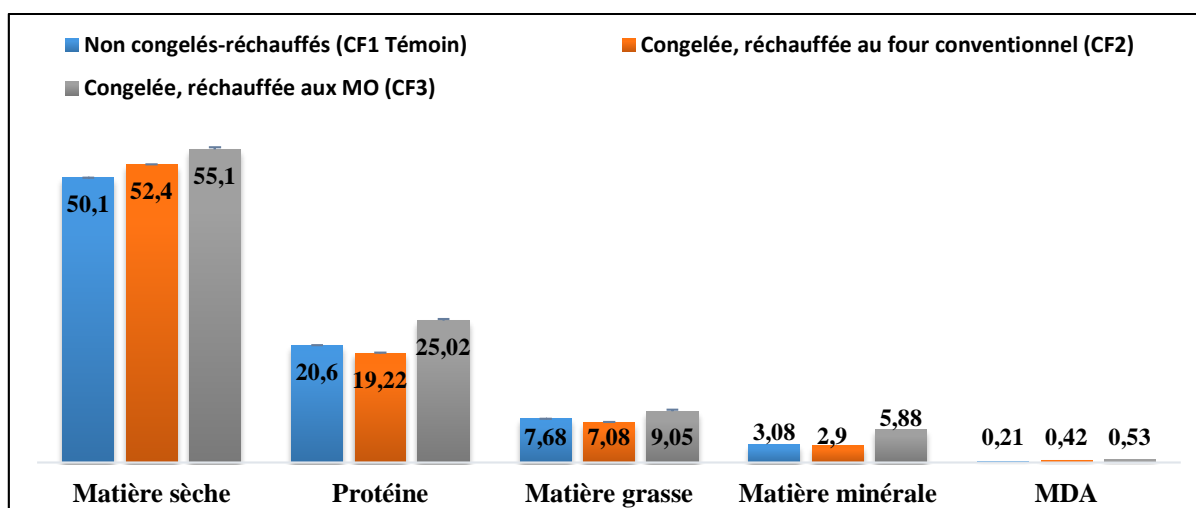


Figure 37. Teneur en matière sèche, protéines, lipides, matière minérale (en g/100g) et en MDA (mg eq/kg) des filets de sardine cuits au four

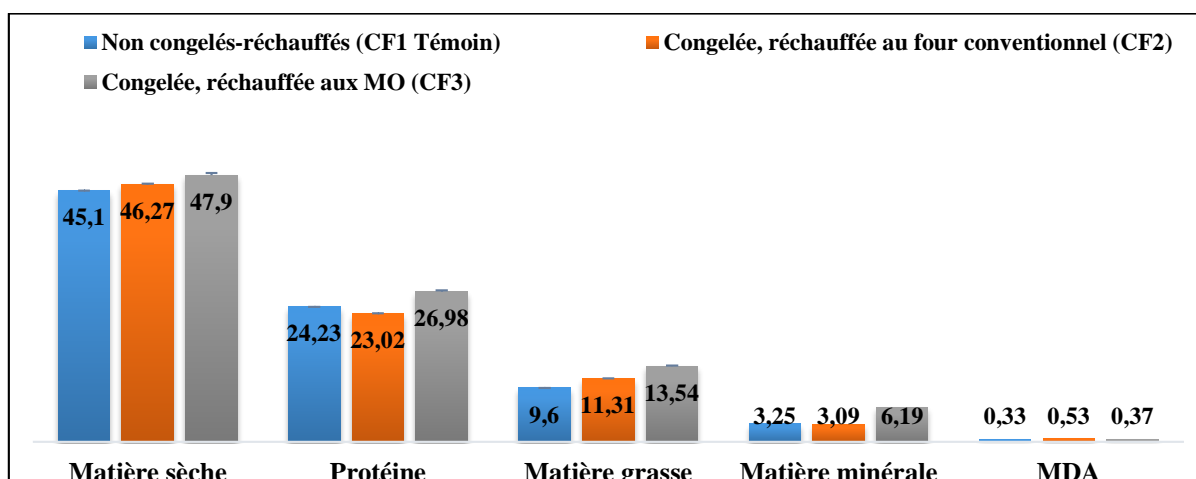


Figure 38. Teneur en matière sèche, protéines, lipides, matière minérale (en g/100g) et en MDA (mg eq/kg) des filets de sardine grillés

5-3-1- Teneur en matière sèche

Quel que soit le mode de cuisson, les concentrations de matière sèche sont modifiées par le couple congélation-réchauffage. Toutefois, le réchauffage des différents échantillons de notre expérimentation au four conventionnel et aux micro-ondes entraîne une augmentation significative ($P < 0,05$) de la teneur en MS notamment dans les filets de sardine frits (40 Vs 42.1 Vs 45.4g/100g) et cuits au four (50.1 Vs 52.4 Vs 55.1g/100g) par rapport aux filets grillés (45.1 Vs 46.27 Vs 47.9g/100g). Les résultats obtenus sont similaires à ceux rapportés par **Quaglia et Bucarelli, (2001)** ; qui ont affirmé que les filets de sardine grillés ensuite réchauffés à l'aide du four conventionnel et aux micro-ondes contiennent moins d'humidité et plus de matière organique, ce qui explique l'élévation du taux de matière sèche. Ces constatations ne sont pas exclusivement dues aux pertes au cours de la cuisson, mais aussi aux deux modes de réchauffage appliqués (**Figures 36, 37 et 38**).

Selon **Quaglia et Bucarelli., (2001)**, lors de la friture, des quantités importantes d'eau s'évaporent via les pores des aliments d'une manière générale. De plus, lorsque les aliments congelés sont réchauffés au four conventionnel, la couche de glace préalablement formée au cours de la congélation se dégèle, réduisant ainsi le transfert de chaleur dans toute la denrée alimentaire. Ce processus ne se produit guère dans les fours à micro-ondes où le transfert d'énergie thermique est 10 à 20 fois supérieur à celui du four conventionnel (**Sumnu, 2001**).

5-3-2- Teneur en matière minérale

L'examen des proportions en cendre entre les différents filets de sardine de notre étude laisse observer que les sardines grillées et réchauffées aux micro-ondes (G3) seraient plus riches en matière minérale (6.19g/100g) avec des différences de l'ordre de 53 % et 25 % par rapport aux filets cuits au four (CF2) et aux filets frits ensuite réchauffés au four conventionnel (F2) respectivement (6.19 Vs 2.90 Vs 4.63g/100g) (**Tableau 7 et Figures 36, 37, 38**). Selon **Mustafa et Medeiros, (1985)**, la teneur en cendres des filets du poisson-chat varie selon le mode de réchauffage (5.34 % et 6.21 % pour les filets frits réchauffés au four conventionnel et grillés réchauffés aux micro-ondes respectivement). D'après **García Arias et al, (2003)**, les pertes en eau dans les aliments sont accompagnées par des pertes en minéraux. Ces dernières sont évacuées par le biais d'un phénomène appelé « lixiviation » (**Quaglia et Bucarelli, 2001**).

5-3-3- Teneur en lipides totaux

L'étude statistique a montré que la cuisson ainsi que le couple congélation-réchauffage exercent un effet significatif ($P < 0,05$) sur la teneur en lipides totaux des filets de sardine de

notre expérimentation (**Tableau 7**). En plus de la cuisson, il est intéressant de noter que le réchauffage des différents échantillons a engendré une augmentation palpable de la matière grasse. Toutefois, la teneur en lipides des filets frits et réchauffés au four conventionnel (F2) était de 12.88g/100g alors que celle des filets frits et réchauffés aux micro-ondes (F3) a atteint 15.3188g/100g, soit une différence de l'ordre de 15.8 %. Les mêmes observations ont été enregistrées pour les échantillons grillés et réchauffés au four conventionnel (G2) et aux micro-ondes (G3) avec des valeurs de 11.31g/100g et 13.54g/100g respectivement avec un écart estimé à 16.4 % (**Figures 36, 37 et 38**). Il est important de noter que les poissons gras accumulent la graisse principalement sous forme de triglycérides dans les muscles rouge et blanc (**Polvi, 1989**). Nos résultats sont similaires à ceux de **Nikoo et al, (2010)** qui ont montré que la teneur en lipides reste vulnérable aux traitements de réchauffage. Le taux de matière grasse est passé de 3.83 g dans les filets frits de *Rutilus frisii kutum* pêchée en Iran de à 4.09g/100g après réchauffage aux micro-ondes.

Les résultats obtenus nous ont permis de déduire que la cuisson ainsi que les techniques de réchauffage engendrent des augmentations significatives de la concentration des LT ; cette conséquence est liée à la perte d'eau durant l'application des traitements thermiques (**Bourre et al., 2003 ; Xiao et Su, 2007**). Dans une étude réalisée par **Weber et al (2008)** sur le mérour, il a été constaté que le réchauffage au four conventionnel des filets frits provoque une évaporation palpable de l'eau induisant la concentration de la matière grasse ; les mêmes observations ont été relevées par **Gokoglu et al, (2004)** lors d'un travail de recherche réalisé sur la truite arc-en-ciel. D'autre part, **García-Arias et al. (2002)** ont remarqué que la décongélation des sardines aux micro-ondes provoque plus de préjudices sur les lipides et les acides gras par rapport à la décongélation au four conventionnel. Cet effet est principalement la conséquence de la faible perte de graisse pendant ce procédé.

5-3-4- Teneur en protéines

Les contenus protéiques des différents échantillons de filets de sardine apparaissent dans des proportions comparables (**Tableau 7**). Toutefois, le réchauffage entraîne un gain significatif ($P < 0,05$) de la teneur en protéine. Cette dernière était 29.76g/100g dans les filets frits et réchauffés au four conventionnel (F2) alors que les filets frits et réchauffés aux micro-ondes (F3) ont enregistré une valeur de 31.88g/100g ; la différence est estimée à 6.6 %. Pour ce qui est des filets cuits au four, le taux de protéine a montré une élévation très marquée ($P < 0,05$), passant de 19.22g/100g (CF2) à 25.02g/100g (CF3) ; soit une différence de l'ordre de 23 %. Il en est de même pour les filets de sardine grillés et réchauffés au four conventionnel (G2) et aux

micro-ondes (G3) présentant ainsi une différence de 14.6 % (23.02 Vs 26.98g/100g) (**Figures 36, 37 et 38**). Les résultats dégagés à travers ce travail vont de pair avec ceux rapportés par **Garcia Arias et al., (2003)** qui ont affirmé que le réchauffage des filets de sardine après leur cuisson-congélation entraîne une augmentation du taux de protéines notamment avec le réchauffage aux micro-ondes.

L'élévation de la température au cœur de la viande provoque des changements de structure des protéines, communément appelés dénaturation, ainsi que leur contraction (**Gandemer et Duchéne, 2015**). Ces modifications de structure n'ont pas d'impact significatif sur la digestibilité réelle des protéines de la viande (**Bax et al., 2013 ; Oberli et al., 2013**). En outre, **Jensen et al., (2014)** ont confirmé que les traitements thermiques ne modifient pas la composition globale en acides aminés des protéines. Lors du réchauffage, l'hydrophobie des protéines augmente très rapidement ensuite se stabilise pendant la durée du traitement thermique de réchauffage (**Santé-Lhoutellier, 2008**).

5-4- Effet du réchauffage sur l'oxydation des filets de *sardina pilchardus*

5-4-1- Taux du MDA (Malondialdéhyde)

L'indice de peroxydation des lipides dans les filets de sardine étudiés est illustré dans le **tableau 7**. Le traitement statistique de nos résultats a montré que les modes du réchauffage préconisés dans notre expérimentation ont inféré un effet significatif ($P < 0,05$) sur le taux de MDA produit. Nous avons constaté que le taux de MDA a enregistré un accroissement après l'application des deux modes de réchauffage notamment dans les échantillons ayant subi le réchauffage aux micro-ondes.

La concentration du MDA était 0.21mg eq/kg dans les filets frits (F1). Après réchauffage aux micro-ondes le taux de ce composé toxique a atteint 0.53mg eq/kg (F3), la différence est chiffrée à environ deux fois et demi (**Figures 36, 37 et 38**). De plus, le traitement de réchauffage au four conventionnel a montré plus d'impact sur les filets de sardine grillés avec des teneurs de l'ordre de 0.33mg eq/kg pour le témoin (G1) contre 0.53 mg eq/kg après réchauffage (G2), soit une différence de 1.6 fois. Cependant, le réchauffage aux micro-ondes n'a présenté aucun effet significatif ($0.05 < P$) sur la teneur de MDA contenu dans les filets grillés (G3) (0.33mg eq/kg Vs 0.37mg eq/kg). D'après **Türkkan et al., (2008)**, le mode de cuisson et le type de réchauffage ont un effet significatif sur les teneurs en MDA des filets du Bar commun (*Dicentrarcus labrax*). D'une manière générale, selon le même auteur le traitement thermique tend à promouvoir l'oxydation des lipides donnant naissance à ces composés aldéhydiques

hautement toxiques. En outre, le réchauffage des aliments au four conventionnel affecte en premier lieu les acides gras tels que l'acide eicosapentaénoïque (EPA) et l'acide docosahexaénoïque (DHA) (**Mataix et Gil., 2002**). En plus des traitements de cuisson et de réchauffage, l'utilisation des huiles lors de la friture catalyse les phénomènes de lipoperoxydation en augmentant les concentrations du MDA (**Al-Saghir et al., 2004**).

Dans un autre contexte, les valeurs MDA obtenues à travers notre étude étaient inférieures aux limites tolérées (de 7 à 8 mg eq MDA/ kg) (**Huss, 1988**). Nos résultats rejoignent ceux de **Nikoo et al., (2010)**, qui ont constaté que la cuisson ainsi que le réchauffage aux micro-ondes des filets de l'espèce de poisson iranien « *Rutilus frisii kutum* » altèrent significativement les lipides, ce qui engendre une élévation considérable des concentrations du malondialdéhyde.

Chapitre 3

*Effets de fumage par des feuilles
d'olivier et d'eucalyptus sur la
stabilité oxydative et les propriétés
sensorielles de *Sardina pilchardus**

1- Introduction

Le fumage des viandes et poissons est une méthode de conservation très anciennement utilisée dans le but de prévenir leurs dégradations. En effet, il consiste en l'application de fumée produite par la pyrolyse du bois conférant à ces aliments un goût et une couleur caractéristique qui sont très appréciés par le consommateur. En pratique, il existe deux formes de fumage ; à chaud et à froid. Le fumage à chaud est couramment effectué à des températures de 70-80°C nécessitant un traitement thermique (Erkan et al., 2011). En revanche, le fumage à froid est réalisé sans chauffage ; généralement à des températures $\leq 30^{\circ}\text{C}$ (Goulas et Kontominas, 2005). Pendant ces dernières années, la consommation des poissons fumés a augmenté considérablement dans le monde. En Europe, elle est estimée à environ 15% du total de la consommation des produits de la mer (Stolyhwo and Sikorski, 2005 ; Huda and Dewi, 2010). En plus, de leurs saveurs attractives, le consommateur est devenu conscient de l'intérêt de ces traitements technologiques notamment dans le maintien des qualités nutritionnelles des produits fumés en préservant les nutriments essentiels tels les lipides et les protéines (Stolyhwo et al., 2006 ; Bilgin et al., 2008). Il est nécessaire de souligner que le fumage prolonge la durée de conservation des viandes et poissons grâce aux effets combinés de la déshydratation, de l'activité antimicrobienne et antioxydante de plusieurs des composants de la fumée qui préviennent les phénomènes d'oxydation (Alcicek et Atar, 2010). De plus, le fumage modifie également la texture des aliments (Sigurgisladottir et al., 2001).

Dans ce contexte, l'objectif principal de ce travail vise à étudier les effets de la nature du bois de fumage (*Eucalyptus* et *Olivier*) sur la stabilité oxydative des lipides et sur les propriétés sensorielles de la sardine commune « *Sardina pilchardus* » pêchée dans les côtes algériennes.

2- Matériels et méthodes

2-1- Matériels

2-1-1 Choix du matériel végétal

Dans notre expérimentation, deux espèces végétales ont été utilisées dans la technique de fumage. Il s'agit d'*Eucalyptus globulus* et d'*Olea europea L.*, espèces caractéristiques du bassin méditerranéen connues pour leurs propriétés odoriférantes et leurs richesses en principes actifs notamment en antioxydants qui ont une action déterminante sur le ralentissement des phénomènes d'oxydation lipidiques.

2-1-1-1- L'espèce *Eucalyptus globulus*

Il s'agit d'un arbre appartenant à la famille des myrtaceae. Il mesure 30 à 60 mètres de haut ; dans certain cas, il peut atteindre jusqu'à 100 mètres. Originaire d'Australie, l'*Eucalyptus* fut rapidement planté dans les régions subtropicales de l'Asie et du bassin méditerranéen. Les feuilles d'Eucalyptus sont couvertes de glandes à huile (**Daroui-Mokaddem, 2012**). Elles sont persistantes et peuvent atteindre 25 centimètres de long. Elles sont falciformes, alternes, pétiolées et de couleur gris-vert (**Koziol, 2015**). Les fleurs, visibles au printemps, naissent à l'aisselle des feuilles, le calice a la forme d'une toupie bosselée dont la partie large est couverte par un opercule qui se détache au moment de la floraison laissant apparaître de nombreuses étamines (**Daroui-Mokaddem, 2012**). Les fruits à maturité ont la forme d'un cône, ils sont secs, et de couleur brune. Ils ont également des valves qui se soulèvent pour laisser échapper les graines lors de leur chute sur le sol (**Bruneton, 1999 ; Koziol, 2015**).



Figure 39. Aspects morphologiques de l'espèce *Eucalyptus globulus*

2-1-1-2- L'espèce *Olea europaea L.*

L'olivier (*Olea europaea L.*) est l'un des plus anciennes cultures de la région méditerranéenne où il a occupé depuis la préhistoire une place majeure dans la culture de cette région. Il appartient à la famille des *Oleaceae*, sub-famille *Oleideae*. Avec près de 24 genres et

6000 espèces, le genre *Olea* comprend 33 espèces et 9 sub-espèce classées dans 3 sub-genres *Olea*, *Paniculatae* et *Tetrapilus* (Besnard et al. 2009).



Figure 40. Aspects morphologiques de l'espèce *Olea europaea L.*

L'olivier est une espèce vivace à feuillage persistant dont la croissance est rythmée dans les régions tempérées, il se distinguant par sa pérennité et sa grande longévité. Aussi, il est réputé pour sa grande rusticité et sa plasticité lui permettant de se développer dans différentes conditions environnementales (Sanna, 2017). Les feuilles de l'olivier sont simples, entières, à pétiole court et à limbe lancéolé qui se termine par un mucron (Argenson et al., 1999). Les feuilles sont opposées et persistantes, leur durée de vie est de l'ordre de 3 ans. Le fruit est une drupe à mésocarpe charnu, riche en lipide, de diamètre compris entre 1 et 3 cm (Argenson et al., 1999). L'endocarpe ou « noyau » est dur, généralement fusiforme portant une série sillons longitudinaux (Sanna, 2017).

2-1-2- Échantillonnage des espèces végétales

Les échantillons des deux espèces végétales (*Eucalyptus globulus* et *Olea europaea L.*) ont été effectués dans la région de Mostaganem durant le mois de Mai 2015. Cette période d'échantillonnage a été choisie dans le but de la faire coïncider avec la présence de nouvelles

pousses. Les branches et les feuilles des deux espèces ont été récupérées, transportées au laboratoire, débarrassées des débris, séchées à l'air libre pendant 7 jours et enfin conservées à une température ambiante pour des utilisations ultérieures.

2-1-3- Choix du poisson

Les Sardines (*Sardina pilchardus*) utilisées dans cette partie ont été capturées dans la région de Mostaganem à l'aide d'un navire classique de type « Sardinier » pendant le mois de Mai 2015 (4kg). Une fois récupérées, les sardines échantillonnées ont été placées dans une glacière classique (-18°C) dans le but de conserver leurs fraîcheurs et leurs qualités jusqu'à leurs acheminements au laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition de l'université de Mostaganem. Les filets de sardine sont obtenus par élimination des têtes, des viscères et des arrêtes. Ensuite, les filets obtenus sont conservés à « -20°C » pour des analyses ultérieures.

2-1-4- Technique de fumage

Pour ce qui est du fumage, 90 filets de sardines préalablement préparés ont été répartis équitablement en trois lots. Pour ce faire, les deux premiers lots de sardine ont été placés dans deux fumoirs artisanaux différents, ensuite soumis à l'action de la fumée (65 °C) provenant de la pyrolyse des branches et des feuilles des deux espèces végétales utilisées distinctement (*Eucalyptus globulus* et *Olea europea L.*) pendant 30 minutes.

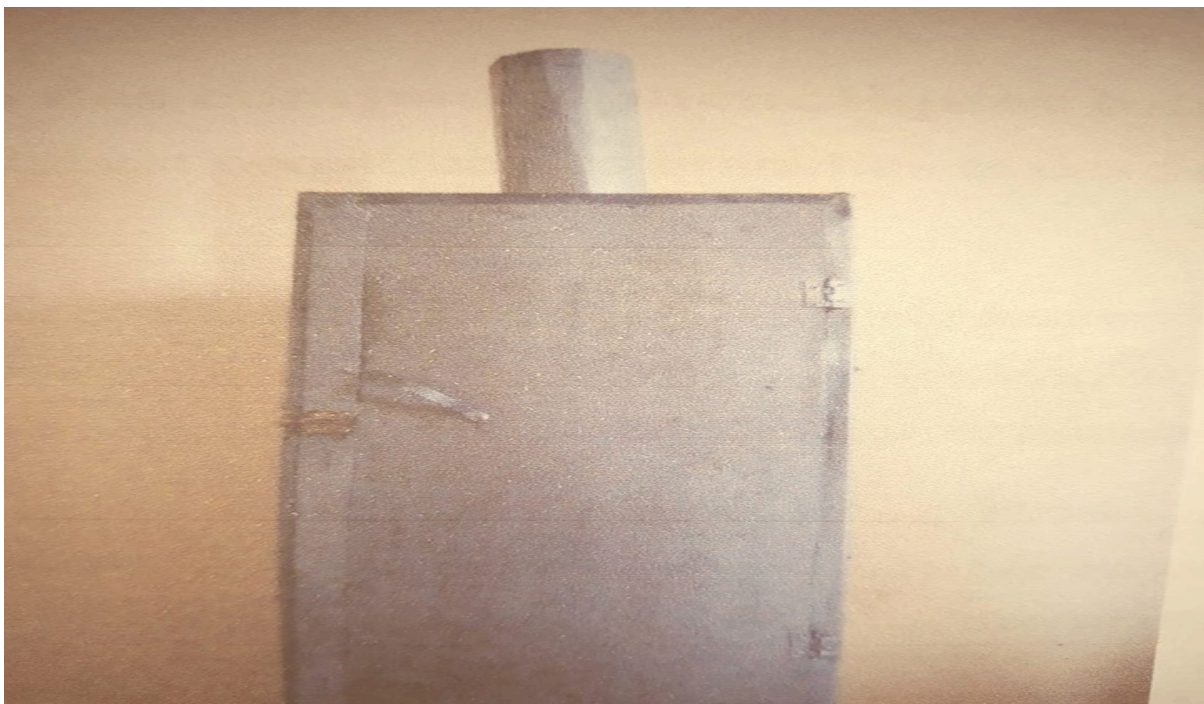


Figure 41. Fumoir traditionnelle utilisé dans notre expérimentation

Le troisième lot de filet de sardine a subi une cuisson de type grillade sans ajout d'ingrédients en préconisant un couple température/temps de 300°C / 5 minutes en utilisant une grille inoxydable. L'objectif de cette procédure est de mettre en exergue la différence entre ces deux modes de traitement en terme de stabilité oxydative des lipides.

2-2-Méthodes

2-2-1-Préparation des extraits

Une partie des feuilles des deux espèces végétales échantillonnées (*Eucalyptus globulus* et *Olea europea L.*), séchées et broyées en poudre ont été soumises à une extraction au méthanol suivant la méthode de **Kosar et al, (2005)**. Il s'agit d'une extraction solide-liquide de type discontinue. 10 g de poudre de chacune des deux espèces ont été placés dans deux erlenmeyers distincts, additionnés de 100 ml de méthanol (99.5 %). L'ensemble est ensuite placé dans un bain-marie et soumis à une agitation à 60 °C pendant 20 minutes. Le mélange a été filtré à l'aide d'un papier filtre standard (110 mm). Le solvant (méthanol) est soumis à une évaporation sous vide au moyen d'un Rotavapor à 40 °C. Enfin, l'extrait obtenu a été séché dans une étuve à 30 °C pendant 2 heures afin d'éliminer toute trace de solvant résiduel. L'extrait final obtenu se présente sous forme d'une poudre de couleur « vert foncé », conservée dans des flacons hermétiques à 4 °C pour des analyses ultérieures.

2-2-2-Détermination des composés phénoliques totaux

Les teneurs en phénols totaux ont été déterminées selon la méthode de **Dewanto et al., (2002)**. A 0.5 ml des extraits aqueux (0.1 %) des deux espèces ont été ajoutés 2.5 ml de réactif Folin-Ciocalteu et 2 ml de Na₂CO₃. Après incubation pendant 90 min à l'obscurité, l'absorbance a été mesurée à une longueur d'onde de 760 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible (SHIMADZU UV-VIS 1800). Les teneurs en composés phénoliques totaux ont été exprimées en mg équivalent d'acide gallique par gramme de poids sec d'extrait (mg EAG. g⁻¹) en se référant à la courbe d'étalonnage avec l'acide gallique.

2-2-3-Estimation des activités antioxydantes et antiradicalaires (Test DPPH)

Le DPPH, (2,2 -Diphényl-2-picrylhydrazyl) est un radical libre stable de couleur violacée qui en présence de composés anti-radicalaires (antioxydant) subit une réduction provoquant ainsi un changement de couleur (jaune). Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH est mesuré par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 517 nm (**Parejo et al, 2002**). Il s'agit d'une méthode basée sur la mesure du pouvoir des antioxydants à piéger le radical DPPH. L'effet de chaque extrait (*Eucalyptus globulus* et *Olea europeaL.*) sur le DPPH est mesuré par

la procédure décrite par **Benhammou et al., (2007)**. De chaque extrait, un volume de 50 µl de différentes concentrations a été additionné à 1.95 ml d'une solution méthanolique de DPPH (0.024 g/l) fraîchement préparée. Pour ce qui est du témoin, 50 µl du méthanol a été ajoutée à 1.95 ml d'une solution méthanolique de DPPH à la même concentration utilisée. L'ensemble est incubé à l'obscurité pendant 30 min dans une température ambiante. La lecture des absorbances était effectuée à 515 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

2-2-4-Effet du fumage sur la stabilité oxydative des lipides des filets de sardine

L'estimation du degré de lipopéroxydation a fait appel à la méthode de **Genot, (1996)** décrite dans le chapitre « Effets de cuisson et du réchauffage sur la qualité nutritionnelle de « *Sardina pilchardus* » de la partie expérimentale.

2-2-5-Effet du fumage sur les qualités sensorielles de *Sardina pilchardus*

Les traitements thermiques appliqués sur les viandes et poissons permettent d'améliorer leurs qualités mais peut aussi conduire aux phénomènes d'oxydation. Ce processus engendre des impacts négatifs sur leurs qualités nutritionnelles (**Gatellier et al, 2009**) et sensorielles (**Haak et al., 2006**). Selon **Kaya et al., (2008)**, la technologie de fumage entraîne certains changements dans la composition des poissons notamment en matière de lipide et de protéine. Pour cette raison, les procédures de fumage doivent être appliquées en tenant compte de l'état biologique et de la composition des poissons (**Gülğün et al, 2015**).

Enfin, selon le traitement thermique appliqué et dans un milieu réactionnel complexe comprenant des lipides, des hydrates de carbone, des protéines et des acides aminés libres, les processus oxydatifs conduisent à la formation de couleur et de flaveur, principales caractéristique sensorielles.

2-2-6-Analyse sensorielle des filets de sardine fumée

Un test de dégustation a été réalisé en vue d'apprécier les propriétés sensorielles des sardines fumées avec les deux espèces végétales de notre expérimentation. La dégustation a été faite par 15 panelistes entraînés. Les sardines (02 contrôles et 1témoin) qui ont été servis aux dégustateurs ont subi préalablement un fumage en utilisant les feuilles et les branches des deux espèces « *E. globulus* » et « *Olea europea L.* ». Les échantillons témoins ont reçu une grillade à l'aide d'une grille inoxydable.

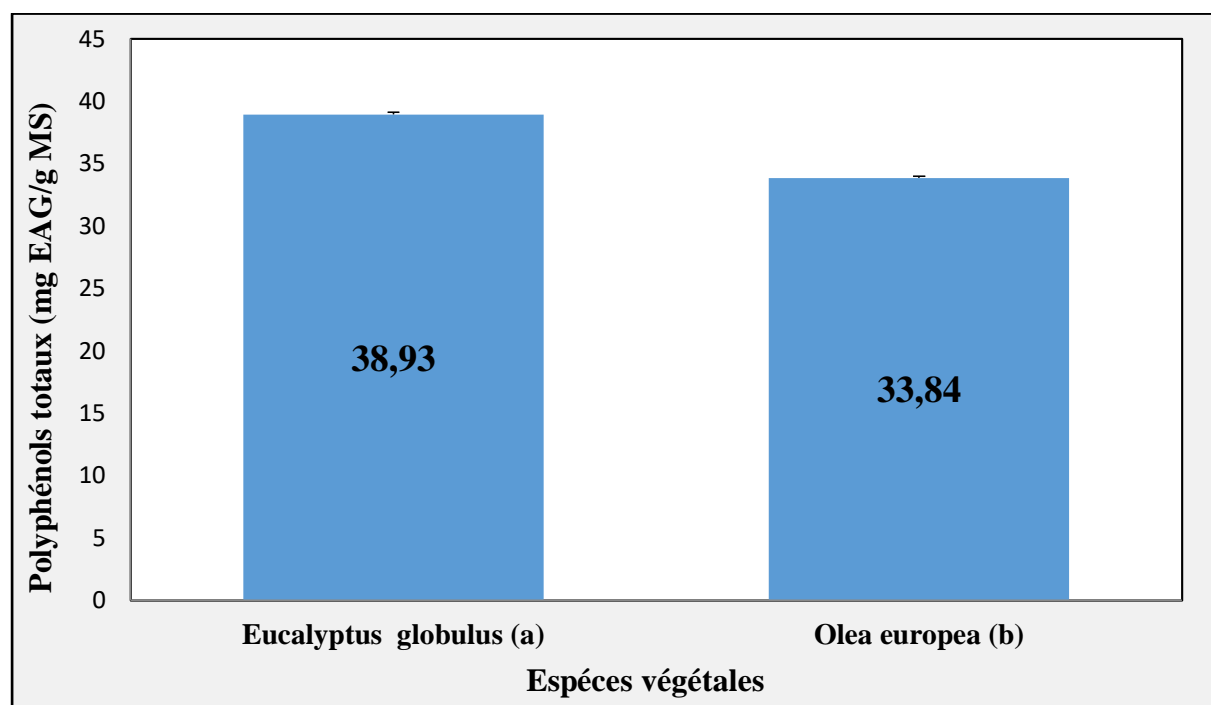
Les filets de sardine étaient présentés distinctement dans des assiettes numérotées aux panélistes afin de les apprécier sur une échelle de notation variable selon les critères suivants : la couleur, la texture, la jutosité, la flaveur ainsi que l'odeur de la fumée.

3- Résultats et discussion

3-1- Polyphénols totaux et activité antioxydante etantiradicalaire (IC50) des extraits d'*Eucalyptus globulus* et d'*Olea europea*

3-1-1- Polyphénols totaux

Les deux extraits bruts des deux espèces « *Eucalyptus globulus* et *Olea europea L.* » obtenus par extraction solide-liquide, ont été analysés quantitativement par spectrophotométrie UV-visible pour leur contenu en polyphénols totaux. Les résultats sont exprimés en terme d'équivalents acide gallique (EAG/g MS).



Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type (n=20). Les moyennes affectées d'une lettre différente (a, b) dans les histogrammes indiquent un effet significatif du site de capture ($P < 0,05$).

Figure 42. Teneurs en polyphénols totaux (mg EAG/g MS) des deux espèces végétales « *Eucalyptus globulus* et *Olea europea* »

L'examen des proportions en polyphénols totaux entre les deux extraits étudiés laisse observer qu'*Eucalyptus globulus* serait plus riche que l'*Olea europea* (38.93 Vs 33.84 mg

EAG/g MS) ($P < 0.05$) (**Figure 42**). Les polyphénols naturels peuvent donc être des molécules simples comme les acides phénoliques, mais aussi des composés hautement polymérisés comme les tanins (**Bravo, 1998**). La qualité et la quantité des polyphénols qui existent dans les fruits et les végétaux sont influencées par le type d'espèce végétale, l'environnement, le type de sol et les conditions de végétation (**Raigón et al., 2008 ; Singh et al., 2009**).

Les résultats dégagés à travers ce travail sont largement inférieurs à ceux décrits par **Dezzi et al., (2015)** et **Mylonaki et al., (2008)** qui ont déduits des taux en polyphénols totaux de l'ordre de 235.87 mg EAG/g et 250.2 mg EAG/g dans les espèce *Eucalyptus globulus leaves* et *Olea europea* prélevées en Roumanie et en Grèce respectivement. Cependant, les teneurs observées sont voisines de celles observées par **Boubekri, (2014)** qui a trouvé que les fruits d'aubergine récoltée à Alger renferment un taux de polyphénols estimé à 37.61 mg EAG/g. Cependant, nos résultats restent inférieurs à ceux enregistrés par **Gardeli et al. (2008)**, **EL-haci et al. (2013)** et **Beddou (2015)** qui ont fait ressortir des teneurs en polyphénols totaux de l'ordre de 588 mg EAG/g, 101.85 EAG/g et de 176.59 mg EAG/g dans les espèces végétales de *Pistacia lentiscus*, *Anabasis aretioides* et *Rumex vesicarius* respectivement. Une étude menée par **Djeridane et al., (2006)** sur plusieurs plantes médicinales dont *Artemisia campestris* a révélé que la teneur en polyphénols totaux de la partie aérienne d'un extrait éthanolique 70 % (v/v) était de 20.38 mg EAG/g, une valeur qui reste largement inférieure à nos résultats.

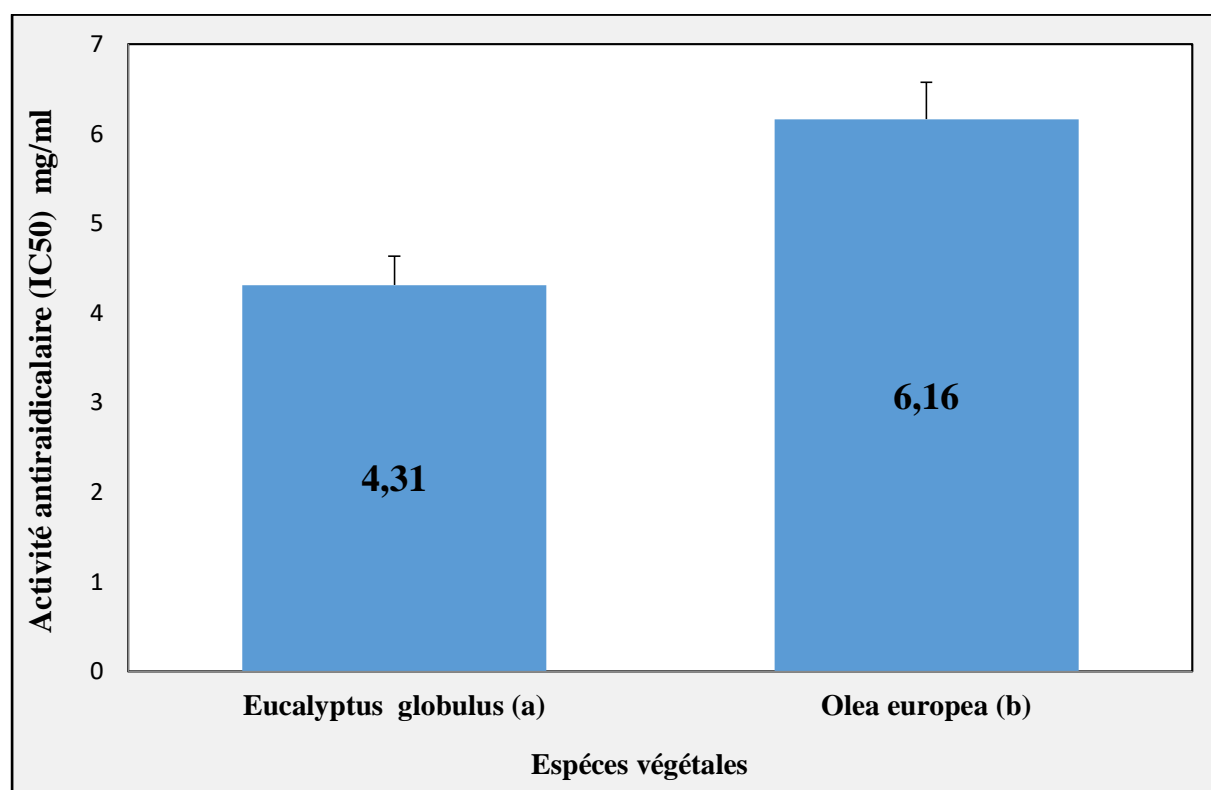
Le dosage par le réactif « Folin-Ciocalteu » n'est pas typique aux polyphénols uniquement. Il est aussi préconisé pour l'évaluation brute de l'ensemble des composés phénoliques d'un extrait donné et qui peuvent réagir avec ce réactif donnant un taux phénolique apparent élevé (**Tawaha et al., 2007**). Ce test fait appel à une réaction d'oxydo-réduction, considérée également comme une méthode d'appréciation de l'activité antioxydante (**Prior et al., 2005**). De ce fait, les extraits les plus riches en composés phénoliques peuvent être également considérés comme les plus antioxydants (**Beddou, 2015**). De plus, les solvants d'extraction utilisés emportent des substances non phénoliques comme les protéines, les lipides, les sucres ainsi que les colorants, ce qui permettra d'éviter toute interférence pendant l'évaluation phénolique (**Djeridane et al., 2006**).

3-1-2- Activités antioxydantes et antiradicalaires (IC50)

Le pouvoir antioxydant des extraits d'*Eucalyptus globulus* et d'*Olea europea* a été réalisé par le test de piégeage du radical libre « DPPH » (**Figure 43**). Ce dernier est souvent utilisé pour la rapidité des résultats, comme il est employé pour le criblage des molécules douées d'activités antioxydantes présentes dans les extraits des végétaux (**Yi et al., 2008**). L'étude de

la variation de l'activité antiradicalaire en fonction de la concentration des extraits permet de déterminer la concentration qui correspond à 50% d'inhibition (IC50) ; plus la valeur de IC50 est faible plus l'extrait est puissant vis-à-vis des radicaux libres (**Beddou, 2015**).

Les polyphénols sont considérés comme des agents antioxydants très puissants (**Pietta, 2000 ; Frei et Higdon, 2003 ; Oszmianskiet al., 2007**). Des essais in vitro ont révélé que ces composés sont plus actifs que les vitamines E et C et particulièrement plus actifs que les flavonoïdes (**Bhouri et al., 2011**). Cette même activité antioxydante permet aux polyphénols de réguler les radicaux libres (**Kenny et al., 2007**). En outre, la capacité antioxydante dépend non seulement de la teneur en composés phénoliques, aussi bien de la composition chimique et le nombre total des groupes hydroxyles (**Frankel et al., 1995**) qui peuvent servir comme donneur d'électron ; par conséquent, ces composés sont considérés comme des réducteurs et inactivateurs des oxydants (**Siddhuraju et Becker, 2007**).



Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type (n=20). Les moyennes affectées d'une lettre différente dans les histogrammes indiquent un effet significatif du site de capture ($P < 0,05$).

Figure 43. Activité antiradicalaire IC50 (mg/ml) des deux espèces végétales « *Eucalyptus globulus* et *Olea europea* »

Les résultats obtenus ont révélé que l'extrait d'*Eucalyptus globulus* présente une meilleure activité antiradicalaire au DPPH comparativement à celle de l'extrait d'*Olea europea* avec des IC50 respectives de 4.31 mg/ml et 6.16 mg EAG/ml ($P < 0,05$) (**Figure 43**). Les activités antiradicalaires enregistrées à travers cette étude sont nettement inférieures à celle de **Akrout et al., (2011)** et **Stankovic et al., 2012**, qui ont déduit des IC50 équivalent à 2.053 mg/ml et 0.987 mg/ml dans les espèces végétales *Artemesia campestris* et *Sedum acre* (plus la valeur IC50 est importante, plus le pouvoir antiradicalaire est faible). Cependant, les activités antiradicalaires dans le cadre de notre expérimentation demeurent supérieures à celles de **Kone, (2009)** qui a déduit un IC50 de l'ordre de 21.93 mg EAG/ml dans les feuilles de *Vepris heterophylla*. Ce résultat peut être expliqué par la présence des molécules antioxydantes telles que les polyphénols, les flavonoïdes et les tanins dans les espèces étudiées et qui sont capables de réduire et décolorer le DPPH en raison de leur capacité à céder l'hydrogène (**Hadri, 2015**). Selon **Kang et al., (2003)**, les molécules polaires contenues dans les végétaux confèrent aux extraits des activités antiradicalaires souvent élevées. Ces capacités pourraient être attribuées à la présence des composés phénoliques (**Falleh et al., 2008**). Il importe de souligner que les polyphénols contribuent de manière significative à l'activité antioxydante totale de nombreux fruits comme le raisin rouge (**Negro et al., 2003**), les légumes (**Luo et al., 2002**) et les plantes médicinales (**Bourgou et al., 2008**). Enfin, le pouvoir antioxydant des composés tels les polyphénols est hautement recherché dans le domaine alimentaire afin de lutter contre la peroxydation lipidique et ainsi permettre une meilleure stabilisation des denrées alimentaires (**Rezaire, 2012**) notamment celle des viandes et poissons.

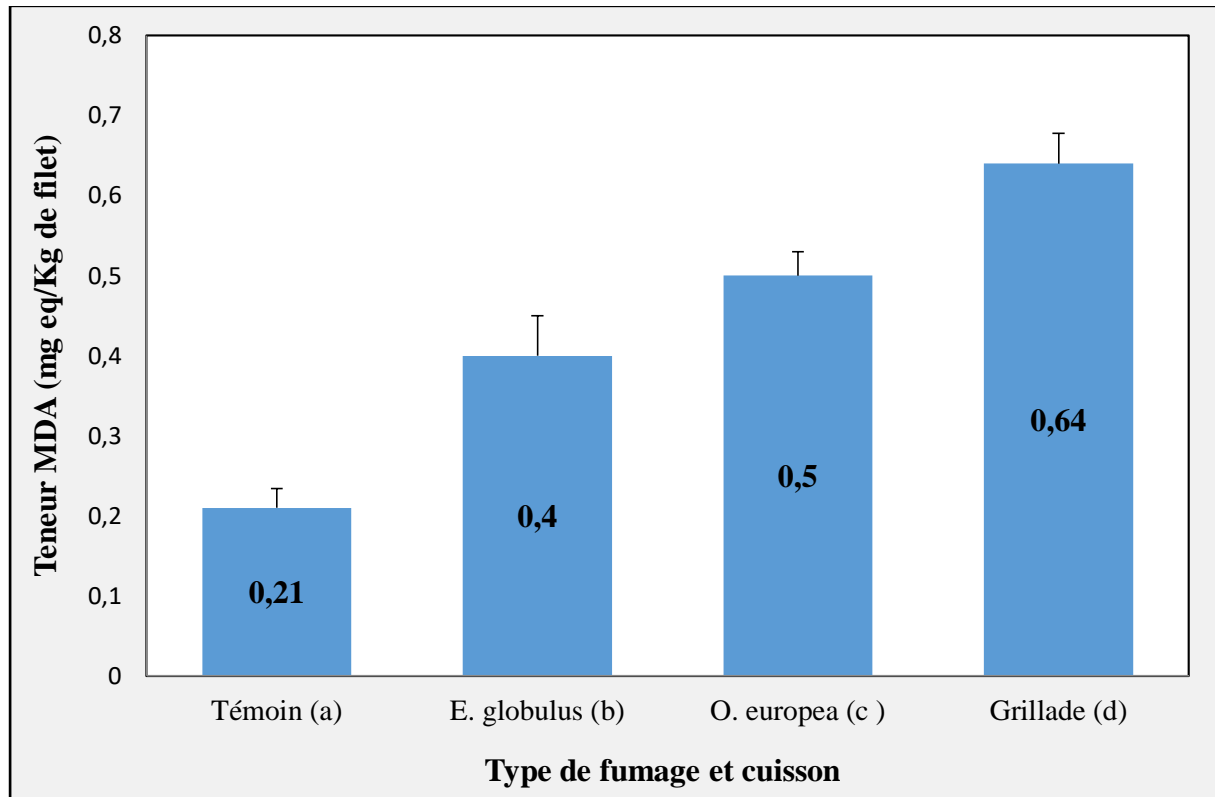
3-2- Estimation du degré de peroxydation des lipides des filets de sardine fumée par la méthode TBA-rs

Les résultats du degré de peroxydation des lipides des filets de sardines fumées et grillées sont illustrés dans la **figure 44**.

Les teneurs en MDA apparaissent en concentrations supérieures dans les filets de sardines grillées que dans les filets fumés aux deux espèces végétales *O. europea* et *E. globulus* avec des écarts estimés à 21.87 % et 37.5 %, respectivement. Les effets de la cuisson se manifestent plus avec ce traitement thermique. Un enrichissement des filets en ce dérivé de la peroxydation des lipides apparaît plus important dans les filets grillés que dans les filets fumés (0,64 Vs 0,50 Vs 0,40 mg eq/kg). Selon **Durand et al (2006)**, la peroxydation des lipides est une des causes majeures de cette élévation. Les produits de l'oxydation des lipides sont associés à une

diminution de la valeur santé de la viande en générant des produits toxiques, dont le malondialdéhyde (**Gandemer et al, 1999**).

Il est intéressant de signaler que les résultats obtenus à travers notre expérimentation vont de pair avec ceux de **Moradi et al, (2009)** qui ont constaté que les mécanismes d'oxydation lipidique sont très répandus dans les préparations culinaires et le fumage.



Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type (n=20). Les moyennes affectées d'une lettre différente dans une même ligne indiquent un effet significatif du site de capture ($P < 0,05$).

Figure 44. Teneur en MDA des filets de sardine fumée et grillée (mg eq/kg de viande)

De plus, les niveaux d'évolution du MDA permettent de déduire que la peroxydation des lipides était faible dans les filets fumés que dans les filets grillés. Cela pourrait s'expliquer en grande partie par l'intervention des molécules responsables de la stabilité oxydative tels les polyphénols et les flavonoïdes contenus dans les deux espèces étudiées. Il semble que les antioxydants agissent favorablement contre les phénomènes de lipopéroxydation, ce qui confère aux extraits un effet de longue durée (**Eymard, 2003**).

D'autre part, les proportions élevées de MDA dans les filets grillés par rapport aux filets fumés peuvent s'expliquer par l'action du traitement thermique à haute température (150 °C),

favorisant l'accroissement des taux des composés toxiques provenant de la lipoperoxydation ; citant ici le malondialdéhyde (**Combes et Dalle Zotte., 2005**). Nos résultats sont comparables à ceux rapportés par **Sanchez-Escalante et al., (2003)** qui ont montré que l'extrait de Romarin retarde l'oxydation des lipides. Les extraits végétaux, riches en polyphénols sont responsables de la protection des viandes et poissons vis-à-vis de ces phénomènes de lipoperoxydation (**Mairesse et al., 2010**). Dans notre travail, le fumage des filets de sardine aux deux espèces végétales (*Eucalyptus globulus* et *Olea europea L.*) a entraîné une augmentation du pouvoir réducteur, par conséquent une élévation du pouvoir antioxydant qui s'est traduit par une stabilité oxydative par rapport aux filets grillés. En outre, cet effet était directement lié à la teneur en phénol, qui, comme prévu, était considérablement plus élevée avec le traitement de fumage (**Gómez-Estaca et al., 2011**).

Enfin, plusieurs recherches ont révélé que les muscles des poissons présentent une capacité réductrice endogènes mettant en jeu des composés antioxydants lipophiles (α -tocophérol, ubiquinone, caroténoïdes) et hydrophiles (glutathion, ascorbate) qui sont capables de piéger les radicaux libres, d'inactiver les enzymes et d'éliminer les espèces réactives de l'oxygène (**Gómez-Estaca et al., 2011**). Dans les conditions post-mortem, ces antioxydants endogènes sont utilisés séquentiellement et certaines études ont corrélé leur perte, en particulier la perte d' α -tocophérol, avec le développement de l'oxydation des lipides contenus dans les muscles des poissons (**Pazos et al, 2005**).

3-3- Propriétés sensorielles

Les histogrammes présentés ci-après, montrent clairement le pourcentage d'appréciation des différents critères qu'ont présentés les différents lots de sardines fumées aux deux espèces végétales *Olea europaea L.* et *Eucalyptus globulus* ainsi que le lot des sardines grillées. Cette appréciation des qualités sensorielles a fait appel à 15 individus de sexe différents en formant un « panel de dégustation ».

Les critères d'appréciation des lots de sardine ayant subi les différents traitements de fumage et de grillade sont présentés comme suit :

- **Couleur** : Claire, Foncée, Non déterminée
- **Texture** : Friable, Grasse, Humide dans la bouche
- **Jutosité** : Juteux, Moins juteux, Sec
- **Flaveur** : Médiocre, Bonne, Très bonne
- **Odeur de la fumée** : Agréable, Désagréable, Intense

3-3-1- La couleur

Dans cette partie de notre travail de recherche, 72 % des panélistes ont considéré que les sardines fumées à l'*Eucalyptus globulus* présentent une couleur claire, alors que 93 % et 72 % des dégustateurs ont apprécié une couleur foncée dans les lots de sardines fumées à l'*Olea europaea* et des sardines grillées (**Figure 45**).

Généralement, la couleur est l'un des paramètres d'évaluation de la qualité que les consommateurs cherchent dans le but d'accepter ou rejeter un produit alimentaire (**Idah et al, 2013**). Il importe de mettre en exergue que la couleur des viandes et poissons produites varie selon le traitement thermique appliqué (**Jeon et al., 2013**). Dans le même contexte, **Gutzke et Trout, (2002)** ont constaté que le niveau d'autoxydation de la myoglobine augmentait 5 fois pour chaque augmentation de température de 10°C. Selon **Ruiter (1979)**, la formation de la couleur sur la surface des produits fumés est due aux réactions des composés carbonylés provenant essentiellement de la réaction de Maillard.

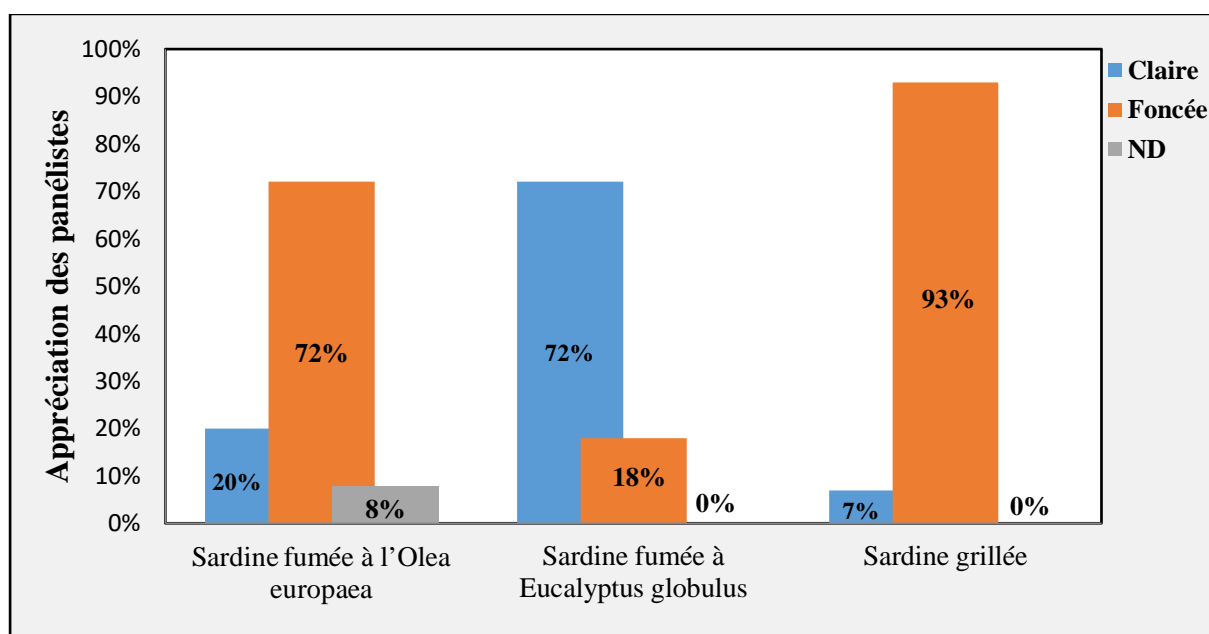


Figure 45. Évaluation de la couleur de la surface des filets de sardine fumés et grillés

3-3-2- La texture

En outre, la **figure 46** fait apparaître le critère «texture» des trois lots de sardine impliqués dans ce test. Il importe de noter que les échantillons de sardine fumée aux deux

espèces végétales (*Olea europaea* et *Eucalyptus globulus*) ainsi que la sardine grillée ont été jugés humides dans la bouche par 46 %, 60 %, 40 % des panélistes respectivement.

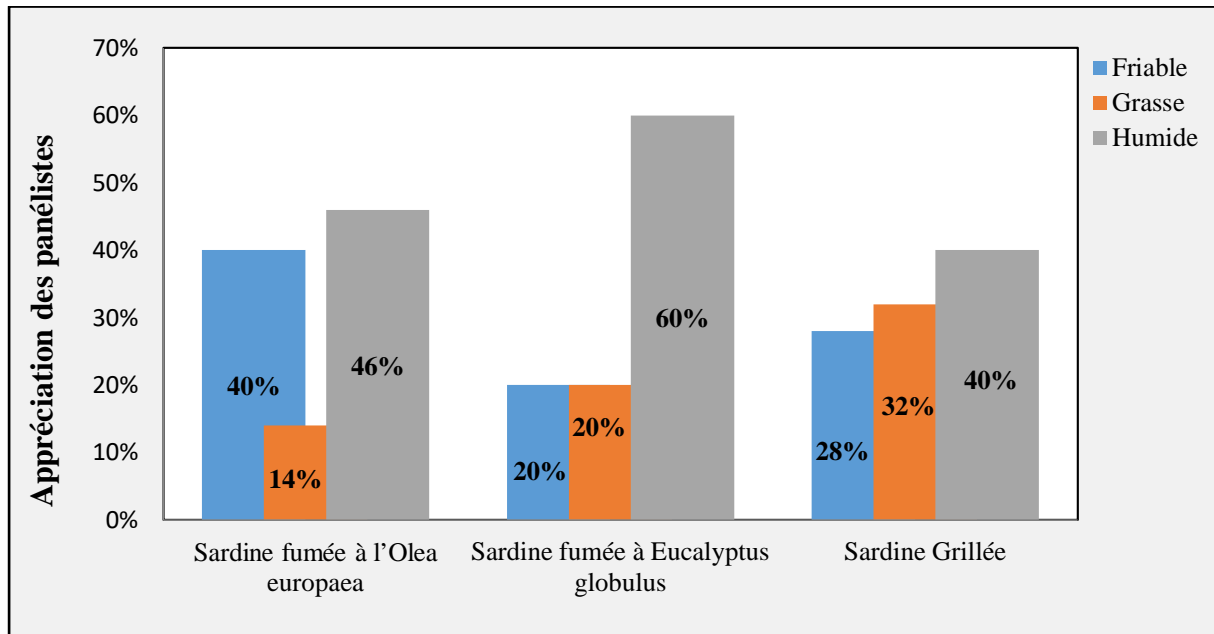


Figure 46. Évaluation de la texture des filets des sardines fumées et grillées

Selon **Gasperlin et al., (1999)**, la texture est un facteur par excellence de la qualité organoleptique des viandes. Dans les poissons fumés à chaud, les changements de texture sont principalement dus à la dénaturation des protéines par la chaleur (**Gill et al., 1992**). En outre, la teneur en eau contenue dans la chair des poissons influe fortement sur sa texture (**Rongrong et al., 1998**) ; plus la teneur en eau est faible, plus la texture des filets est ferme et vice versa. Une étude menée par **Martinez et al. (2007)** sur le saumon a révélé que la réduction de la teneur en eau suite au fumage est responsable de l'apparition d'une texture ferme. Ainsi, les composants de la fumée influent également sur la texture des poissons fumés (**Martinez et al, 2011**) en baissant le pH. Cela a pour conséquence une perte d'eau corrélée aux réactions des polyphénols et des carbonyles avec les protéines (**Hassan,1988**)

3-3-3- La jutosité

Pour ce qui est du paramètre de la jutosité, l'analyse sensorielle a révélé que les deux lots de *Sardina pilchardus* fumées aux deux espèces végétales étudiées ont été qualifiés comme « moins juteux » par la majorité des panélistes soit 47 % pour la sardine fumée à l'*Olea europaea* et 60 % pour la sardine fumée à *Eucalyptus globulus* 60 % (**Figure 47**). Cependant, la sardine grillée était jugée comme sèche par 47 % des panélistes. La jutosité ou succulence est l'aptitude de la viande à rendre du jus à la mastication, c'est donc la quantité d'eau que la

viande a conservé à l'issue de la cuisson (**Pascua et al., 2013**). Au cours de la cuisson, les pertes en eau peuvent aller de 15 % pour les viandes grillées à 30 % pour les viandes rôties, voire 40 % pour les viandes bouillies (**Vierling., 2008**).

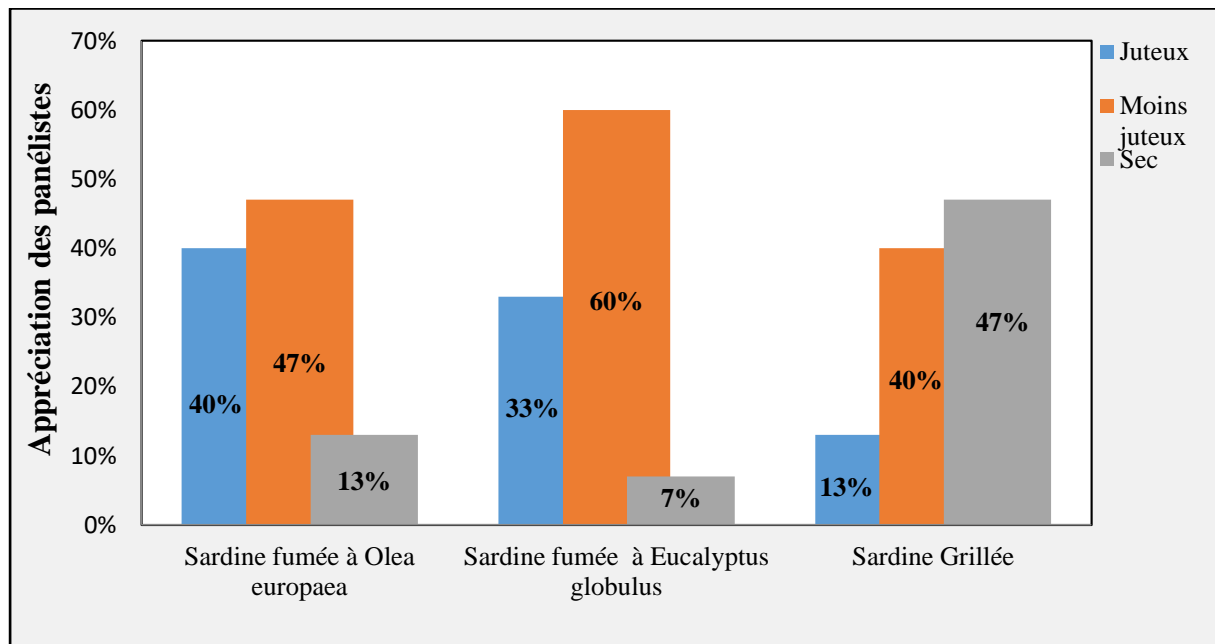


Figure 47. Évaluation de la jutosité des filets des sardines fumées et grillées

3-3-4- La flaveur

En ce qui concerne la flaveur, la **figure 48** met en relief l'appréciation de ce paramètre par les panélistes ayant participé dans ce test de dégustation. Les résultats dégagés ont révélé que 53 % des panélistes ont déduit que la sardine grillée présente une « très bonne flaveur » suivie par la sardine fumée à l'*Eucalyptus globulus* avec une appréciation de 47 % de l'ensemble des participants à ce test. Cependant, 66 % des panélistes ont jugé que la sardine fumée à l'*Olea europaea* présentait une « bonne flaveur ».

Au moment de l'application des traitements thermiques tels le fumage, les différents composés aromatiques responsables de la flaveur sont libérés (**Lameloise, 1984**). Il s'agit essentiellement des acides gras à courtes chaînes ; ces derniers jouent un rôle important dans l'apparition de la flaveur, en particulier les acides 4 méthyl-octanoïques et 4méthyl-monanoïque (**Brighi, 2017**). En outre, les phénols contenus dans les extraits végétaux contribuent aussi et favorablement dans l'apparition de la flaveur typique des produits fumés (**Knockaert, 1995**). Les composés de la fumée sont directement responsables de la flaveur dont les carbonyles qui sont à l'origine des flaveurs appréciées (**Aquimer, 2010**).

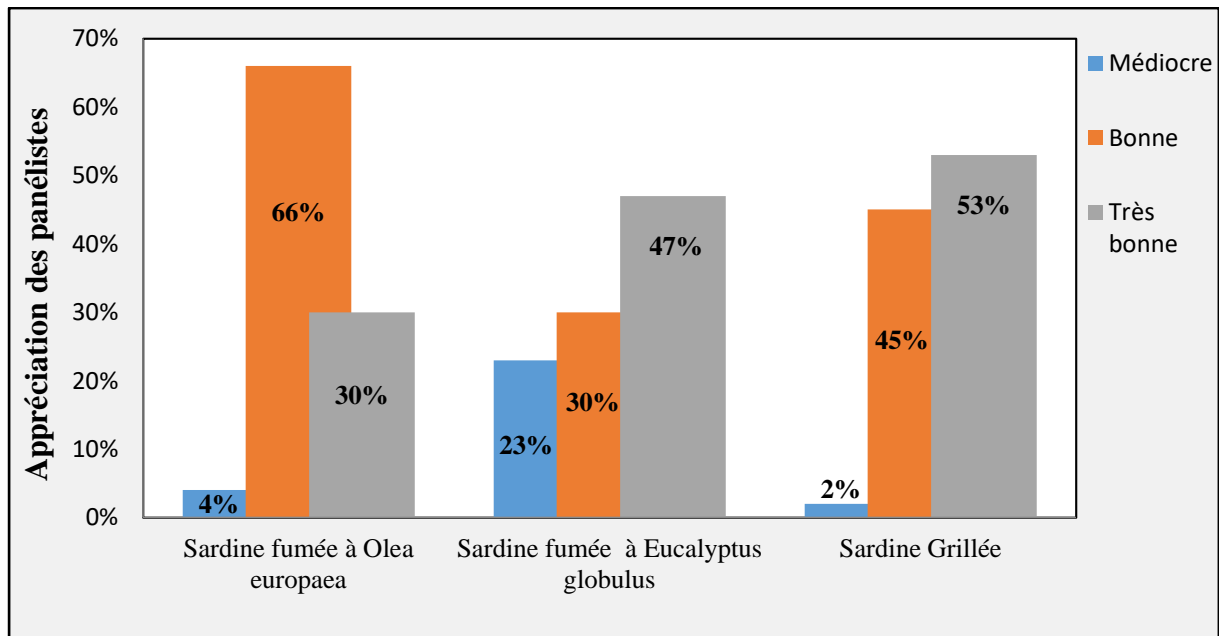


Figure 48. Évaluation de la flaveur des filets des sardines fumées et grillées

3-3-5- L'odeur

L'examen de dégustation des différents lots de sardines fumées et grillées a fait ressortir que l'ensemble des échantillons présentaient une « odeur agréable » avec les pourcentages suivant : 40 % pour la sardine fumée à l'*Olea europaea*, 74 % pour la sardine fumée à l'*Eucalyptus globulus* et 47 % pour la sardine grillée (**Figure 49**).

En effet, plusieurs composés volatils identifiés tels que les cétones, les aldéhydes, les alcools, les esters, les furannes ainsi que d'autres molécules sont responsables de l'apparition des odeurs caractéristiques des viandes et poissons après traitement thermique (Fumage et cuisson) (**Maga, 1987**). L'odeur est un paramètre important de la qualité des viandes et poissons, la présence d'une mauvaise odeur va décourager impérativement les consommateurs (**Idah et al., 2013**). Enfin, de nombreux auteurs ont affirmé que les aldéhydes provenant d'une part de l'oxydation des acides gras en particulier l'acide oléique, l'acide linoléique et l'acide arachidonique et d'autre part de la dégradation d'autres aldéhydes tels que le 2, 4- Décadiénal sont responsables dans certains cas de l'apparition d'odeurs désagréables pendant et après l'application des traitements thermiques (**Kerler&Grosch, 1997**).

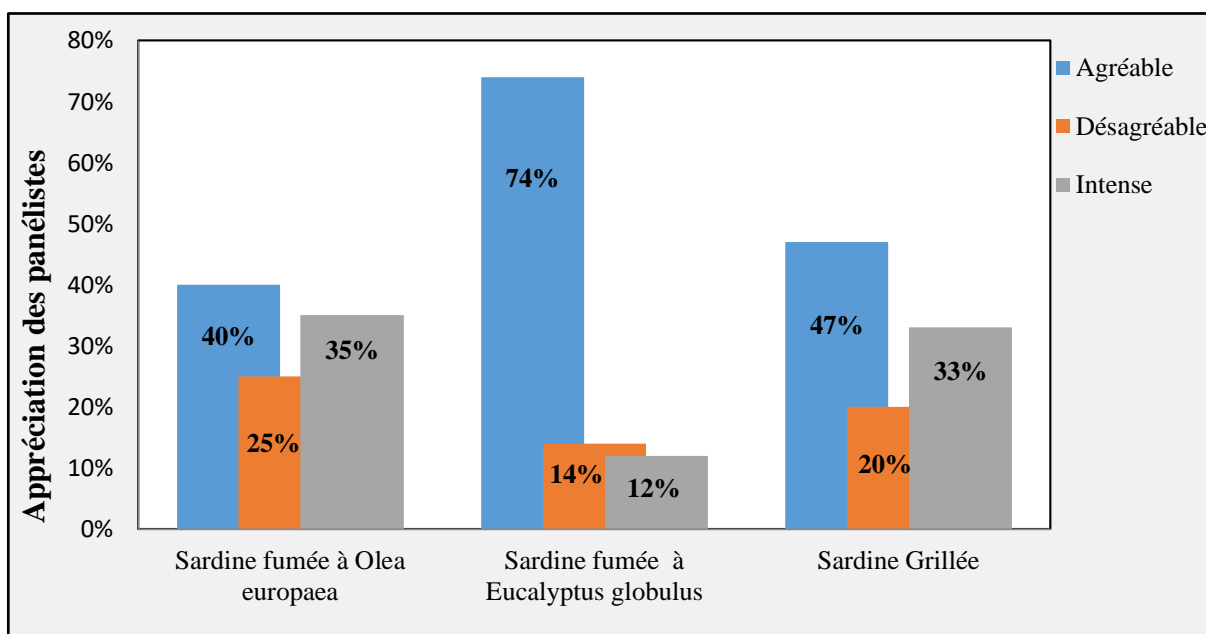


Figure 49. Évaluation de l'odeur des filets des sardines fumées et grillées

3-3-6- Appréciation finale

Enfin, plus de la moitié des panélistes (53%) ont apprécié favorablement les filets de sardine fumée à l'*Eucalyptus globulus* pour leurs qualités sensorielles remarquables alors que seulement 27% et 20% des participants dans ce test de dégustation ont préféré les sardines fumées à l'*Olea europaea* et les sardines grillées, respectivement (**Figure 50**).

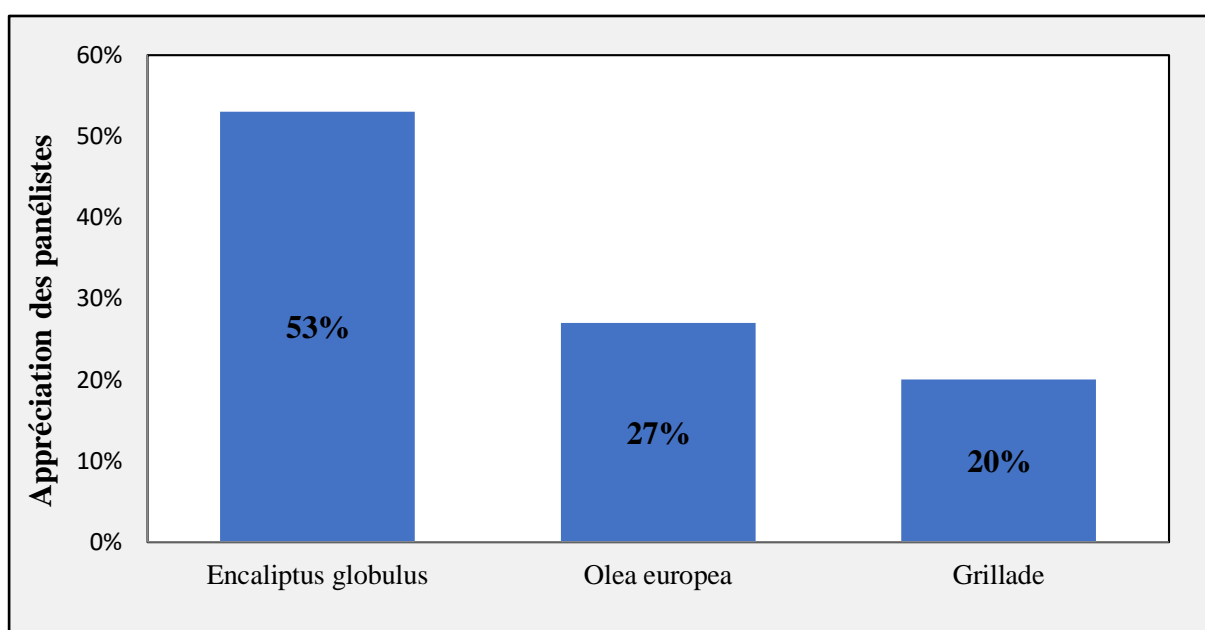


Figure 50. Préférence sensorielle des filets des sardines fumées et grillées par les panélistes

Conclusion générale

Le but de la présente thèse est de caractériser la sardine commune « *Sardina pilchardus* » capturée dans la côte algérienne (Ghazaouet, Beni Saf, Mostaganem, Alger et Jijel) sur le plan nutritionnel et toxicologique et d'étudier l'impact des traitements technologiques de cuisson et de fumage sur les phénomènes d'oxydations des lipides.

L'analyse détaillée de la composition biochimique, toxicologique et de l'oxydation lipidique, nous a permis d'établir des différences très nettes entre les sardines provenant des différentes zones de pêche.

Les teneurs en matière sèche et en matière minérale des différents filets de sardine étudiée apparaissent dans des proportions comparables ($P < 0,05$) avec des taux allant de 23,08g/100g à 27,02 g.100g⁻¹ et de 2,9 g.100g⁻¹ à 3,2 g.100g⁻¹, respectivement.

Les concentrations en protéines des différents échantillons de filet laissent observer que la sardine de Jijel présente le taux le plus élevé en protéines (22,98 g.100g⁻¹) dépassant largement celles de Ghazaouet, Mostaganem et de Beni Saf avec des différences de l'ordre de 3,27 g, 2,92 g et 2,42 g, respectivement ($P < 0,05$).

En ce qui concerne les lipides totaux, la sardine de Beni Saf demeure plus riche par rapport aux autres échantillons notamment ceux prélevés à Alger (10,07 g.100g⁻¹ Vs 7 g.100g⁻¹) avec une différence estimée à environ 1,5 fois.

Pour ce qui est des acides gras, leurs compositions a présenté des fluctuations considérables entre les différents échantillons de sardine étudiée dans notre expérimentation. En effet, les concentrations des acides gras saturés se situaient entre 35,50 % et 41,32 %. Les taux des acides gras mono-insaturés et des acides gras polyinsaturés ont changeaient de 14,22 à 22,27 % et de 36,63 à 47,96 % respectivement. Les acides gras identifiés laissent observer un profil dominé par : l'acide palmitique (C16 : 0 ; 20.10-27.84 %), l'acide oléique (C18: 1 ω -9 cis, 5.57-16.07 %), l'acide linoléique (C18 : 2 ω -6 ; 1.45-5.89 %), l'acide eicosapentaénoïque (EPA ; C20 : 5 ω -3 ; 7.60-15.75 %) et l'acide docosahexaénoïque (DHA, C22: 6 ω -3 ; 16.83 -33.42%).

Les proportions d'AGPI (ω -3) qui variaient de 29,4 % pour la sardine de Ghazaouet à 42,4 % pour la sardine de Mostaganem étaient nettement supérieures à celles des AGPI (ω -6) dont les concentrations étaient comprises entre 2,58 % pour la sardine d'Alger et 7,23 % pour la sardine de Ghazaouet. D'autre part, les taux en acide eicosapentaénoïque (EPA) les plus

importants ont été détectés dans les sardines de Beni saf et de Ghazaouet avec une contribution de l'ordre de 38,36 % et de 31 % du total des AGPI ($p < 0,05$). Cependant, les apports en acide docosahexaénoïque (DHA) étaient similaires dans les sardines d'Alger, de Mostaganem et de Jijel (69 % du total des AGPI) alors que les sardines de Beni Saf et de Ghazaouet ont laissé observer des concentrations distinctes estimées à 52 % et 46 % du total des AGPI, respectivement. Pour les AGMI, l'acide oléique (18: 1 cis ω -9) était le plus prépondérant en particulier dans la sardine d'Alger et de Jijel avec un apport de l'ordre de 72,91 % et de 72,15 % du total des AGMI.

Sur le plan toxicologique, les teneurs en plomb variaient de 0,013 mg/kg (Sardine de Ghazaouet) à 0,024 mg/kg (Sardine de Mostaganem) avec une différence estimée à 45 % ($P < 0,05$). Il en est de même pour le mercure avec des concentrations allant 0,077 mg/kg (sardine de Ghazaouet) à 0,129 mg/kg (sardine de Jijel) avec une différence de 40 % entre ces deux zones de capture ($P < 0,05$).

Présentement, les teneurs en MDA apparaissent en concentrations supérieures dans les filets de sardines grillées que dans les filets fumés aux deux espèces végétales préconisées dans notre expérimentation à savoir *O. europea* et *E. globulus* (0,64 mg eq/kg Vs 0,5 mg eq/kg Vs 0,4 mg eq/kg) avec des écarts estimés à 21,87 % et 37,5 %, respectivement.

À propos du test de dégustation, 53 % des participants ont apprécié les filets de sardine fumée à l'*Eucalyptus globulus* alors que 27 % et 20 % des panélistes ont préféré les sardines fumées à l'*Olea europaea* et les sardines grillées, respectivement.

Enfin, et à travers ces résultats, il nous est permis de déduire que la sardine algérienne serait une excellente source de nutriments essentiels aux besoins nutritionnels de l'homme. Cependant, la contamination de cette espèce de poisson par des agents toxiques tels les métaux lourds réduits considérablement sa valeur santé. D'autre part, le choix et la maîtrise des traitements technologiques de fumage et de cuisson sont nécessaires en vue de préserver les meilleures qualités de la viande d'une manière générale.

Dans l'éventualité d'une poursuite des recherches sur « la caractérisation nutritionnelle et toxicologique des poissons », il conviendrait de réaliser une étude comparative en touchant à d'autres poissons pélagiques tels le rouget (*Mullus barbatus*), le thon (*Thunnus thynnus*) et le maquereau (*Scomber scombrus*), espèces relevant de la côte Algérienne et d'autres côtes du bassin méditerranéen.

Références bibliographiques

A.E.E, 2002. Agence Européenne pour l'Environnement. Biogeographical regions and seas (La biodiversité en Europe-régions et mers biogéographiques, rapport sur des problèmes environnementaux publié par l'AEE (agence européenne pour l'environnement) copenhagen 2002.

A.E.E, 2006. Agence Européenne pour l'Environnement. Problèmes prioritaires pour l'environnement méditerranéen. Rapport n°4/2006.P93.

Abad, R. & Giraldez, A. (1993). Reproduccion, factor de condicion y talla de primer madurez de la sardina, *Sardina pilchardus* (Walb.), del litoral de Malaga, mar de Alboran (1989 a1992). Bol. Inst. Esp. Oceanogr., 9, 1, 145-155.

Aberoumand Ali, 2014. Nutrient composition analysis of gish fish filets affected by different cooking methods. International Food Research Journal 21(5): 1989-1991.

Abi-ayad S. M., E.-A., 1998. Etude expérimentale de la biologie de la reproduction de la perche fluviatile (*Perca fluviatilis*). Effet de la composition en acides gras de la série (n-3) de l'alimentation des géniteurs sur la qualité des œufs et des larves. Thèse de doctorat, faculté des sciences, Université de Liège, Belgique, 147p

Abou-Arab, A.A.K., Ayesh, A.M., Amra, H.A. and Naguib K., 1996. Characteristic levels of some pesticides and heavy metals in imported fish. *Food Chemistry*, 57(4), 487-492

Ackman, R.G. (1995). Composition and nutritional value of fish and shellfish lipids. In: Fish and Fisheries Products. Composition, Nutritive properties and stability, (ed : Ruitter, A.), CAB International, Wallingford, Oxon., UK., pp. 117-156.

AFNOR. (1985). Association Française de Normalisation. Aliments des animaux, méthodes d'analyses française et communautaire. 2eme édition, 200p.

AFSSA (2003). Acides gras de la famille omega 3 et système cardiovasculaire: intérêt nutritionnel et allégations. *Communiqué de l'AFSSA*, 70 pp.

Aidos, I., Van der Padt, A.V., Luten, J.B. et Boom, R.M., (2002). Seasonal changes in crude and lipid composition of herring filets, byproducts, and respective produced oils. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50(16): 4589-4599

Akrout A., Gonzalez L.A., El Jani H.J., and Madrid P.C. (2011). Antioxidant and antitumor activities of *Artemisia campestris* and *Thymelaeahirsuta* from southern of Tunisia. *J. Food. Chem. Tox.* 49: 342–347.

Aksnes, A., Gjerde, B., Roald S. V. (1986). Biological, chemical and organoleptic changes during maturation of farmed atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* 53, 7-20.

Alcicek, Z., and Atar, H. H. (2010). The effects of salting on chemical quality of vacuum packed liquid smoked and traditional smoked rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during chilled storage. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9, 2778–2783.

Aleman F and Alvarez F., 1993. Growth differences among sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) populations in western Mediterranean. *Sci. Mar.*, 57,229-234.

Algerian Ministry of Fisheries, 2013. Aquaculture. Rôle dans la contribution à la sécurité alimentaire. Retrieved from: http://mpeche.gov.dz/IMG/pdf/comm_unication_jma-mprh.pdf.

Alipour .H .J, Bahareh .S, Ali .S , Alireza .S .M., 2010. Effects of cooking methods on physico-chemical and nutritional properties of Persian sturgeon *Acipenser persicus* fillet. *Int Aquat Res* (2010) 2: 15-23 ISSN 2008-4935.

Al-Saghir S, Thurner K, Wagner KH, Frisch G, Luf W, et al. (2004). Effects of different cooking procedure on lipid quality and cholesterol oxidation of farmed salmon fish (*Salmo salar*). *J Agric Food Chem* 52: 5290-5296.

Amenzoui K., Tachinanate F.F., yahyaoui A., Kifani S and Mesfioui H., 2006. Analysis of the cycle of reproduction of *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) off Moroccan Atlantic coast. *C.R.Biologies* 329 (2006) 892-901.

ANSES, 2010. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). Consommation des poissons, Mollusques et crustacés : aspects nutritionnels et sanitaires pour l'Homme. Édition scientifique. www.anses.fr

Argenson C ; Régis S ; Jourdain J.M et Vaysse P., 1999. L'olivier. Ed : centre technique interprofessionnel des fruits et légumes. 204p.

Astruc, T., 2007. Unité: Qualités des Produits Animaux (QuaPA) - INRA de Clermont-Ferrand-Theix.

Aubourg S.P., Rodriguez A. & Gallardo J.M., 2004. Rancidity development during frozen storage of mackerel (*Scomber scombrus*): effect of catching season and commercial presentation. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 107: 316-323.

Aubourg, S.P., 2001. 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.

Aurelie, D., 2004. Caractérisation des risques induits par les activités agricoles sur les écosystèmes aquatiques. Thèse de 3ème cycle. Ecole nationale du génie rurale, des eaux et des forêts. Montpellier, 269 p.

Aursand M., Bleivik B., Rainuzzo J.R., Jorgensen L. & Mohr V., 1994.- *J. Sci. Food Agric.* **64**: 239-248.

Bachari Houma Fouzia, 2009. Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire. Thèse de doctorat en Sciences de l'Univers et Environnement. Université du Val de Marne Paris XII.

Badiani A., Stipa S., Bitossi F., Gatta P. P., Vignola G., & Chizzolini R. 2002. Lipid composition, retention and oxidation in fresh and completely trimmed beef muscles as affected by common culinary practices. *Meat Science*, 60, 169-186.

Bakun A., 1996. Patterns in the Ocean Processes and Marine Population Dynamics. University of California sea Grant, Sand Diego, California, Usa, in cooperation with centro de Investigaciones Biologicas de Noroeste, La Paz, Baja California Sur, Mexico, 323p.

Balde Mamadou, 2008. L'efficacité du ressuage réfrigéré des viandes de bovins aux abattoirs de Dakar. Mémoire de diplôme d'études approfondies de productions animales. Université de Dakar, Sénégal.

Bandarra, N.M., Batista, I., Nunes, M.L. and Empis, J.M., 2001. Seasonal variation in the chemical composition of horse-mackerel (*Trachurus trachurus*). *European Food Research Technology* 212 535-539.

Bandarra, N.M., Batista, I., Nunes, M.L., Empis, J.M. et Christie, W.W, 1997. Seasonal changes in lipid composition of sardine (*Sardina pilchardus*). *Journal of Food Science*, 62(1): 40-42

Bauchart D. and Thomas A, 2010. Facteurs d'élevage et valeur santé des acides gras des viandes dans « Muscle et Viande de Ruminant », Editions Quae, Versailles (D. Bauchart et B. Picard, coordinateurs), pp 131-142.

Bax ML., Bufère C., Hafnaoui N., Gaudichon C., SavaryAuzeloux I., Dardevet D., Santé-Lhoutellier V., Rémond D., 2013. Effects of Meat Cooking, and of Ingested Amount, on Protein Digestion Speed and Entry of Residual Proteins into the Colon: a Study in Minipigs. *PlosOne*, 8(4): e61252.

Beddou Fawzia, 2015. Etude phytochimique et activités biologiques de deux plantes médicinales sahariennes *Rumex vesicarius L. et Anvillea radiata Coss. & Dur.* Université Abou Bakr Belkaid- Tlemcen. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers. Thèse de Doctorat.

Bellwood, D.R., Hughes, T.R., Folke, C. and Nyström, M. (2004)- Confronting the coral reef crisis. *Nature* 429: 827-833.

Benecke, M., Gustav Eckert, K., Erber, B., 2004. Guide pratique de toxicologie, 1ere édition, édition De Boeck and Larciens.a., 348 pp.

Benhammou, N; Atik Bekkara, F; Kadifkova, P. 2007. Antiradical capacity of the phenolic compounds of *Pistacia lentiscus L.* and *Pistacia atlantica Desf* . *Advances in Food Sciences*. pp 29(3) .155-161

Bernal M., Stratoudakis Y., Coombs S., Angelico M.M., Lago de Lanzos A., Porteiro C., Sagarminaga Y ., Santos M., Uriarte A., Cunha E., Valdés L., Borchers D., 2007.Sardine spawning off the European Atlantic coast : Characterization of spatio-temporal variability in spawning habitat. *Prog.Oceanog.*, 74,210-227.

Besnard G., 2009. Génétique et évolution des plantes en milieu méditerranéen et tropical. Université de Lille 1. 45p.

Bhattacharya, S., Choudhury, G. S. and Studebaker, S. 1994. Color changes during thermal processing of Pacific chum salmon. *Journal of Aquatic Food Product Technology* 3: 39-48.

Bilgin, S., M. Ünlüsayin, L. Izci, and A. Günlü. 2008. The determination of the shelf life and some nutritional components of gilthead seabream (*Sparus aurata L., 1758*) after cold and hot smoking. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 32:49–56.

Binet D., Samb B., Taleb Sidi M., Levenez J.J., Servain J., 1998. Sardines and other pelagic fisheries changes associated with trade wind increases in the Canary current upwelling (26°N-14°N), late 1960s-early 1990. In : Durand M.H., Mendelssohn R., Cury P., Roy C., Pauly

D. (eds). Global versus local changes in upwelling systems. Collection & Séminaires. Orstom, Paris, pp. 211-233

Bliefert C, Perraud R. 2004. Chimie de l'environnement: Air, eau, sols, déchets. De Boeck Université. Pp. 373-374

Body, D.R. & Vlieg ,P. (1989). Distribution of the lipid classes and eicosapentaenoic (20:5) and docosahexaenoic (22:6) acids in different sites in blue mackerel (*Scomber australasicus*) fillets. *Journal of Food Science.* 54 569-572.

Bosh, A.C., O'Neill, B., Sigge, G.O., Kerwath, S.E. and Hoffman, L.C., 2015. Heavy metals in marine fish meat and consumer health: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(1), 32-48

Boubekri Chérifa, 2014. Etude de l'activité antioxydante des polyphénols extraits de *Solanum melongena* par des techniques électrochimiques. Université Mohamed Khider – Biskra, Faculté des Sciences exactes, des sciences de la nature et de vie. Thèse de Doctorat.

Boucheseiche C., Crémille E., Pelte T., Pojer K., (2002). Pollution toxique et écotoxicologie : Notions de base. Guide technique n°7 du SDAGE Rhône-Méditerranée-Corse, 83p.

Bouderoua, K., Mourot, J., Benmehdi-Tabet-Aoull, F. and Selselet-Attou G., 2011. 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.

Bourgou, S., Ksouri, R., Bellila, A., Skandrani, I., Falleh, H., Marzouk, B. (2008). Phenolic composition and biological activities of Tunisian *Nigella sativa* L. shoots and roots. *Comptes Rendus Biologies*, 331(1) : 48–55.

Bourre, J. M., 2003. Effect of animal feeding and nutritional value on derived products consumed by humans: are lipids concerned nearly exclusively?. *OCL Oleagineux, Corps Gras, Lipides* 10(5/6): 405-424.

Bousquet, J.C, 2003. Avis du conseil économique et social régional sur " les risques de pollution par hydrocarbure en méditerranée" seance plénière du 1 er decembre 2003

Boutiba, Z, 2004. Guid de l'environnement marin Edit : DAR EL GHARB,273 P

Bravo, L. (1998). "Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance." *Nutrition Reviews* **56**(11): 317-333.

Brighi Nabila, 2017. Caractéristiques Biochimiques, Nutritionnelles et de Flaveur des viandes d'Agneaux issus des Pâturages des Hauts Plateaux et des zones steppiques. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Université de Mostaganem.

Broadhurst, M. P., Wang, Y., Crawford, M. A., Cunnane, S. C., Parkington, J. E., and Schmidt, W. F. 2002. Brain-specific lipids from marine, lacustrine, or terrestrial food resources: Potential impact on early African Homo sapiens. *Comp. Biochem. Physiol.* **131**: 653–673.

Broyart B., (1998). Modélisation des phénomènes de transferts et des modifications de qualité induites lors de la cuisson d'un biscuit sec en continu. Thèse de doctorat, spécialité génie des procédés (ENSIA).

Bruneton J., 1999. Pharmacognosy Phytochemistry medical plants Lavoisier publishing, USA, New York 2:a upplagan s. 555-558

Burger, J., Gaines K.F., Shane Boring, C., Stephens W.L., Snodgrass, J., Dixon, C., McMahon, M., Shukla, S., Shukla, T. and Gochfeld M., 2002. Metal levels in fish from the Savannah River: potential hazards to fish and other receptors. *Environmental Research*, **89**, 85-87.

Burnol, A., Duro, L. M., Grive, M., 2006. Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les eaux souterraines. Rapport final, BRGM/RP-52910 -FR, 73pp.

Cahu C., Zambonino Infante J. L., & Takeuchi T., 2003 - Nutritional components affecting skeletal development in fish larvae. *Aquaculture*. **227**: 245-58.

Callender, E., 2003. Heavy Metals in the Environment-Historical Trends. In: B.S. Lollar (Ed.), *Environmental Geochemistry. Treatise on Geochemistry*. Elsevier-Pergamon, Oxford, pp. 67- 105.

Campo M.M., Nute G.R., Hughes S.I., Enser M., Wood J.D., Richardson R.I. 2006. *Meat Science*, **72** : 303-311.

Canli, M., Kalay, M., & Ay, Ö. (2001). Metal (Cd, Pb, Cu, Zn, Fe, Cr, Ni) concentrations in tissues of a fish *Sardina pilchardus* and a prawn *Penaeus japonicus* from three stations on the Mediterranean Sea. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **67**(1), 75–82.

Caponio.F, Lestingi.A, Summo.C, Bilancia M. T. & LaudadioV., 2004. Chemical characteristics and lipid fraction quality of sardines (*Sardina pilchardus* W.): influence of sex and length. *Journal. Appl. Ichthyol.* 20, 530–535 Blackwell Verlag, Berlin ISSN 0175–8659.

Chaiyapechara S, Casten MT, Hardy RW, Dong FM., 2003. Fish performance, fillet characteristics and health assessment index in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets containing adequate and high concentrations of lipid and vitamin E. *Aquaculture*, 219: 715–738.

Chen MH, Teng PY, Chen CY, Hsu CC., 2011. Organic and total mercury levels in bigeye tuna, *Thunnus obesus*, harvested by Taiwanese fishing vessels in the Atlantic and Indian Oceans. *Food Addit Contam. Part B.* 4:15–21.

Chen, I-C., Chapman, F. A., Wei, C-I., Porteir, K. M., & O’Keefe, S. F., 1995. Differentiation of cultured and wild sturgeon (*Acipenser oxyrinchus desotoi*) based on fatty acid composition. *Journal of Food Science*, 60(3), 631–635.

Chiara Copat., Francesca Bella., Marine Castaing., Roberto Fallico., Salvatore Sciacca and Margherita Ferrante., 2012. Heavy Metals Concentrations in Fish from Sicily (Mediterranean Sea) and Evaluation of Possible Health Risks to Consumers. *Bull Environ Contam Toxicol* (2012) 88:78–83.

Childs, M. T., King, I. B., & Knopp, R. H. (1990). Divergent lipoprotein responses to fish oils with various ratios of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids. *Animal Journal of Clinical Nutrition*, 52, 632–639

Chlaida, M. (2009). Variabilité allozymique associée au flux migratoire des populations de sardine, *Sardina pilchardus*, le long de la côte Nord Ouest africaine. *Université Mohammed v – agdal faculté des sciences (Rabat)*. pp 67.

Cillard J., 2011. Radicaux libres et vieillissement : Des aspects fondamentaux aux applications cliniques. 4eme Symposium International de Nutrition, Biologie de l’oxygène □ et de Médecine.

Cillard J., Cillard P., 2006. Mécanisme de la peroxydation lipidique et des antioxydants. *Ocl, oléagineux corps gras lipides*, 24-29.

Clandinin, M.T., Chappell, J.E., Leong, S., Heim, T., Swyer, P.R. et Chance, G.W, 1980. Extrauterine fatty acid accretion in infant brain: implications for fatty acid requirements. *Early Hum Dev*, 4(2): 131-8.

Çoğun, H., Yüzereroğlu, T. A., Kargin, F., & Firat, Ö. (2005). Seasonal variation and tissue distribution of heavy metals in shrimp and fish species from the Yumurtalık coast of Iskenderun Gulf, Mediterranean. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 75(4), 707–715.

Collignan A., Santchurn S., Zakhia-Rozis N., 2008. Dehydration of muscle foods. In: Hui Y. H., Clary C., Faid M., Fasina O., Noomhorn A., Welte-Chanes J., editors. *Food Drying Science and Technology: Microbiology, Chemistry, Application*. Destech Publications Inc., Lancaster, United Kingdom, 721-744.

Combe, N., 2003. Stabilité des oméga-3 selon les modes de chauffage et de conservation. *Medical Nutrition*, 1: 9-14.

Combes. S, Dalle Zotte .A, 2005. La viande de lapin : valeur nutritionnelle et particularités technologiques. 11èmes Journées de la Recherche Cunicole, 29-30 novembre 2005, Paris. P167-180.

Coombs S.H., Smyth, T.J., Conway, D.V.P., Halliday N.C., Bernal, M., Stratoudakis, Y., Alvarez, P., 2006. Spawning season and temperature relationships for sardine (*Sardina pilchardus*) in the eastern North Atlantic. *J.Mar.Biol.Ass. U.K.*, 86, 1245-1252

Corraze, G. & Kaushik, S., 1999. Lipids from marine and freshwater fish. *Oleagineux Corps Gras Lipides* 6: 111-115.

Cosgrove J.P., Church D.F., Pryor W.A., 1987. The kinetics of the autooxidation of polyunsaturated fatty acids. *Lipids*, 22 (5), 299-304.

Cury, P., Bakun, A., Crawford, R.J.M., Jarre, A., Quiñones, R.A., Shannon, L.J., Verheye, H.M., 2000. Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in "waspwaist" ecosystems. *Ices Journal of Marine Science*, 57, 603-618.

Dalouche, F., 1980. La pêche et ses statistiques dans la région oranaise. Etude de quelques caractères biologiques sur la sardine *Sardina pilchardus* (Walb, 1792), poisson téléostéen. *Thèse de magister*, Université d'Oran, pp 92.

De Koning A.J. et H Mol T. (1991) - Intérêt nutritionnel de la sardine fraîche pêchée en mer Méditerranée. *Cahiers de la Nutrition et de la Diététique*, 6: 12 pp.

Descalzo A.M., Insani E.M., Biolatto A., Sancho A.M., Garcia P.T., Pensel N.A., Josifovich J.A., 2005. Influence of pasture or grain-based diets supplemented with vitamin E on antioxidant/oxidative balance of Argentine beef. *Meat Science*, 70 (1), 35-44.

Descalzo A.M., Rosseti L., Biolatto A., Carduza F., Garcia P.T., Grigioni G.M., 2008. Antioxidant consumption and development of oxidation during ageing of buffalo meat in Argentina. *Meat Science*, 79 (3), 582-588.

Dewanto, V., Wu, X., Adom, K.K., Liu, R.H., 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.* 50, 3010–3014.

Diana Ansorena, Ainhoa Guembe, Tatiana Mendizábal, Iciar Astiasarán., 2010. Effect of Fish and Oil Nature on Frying Process and Nutritional Product Quality. *Journal of Food Science* 75(2):H62-7.

Din, J. N., Newby, D. E., and Flapan, A. D., 2004. Omega 3 fatty acids and cardiovascular disease fishing for a natural treatment. *Brit. Med. J.* 328: 30–35.

Dina Baghdadi Mazini., 2012. Pollution de l'environnement marin et santé humaine : Mesure, évaluation et Impact des contaminants chimiques et biologiques dans les produits de la pêche au niveau du littoral marocain. Thèse de Doctorat, Université Abdelmalek Essaadi. Faculté des Sciences et Techniques – Tanger.

Djeridane A., Yousfi M., Nadjemi B., Boutassouna D., Stocker P., Vidal N. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *J. Food Chem.* 97: 654–660.

Donniers P., 2007. « Pollution chimique en Méditerranée » CERBOM. (INSERM). Nice.

Dumay J., 2006 – Extraction des lipides en voie aqueuse par bioréacteur enzymatique combiné à l'ultrafiltration: Application à la valorisation de co-produits de poisson (*Sardina pilchardus*). Thèse de doctorat de l'université de Nantes. 318 pp

Durand D., Gruffat D., Ortigues-Marty I., Savary-Auzelou X I., Thomas E., Peyron A., Bauchart D., 2006. Impact de différents modes de cuisson de la viande bovine sur les processus de peroxydations lipidiques. 11èmes JSMTV - Clermont Fd - 2006 - Page 104.

Durazo-Beltran, E., Viana, M. T., D'Abramo, L. R., Toro-Vazquez, J. F. (2004). Effects of starvation and dietary lipid on the lipid and fatty acid composition of muscle tissue of juvenile green abalone (*Haliotis fulgens*). *Aquaculture* 238(1-4), 329-341.

El Affifi M., Bouderoua K., Mourot J., 2011. Effet de la cuisson sur les lipides et la composition en acides gras de la viande d'agneau d'herbe. Université de Mostaganem. Nutrition clinique et métabolisme S52-S153/ cahier de nutrition et de diététique.

El-Haci, I-A., Atik Bekkara, F., Mazari, W., Gherib, M., 2013. Phenolics content and antioxidant activity of some organic extracts of endemic medicinal plant *Anabasis aretioides* Coss. & Moq from Algerian Sahara. *Pharma J*, 5 :108–112.

Erkan, N., S., Ulusoy, and S., Y. Tosun., 2011. Effect of combined application of plant extract and vacuum packaged treatment on the quality of hot smoked rainbow trout. *J. Für. Verbrauch. Lebensm.* 6:419–426.

Eroldogan, O. T., Kumlu, M., Aktas, M., 2004. Optimum feeding rates for European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. reared in seawater and freshwater. *Aquaculture* 231(1-4), 501-515.

Esterbauer H., 1993. Cytotoxicity and genotoxicity of lipids-oxidation products. *Am J Clin Nutr*, 57 (5), S779-S786.

Ettahiri O., Berraho A., Vidy G., Ramdani M., Do chi T., 2003. Observation on the spawning of *Sardina* and *Sardinella* off the south Moroccan Atlantic coast (21-26°N). *Fisheries Research* 60: 207-222.

Evenepoel, P., Claus, D., Geypens, B., Maes, B., Hiele, M., Rutgeerts, P., & Ghoois, Y., 1998. Evidence for impaired assimilation and increased colonic fermentation of protein, related to gastric acid suppression therapy. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 12(10), 1011-1019.

Eymard S., 2003. Mise en évidence et suivi de l'oxydation des lipides au cours de la conservation et la transformation du Chinchard : choix des procédés. Thèse de doctorat Biochimie. Ecole polytechnique de l'université de Nantes. France.

F.A.O., 1994. Food and Agriculture Organization of the United Nations inform Fishery statistics, yearbook 1992. (82: 187-188) Rome (Italy)

Falleh, H., Ksouri, R., Chaieb, K., Karray-Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba, M., Abdelly, C. (2008). Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities. *Comptes Rendus Biologies*, 331(5): 372–379.

FAO, 1990. Manual on simple methods of meat preservation. *Animal production and health paper*, 91, FAO, Rome, Italie, 45p.

FAO, 2001. Sardine otolith workshop.FAO Fisheries Report, 685,49pp.

FAO, 2007. Report of the working Group on the assessment of small-pelagic fish off northwest Africa. FAO Fisheries Report, 849,3pp.

Farida, L., 2007. Annaba ; pollution marine des cotes algériennes. Revue de presse du 15 mars 2007, El Moudjahid.

Faustman C, Chan W.K.M, Schaefer D.M., Havens A., 1998. Beef color update : the role of vitamin E. J anim Sci, 76 (4), 1019-1026.

Favier Alain, 2003. Le stress oxydantIntérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. L'actualité chimique, P.108-115.

Favier, A., 1997. Le stress oxydant: intérêt de sa mise en évidence en biologie médicale et problèmes posés par le choix d'un marqueur. Ann. Biol. Clin. 55, (1), 9-16.

Flourie F., Arab K., Rossary 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, J., Lees, M. and Sloane Stanley, G.H., 1957. A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissues. *The Journal of Biological Chemistry*, 226, 497–509.

Forest, A. (2001). Ressources halieutiques hors quotas du Nord Est Atlantique: bilan des connaissances et analyse de scénarios d'évolution de la gestion. *Ifremer Eds, tome 2*: 215 pp.

Frankel E.N., 2005. Lipid oxidation. In the oily press, 470p.

Frankel, E.N., Waterhouse, A.L., Teissedre, P.L., 1995. Principal phytochemicals in selected California wines and their antioxidant activity in inhibiting oxidation of human low-density lipoproteins. J Agrand Food Chem, 43 (4): 890–894.

Frigg M, Prabucki AL, Rudhel EU, 1990. Effect of dietary vitamin E levels on oxidative stability of trout filets. Aquaculture, 84: 145-158

Gandemer G. 1999. Lipids and meat quality: lipolysis, oxidation, Maillard reaction and flavour. Science des Aliments, 19, 439-458.

Gandemer G., 1992. Les cahiers de l'ENSBANA, 8, 25-48.

Gandemer G., 1997- Phospholipides, lipolyse, oxydation et flaveur des produits carnés. *OCL*. Vol. 4, pp 1-7

Gandemer G., Duchène C., 2015. Effets de la cuisson sur la composition des viandes. Viande, Sciences et Société (CIV). Tour Mattei 207, rue de Bercy .75012 PARIS

Ganias K., Somarakis S., Koutsikopoulo, C., Machias A., 2007. Factors affecting the spawning period of sardins in tow highly oligotrophic Seas. *Mar. Biol.*, 4, 1559-1569.

Garcia Arias, M. T., Alvarez-Pontes, E., Garcia-Linares, M. C., GarsiaFernandez, M.C. and Sanchez, F. J. 2003. Cooking-freezing-reheating (CFR) of sardine (*Sardina pilchardus*) fillets. Effect of different cooking and reheating procedures on the proximate and fatty acid compositions. *Food Chemistry* 83: 349-356

Garcia Arias, M. T., Pontes., E. A., Fernandez, M. C. G., and Muniz, F. J. S. 2003. Freezing, defrosting, frying of sardine fillets. Influence of slow and quick defrosting on protein quality. *J. Sci Food Agr.* 83: 602–608.

Garcia-Arias, M. T., A ´lvarez-Pontes, M. E., GarcO´a-Linares, M. C., Garcia-Ferna´ ndez, M. C., & Sa´nchez-Muniz, F. J., 2002. Effects of grilling on the protein composition of fresh, frozen and refrigerator or microwave defrosted sardine fillet (*Clupea pilchardus*). *LebensmittelWissenschaft and Technologie* (in press).

Gardeli, C., Papageorgiou, V., Mallouchos, A., Kibouris, T., Michael Komaitis., 2008. Essential oil composition of *Pistacia lentiscus* L. and *Myrtus communis* L.: Evaluation of antioxidant capacity of methanolic extracts, *Food Chemistry*, vol.107, pp. 1120- 1130.

Gasperlin, Zlenderl, & Varga, 1999. The Colour and Texture of Broiler Breast Meat Related to Different Conditions of Rearing and Chilling. *Acta Agraria Kaposváriensis*. 3 : 195-202.

Gatellier, p., Yoon, k., Greve, e., Portanguen, s., Kondjoyan, a., Sante-Lhoutellier,v. Effet de la cuisson de la viande sur l’oxydation des proteines, 2008. INRA, UR370 QuaPA, 63122 Saint Genès Champanelle.

Gatellier, Ph., Santé-Lhoutellier, V., Portanguen, S., & Kondjoyan, A., 2009. Use of meat fluorescence emission as a marker of oxidation promoted by cooking. *Meat Science*, 83, 651–656.

Genot, C., 1996. Some factors influencing TBA test, Annual report of the Vth PCRDEU project: Dietary treatment and oxidative stability of muscle and meat products: nutritive value, sensory quality and safety (Diet-ox) Report of diet-ox project, AIRIII-CT- 92-1577.

Gesamp Jaque., 1997). IMO/FAO/Unesco/WMO/WHO/IAEA/UN/Unep. Joint Group of Experts on Scientific Aspects of Marine Pollution. Report of the Thirty-third session, Working group on the evaluation of the hazards of harmful substances carried by ships, EHS/Feb 97, International Maritime Organization, London.

Ghaly, A.E., Ramakrishnan, V.V., Brooks, M.S., Budge, S.M. and Dave, D., 2013. Fish processing wastes as a potential source of proteins, amino acids and oils: A critical review. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, 5, 4.

Giannoulaki, M., Machias, A., & Tsimenides, N. (1999). Ambient luminance and vertical migration of the sardine *Sardina pilchardus*. *Marine Ecology Progress Series* 178: 29-38.

Gill T.A., Chan J.K., Phonchareon K.F. and Paulson A.T. 1992. Effect of salt concentration and temperature on heat-induced aggregation and gelation of fish myosin. *Food Research International* 25: 333–341.

Ginsberg GL, Toal BF., 2009. Quantitative approach for incorporating methylmercury risks and omega-3 fatty acid benefits in developing species-specific fish consumption advice. *Environ Health Perspect* 117:267–275

Girard S., Pacquotte P., 2003- *Cah. Nutr. Diet.* 38, 1: 17-28.

Gladine C., Rock E., Gruffat D., Bauchart D., Durand D., 2007. The antioxidant effect of plant extracts rich in polyphenols is tissue specific in rats fed a n-3 PUFA rich diet. *Animal Feed Science Technology*, 139 (3-4), 257-272.

Gladyshev MI, Sushchik NN, Gubanenko GA, Demirchieva SM, Kalachova GS., 2006. Effect of way of cooking on content of essential polyunsaturated fatty acids in muscle tissue of humpback salmon (*Oncorhynchus gorbusha*). *Food Chem* 96(3):446-451.

Gökçe, M.A., Tasbosan ,O., Celik ,M., Tabakoglu,S.S., 2004. Seasonal Variations in Proximate and Fatty Acids Compositions of female common sole (*Solea solea*). *Food Chemistry*,88,419-423.

Gokoglu N, Yerlikaya P, Cengiz E. 2004. Effects of Cooking Methods on the Proximate Composition and Mineral Contents of Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Food Chem*, 84:19-22.

Gómez-Estaca, J ; Gómez-Guillén, MC ; Montero, P ; Sopelana, P ; Guillén, MD. 2011. Oxidative stability, volatile components and polycyclic aromatic hydrocarbons of cold-smoked sardine (*Sardina pilchardus*) and dolphinfish (*Coryphaena hippurus*). *LWT - Food Science and Technology*, 44, 1517-1524.

Goulas, A. E., and M. G. Kontominas. 2005. Effect of salting and smoking-method on the keeping quality of chub mackerel (*Scomber japonicus*): biochemical and sensory attributes. *Food Chem*. 93:511–520.

Guérin, T., Chekri, R., Vastel, C., Sirot, V., Volatier, J. L., Leblanc, J. C., & Noël, L. (2011). Determination of 20 trace elements in fish and other seafood from the French market. *Food Chemistry*, 127(3) , 934–942.

Gülgün F. Ünal Şengör , Didem Üçok Alakavuk , Ş. Yasemin Tosun & Şafak Ulusoy, 2010. The Chemical and Sensory Quality of Smoked Sturgeon (*Huso huso*): A Case Study. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 19:310–317.

Gutzke, G., and Trout, G.R., 2002. Temperature and pH dependence of the autoxidation rate of bovine, ovine, porcine and cervine oxymyoglobin isolated from three different muscles — *Longissimus dorsi*, *Gluteus medius*, and *Biceps femoris*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, pp. 2673–2678.

Haak, L., Raes, K., Smet, K., Claeys, E., Paelinck, H., & De Smet, S. (2006). Effect of dietary antioxidant and fatty acid supply on the oxidative stability of fresh and cooked pork. *Meat Science*, 74, 476–486.

Haard NF, 1995. Composition and nutritive value of fish protein and other nitrogenous compounds. In : “Fish and Fishery Products. (A. Ruiter ed).” .CAB International, Oxon (UK), pp 77-115.

Haard, N.F., 1992. Control of chemical composition and food quality attributes of cultured fish. *Food Research International*, 25(4): 289-307.

Hadri Nassira, 2015. Etude phytochimique et activité antioxydante d’extraits de plantes *Sedum villosum* L. (Orpin.) et *Anabasis articulata* Moq. (Forsk.). Thèse de doctorat. Faculté

des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers. Université deTlemcen.

Hakimeh. J. A, Akram.A.A, Bahareh.S et Alireza.S.M. 2010. Physicochemical and sensory properties of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets as affected by cooking methods. *International Food Research Journal* 17: 921-926.

Hallé H., 2002. Consommation de viande et cancer colorectal chez l'homme : une revue de l'épidémiologie et des mécanismes. Ecole Nationale de Veterinaire de Toulouse. France

Halliwel B.& Chirico S., 1993. Lipid-peroxidation-its mechanism, measurement, and significance. *Am. J. Clin. Nutr.* 57: 715–725.

Harris P., 1994. Rancidity in fish. In: Rancidity in foods. Eds. Allen J., Hamilton R. Chapman & Hall, London (UK), pp 256-272.

Hassan I.M., 1988. Processing of smoked common carp fish and its relation to some chemical, physical and organoleptic properties. *Food Chemistry* 27: 95–106.

Henderson R. J. & Tocher D. F. R., 1987 - The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Prog. Lipid Res.* 26 : 281-347.

Hidalgo J., Zamora R. & Giron J., 1992. Grasas Acietes. 28: 43-97/100. In. Aubourg S.P., 1998.

Huang, T. L., Zandi, P. P., Tucker, K. L., Fitzpatrick, A. L., Kuller, L. H., Fried L. P., Burke, G. L. and Carlson, M. C. 2005. Benefits of fatty acid on dementia risk are stronger for those without APOE 4. *Neurology* 65: 1409-14.

Huang, T. L., Zandi, P. P., Tucker, K. L., Fitzpatrick, A. L., Kuller, L. H., Fried L. P., Burke, G. L. and Carlson, M. C. 2005. Benefits of fatty acid on dementia risk are stronger for those without APOE 4. *Neurology* 65: 1409-14

Huda, N., and R. S. Dewi. 2010. Traditional smoked catfish, effects on amino acid profile. *J. Fish. and Aquac. Sci.* 5:106–112.

Huss .H .H., (1988). Fresh fish quality and quality changes. FAO, Rome, Italy.

Idha H, Peter Aba Nwankwo , Ifannyi, 2013. Effects of smoke-drying temperatures and time on physical and nutritional quality parameters of Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Fisheries and Aquaculture* Vol. 5(3), pp. 29-34,

Ingemansson T., Olsson N.U., Herslöf B.G., Ekstrand B., 1991- *J. Sci. Food Agric.* 57: 443-447.

Pincemail, J.C. Heusele, F. Bonté , R. Limet et J.O. Defraigne, 2001. Stress oxydant, antioxydants nutritionnels et vieillissement. Act. Méd. Int. - Métabolismes - Hormones - Nutrition, Volume V, n° 4, juillet-août 2001.

Jensen I.J., Dort J., Eilertsen K.E., 2014. Proximate Composition, Antihypertensive and Antioxidative Properties of the Semimembranosus Muscle from Pork and Beef after Cooking and in Vitro Digestion. *Meat Science*, 96, 916-921.

Jeon, S.M., Xiao, C., Finley, L.W., Lahusen, T., Souza, A.L., Pierce, K., Li, Y.H., Wang, X., Laurent, G., German, N.J., 2013. SIRT4 has tumor-suppressive activity and regulates the cellular metabolic response to DNA damage by inhibiting mitochondrial glutamine metabolism. *Cancer Cell*. 23, 450–463.

Jobling, M. & Bendiksen, E.Å. (2003). Dietary lipids and temperature interact to influence tissue fatty acid compositions of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr. *Aquac. Res.* 34: 1423-1441.

Judé, S., Roger, S., Martel, E., Besson, P., Richard, S., Bougnoux, P., Champeroux, P. & Le Guennec, J.Y.,(2006). Dietary long-chain omega-3 fatty acids of marine origin : a comparison of their protective effects on coronary heart disease and breast cancers. *Prog. Biophys. Mol. Biol.* 90 : 299-325.

Kadim, I.T., Kadim, M.R., Al-Ani, R.S., Al-Maqbaly, M.H., Mansour, O., Mahgoub, E.H., Johnson, 2011. Proximate, amino acid, fatty acid and mineral composition of raw and cooked camel (*Camelus dromedarius*). *British Food Journal*, 4, pp. 482–494.

Kagan, V.E., 1988. In *Lipid Peroxidation in Biomembranes*, CRC Press, Boca Raton, Florida, p. 29

Kalilou S., 1997. Transformation traditionnelle de la viande en kilichi au Niger, optimisation des procédés, Thèse de doctorat en Génie des procédés de l’Ecole Nationale Supérieure des Industries Alimentaires, Massy, France, 1-125.

Kang D.G., Yun C.K., and Lee H.S. (2003). Screening and comparison of antioxidant activity of extracts of herbal medicines used in Korea. *Journal of Ethnopharmacol.* 87:231-236.

Kargin, F., Dönmez, A. and Çoğun, H.Y., 2001. Distribution of heavy metals in different tissues of the shrimp *Penaeus semiculatus* and *Metapenaeus monocerus* from the

Iskenderun Gulf, Turkey: seasonal variations. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 66, 102–109.

Kaschner, K., Rius-Barile J., Kesner-Reyes K., Garilao C., Kullander S.O., Rees T., & Froese R. (2013). AquaMaps: Predicted range maps for aquatic species. *World Wide Web electronic publication*, www.aquamaps.org, Version 08/2013.

Kasi Marimuthu, Anne David Geraldine, Sathasivam Kathiresan, Rathinam Xavier, Jesu Arockiaraj, and Subramaniam Sreeramanan, 2014. Effect of Three Different Cooking Methods on Proximate and Mineral Composition of Asian Sea Bass (*Lates calcarifer*, Bloch). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 23:468–474.

Kaya, Y., Turan, H., and Erdem, M. E. 2008. Fatty acid and amino acid composition of raw and hot smoked sturgeon (*Huso huso*). *Intern. J. Food Sci. Nutr.* 59(7–8):635–642.

Kayhan, F.E., Muslu, M.N., Colak, S., Koc, N.D. and Colak, A., 2010. Lead (Pb) levels in liver and muscle tissues of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus* Linnaeus, 1758). *Ekoloji*, 19(76), 65-70

Kenny, T.P., Keen, C.L., Schmitz, H.H., Gershwin, M.E. (2007). Immune effects of cocoa procyanidin oligomers on peripheral blood mononuclear cells. *Exp Biol Med*, 232:293–300.

Kerler, J., & Grosch, W., 1997. Character impact odorants of boiled chicken: changes during refrigerated storage and reheating. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*, 205(3), 232-238.

Kherraz Ali, 2015. Biologie et dynamique de la population exploitée du rouget de roche *Mullus surmuletus* (Linné, 1758) pêché dans la région de Mostaganem. Thèse de doctorat sciences de l'environnement, *Université d'Oran Ahmed BEN BELLA 1*.

Kiessling, A., Pickova, J., Johansson, L., Åsgård, T., Storebakken, T., Kiessling, K. H. (2001). Changes in fatty acid composition in muscle and adipose tissue of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in relation to ration and age. *Food Chemistry* 73(3), 271-284.

Kinsma, Kotula, 1994. Muscle food. Chapman et Hall, N° 430-455.

Kjeldahl, J. (1883). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern, *Z. Anal. Chem.* 22, 366-382

Knockaert C., 1999. *Le fumage de poisson*. Collection valorisation des produits de la mer. Ed. Ifremer, Brest. 174 p.

Knockaert C., 1995. *Le fumage de poisson*, Collection valorisation des produits de la mer, Ed. Ifremer, Brest, France, 174 p.

Kocatepe Demet, Hülya Turan, Gökay Taşkaya, Yalçın Kaya, Rabiya Erden, Fulya Erdoğan, 2011. Effects of cooking methods on the proximate composition of black sea anchovy (*Engraulis encrasicolus*, Linnaeus 1758). *GIDA* (2011) 36 (2): 71-75.

Kondjoyan., A, 2008. La cuisson des viandes et produits carnes et le couplage avec les réactions à l'origine de la qualité. UR370 Qualité des Produits Animaux, INRA, F-63122 Saint Genès Champanelle.

Kone Donatien, 2009. Enquête ethnobotanique de six plantes médicinales maliennes - extraction, identification d'alcaloïdes - caractérisation, quantification de polyphénols : étude de leur activité antioxydante. Thèse de Doctorat. Faculte des sciences et techniques (fast-ub). Université de Bamako.

Kosar M; Dorman H.J.D. & Hiltunen R., 2005. Effect of an acid treatment on the phytochemical and antioxydant characteristics of extracts from selected Limiaceae species. *Food Chemistry*, 91, p525-533

Krauss, R. M., Eckel, H. R., Howard, B., Appel, L. J., Daniels, S. R., Deckelbaum, R. J., Erdman, J. W., Kris-Etherton, P., Goldberg, I. J., Kotchen, T. A., Lichtenstein, A. H., Mitch, W. E., Mullis, R., Robinson, K., Wylie-Rosett, J., Jeor, S. S., Suttie, J., Tribble, D. L., & Bazzarre, T. L., 2000. AHA dietary guidelines. Revision 2000: a statement for healthcare professionals from the Nutrition Committee of the American Heart Association. *Circulation*, 102, 2284–2299.

Kubow S., 1992. Routes of formation and toxic consequences of lipid oxydation-products in foods. *Free radic biol Med*, 12 (1), 63-81.

Kucuksezgin F., Kontas A., Altay O., Uluturhan E., Darilmaz E., 2006. Assessment of marine pollution in Izmir Bay: Nutrient, heavy metal and total hydrocarbon concentrations. *Environment International* 32: 41-51.

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.

Lafabrie C., 2007. Utilisation de *Posidonia oceanica*(L) Delile comme bio-indicateur de la contamination métallique. Thèse de Doctorat en écologie marine. Université De Corse 158p.

Lall S, 1995. Macro and trace elements in fish and shellfish. In : “ Fish and Fishery Products. (A. Ruiter ed).” CAB International, Oxon (UK), pp 187-213.

Lameloise P., Roussel-Ciquard N., Rosset R., 1984. Evolution des qualités organoleptiques : les viandes : hygiène, technologie. Inf. Tech. Serv. Vet., 88-91, 121-125.

Laurent C., 1981. Conservation des produits d'origine animale en pays chauds, ACCT, Paris, France, 157 p.

Lavoué S., Miya, M., Saitoh K., Ishiguro, N. B., Nishida M., 2007. Phylogenetic relationships among anchovies, sardines, herrings and their relatives (Clupeiformes), inferred from whole mitogenome sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 43 (2007) 1096–1105

Lawrence GD., 2013. Dietary fats and health: dietary recommendations in the context of scientific evidence. *Adv Nutr.*4:294---302.

LeGalle J., 1938. *Le fumage de poisson.* Laboratoire de l'Office Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, Boulogne-sur-Mer. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes (ISTPM)*, 1938/03, Volume 11, Issue 1, 59-106.

Leaf, A., and Weber, P. C., 1988. Cardiovascular effects of n-3 fatty acids. *New Engl. J. Med.* 318(9): 549–557.

Lefevre G., Beljean-Leymarie M., Beyerel F., Bonnefont—Rousselot D., Cristol J.P., Therond P., Torreilles J., 1998. Evaluation of lipid peroxidation by assaying the thiobarbituric acid-reactive substances. *Ann Biol Clin (Paris)*, 56 (3), 305-319.

Leonardis, A.A., Macciola, V. (2004). A study on the lipid fraction of Adriatic sardine filets (*Sardina pilchardus*). *Nahrung/Food*, 48, 209-212.

Lewis m.a., Scott G.I., Bearden D.W., Quarles R.L., Moore J., Strozier E.D., Sivertsen S.K., Dias A.R., Sanders M. (2002). Fish tissue quality in near-coastal areas of the Gulf of Mexico receiving point source discharges. *Sci. Total Environ.*, 284, 249–61.

Li GP, Sinclair AJ, Li D, 2011. Comparison of Lipid Content and Fatty Acid Composition in the Edible Meat of Wild and Cultured Freshwater and Marine Fish and Shrimps from China. *Journal of agricultural and food chemistry* 59, 1871 - 1881.

Lindqvist, O. (1991). Mercury in the Swedish environment. recent research on causes, consequences and corrective methods. *Water Air Soil Pollut* 55: 261.

Luo, X.D., Basile, M.J., Kennelly, E.J. (2002). Polyphenolic antioxidants from the fruits of *Chrysophyllum cainito* L. (star apple). *J Agri Food Chem*, 50 (6): 1379–1382.

Lynch M.P., Faustman C , Silbart L. K., Rood D., Furr H. C, 2001. Detection of lipid-derived aldehydes and aldehyde : proteine adducts in vitro and in beef. *Journal of food Science*, 66 (8), 1093-1099.

Maas Van Belkel B., Van Den Boogaard B., Heijnen C., 2005. La conservation de la viande et du poisson, *Agrodok 12*. FondationAgromisa, Wageningen, Pays-Bas, 90 p.

Maga J.A et Chen Z, 1985. Pyrasine composition of woodsmok as influenced by wood source and smock generation variables. *Flavour and Fragrance J*; 1, 37-42.

Mahmoud, S & Benkaka, K., 2007- Effet du mode de conservation sur l'oxydation des lipides ; concentration en malodialdéhyde (TBARS) chez *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) et *Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758). Mémoire d'ingénieur. Univ. D'Oran, Es Sénia. 29p.

Mairesse G., Benet M., Mourot J. 2010. 13èmes JSMTV, Viandes et Produits Carnés (Hors-Série), 55-56.

Marchand, M. et R. Kantin., 1997. "Les métaux traces en milieu aquatique." *Océanis* 23(4): 595-629.

Martens, H., Stabursvik, E. & Martens, M., 1982. Texture and colour changes in meat during cooking related to thermal denaturation of muscle proteins. *Journal of Texture Studies* 13, 291-309.

Martinez O., Salmeron J., Guillen M.D. and Casas C., 2007. Textural and physicochemical changes in salmon (*Salmo salar*) treated with commercial liquid smoke flavourings. *Food Chemistry* 100: 498–503.

Martinez Olaia, Jesús Salmerón, María D. Guillén and Carmen Casas., 2011. Characteristics of dry- and brine-salted salmon later treated with liquid smoke flavouring. *Agricultural and food science*, Vol. 20: 217–227.

Martinez, M. et Mougan, I, 1998. Fatty acid composition of human brain phospholipids during normal development. *J Neurochem*, 71(6): 2528-33.

Medale F., 2005- Caractéristiques nutritionnelles des poissons et facteurs de variations *Aquaculture*. **79** : 87-93

Médale Françoise., 2008. Qualités nutritionnelles du poisson. Institut Français pour la Nutrition novembre 2008 - N° 130 ISSN 1629-011.

Médale, F., Larroquet, L., Travaglini, M., Corraze, G. & Kaushik, S, 2005. 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. 1ères Journées d'Animation Scientifique du Département de Physiologie Animale et Systèmes d'Élevage, 15-16 mars, Tours, France p.197.

Mehdi Nikoo, Mohamad Reza Ghomi, Eshagh Zakipour Rahimabadi, Soottawat Benjakul and Behzad Javadian., 2010. The Effects of Deep-Frying, Refrigerated Storage and Reheating on the Fat Content, Oxidation and Fatty Acid Composition of the Fish *Rutilus frisii kutum*. *J Food Process Technol* 2010, 1:1.

Melton S.L., 1983. Methodology for following lipid oxidation in muscle foods. *Food Technol*. 37: 105-111,116.

Mendez-Vilamil , J.M ., Mata,J.M., Lorenzo, p.,Nespereira Gonzalez,R.,Soto Aguilera. (1997). Periodo reproductor y madurez sexual de la sardina *Sardina pilchardus*(Walbaum,1792) en aguas de gran canaria (islas canarias) .*Bol.Inst.ESP .Oceanogr*.12(2)(1996) 99-113.

Miedico, O., Iammarino, M., Pompa, C., Tarallo, M., & Chiaravalle, A. E. (2015). Assessment of lead, cadmium and mercury in seafood marketed in Puglia and Basilicata (Italy) by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 8(2), 85–92.

Miquel, M. G., 2001. Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, Rapport l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et Technologiques, 365 pp

Moning G., 2003. Abattage des porcs et qualité des carcasses et des viandes. INRA, Station de Recherches sur la viande, theix, 63122 Saint- Genès-Champanelle. 109p.

Moradi, Y., Bakar, J., Syed Muhamad, S. H. and Che Man, Y. 2009. Effects of different final cooking methods on physiochemical properties of breaded fish fillets. *American Journal of Food Technology* 4:136-145.

Mulvihill B. 2001. Ruminant meat as a source of conjugated linoleic acid (CLA). *Nutrition Bulletin*, 26 (4), 295-299.

Munasinghe D. M. S., Ichimaru K.I., Ryuno M., Ueki N., Matsui T., Sugamoto K., Kawahara S., Sakai T., 2003. lipid peroxidation-derived hepatotoxic aldehydes, 4-hydroxy-2e-Hexanal in smoked fish meat products. *Fisheries Science*, 71 (2), 462-464.

Mustafa, F. A., & Medeiros, D. M. (1985). Proximate composition, mineral content and fatty acid of catfish (*Ictalurus punctatus rafinesque*) in different seasons and cooking methods. *Journal of Food Science*, 50, 585–587

Mylonaki, S.; Kiassos, E.; Makris, D.P.; Kefalas, P, 2008. Optimisation of the extraction of olive (*Olea europaea*) leaf phenolics using water/ethanol-based solvent systems and response surface methodology. *Anal. Bioanal. Chem*, 392, 977–985.

Nasopoulou, C., Demopoulos, C.A. and Zabetakis I., 2012. Effect of freezing on quality of sea bass and gilthead sea bream. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 114, 733–740

Nasopoulou, C., Evangelia.P, Eleni. S., Constantinos, A. D. and Ioannis, Z., 2013. Evaluation of sensory and in vitro Cardio Protective Properties of Sardine (*Sardina pilchardus*): the effect of Grilling and Brining. *Food and Nutrition Sciences*, (4), 940-949

Neff, J. M., 2002. Bioaccumulation in Marine Organisms: Effect of contaminants from oil well produced water, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

Negro, C., Tommasi, L., Miceli, A. (2003). Phenolic compounds and antioxidant activity from red grape marc extracts. *Bior Tech* 87 (1): 41–44.

Nielsen, D., Hyldig, G., Nielsen, J., Nielsen, H. H., 2005. Lipid content in herring (*Clupea harengus L.*)- Influence of biological factors and comparison of different methods of analyses: solvent extraction, Fatmeter, NIR and NMR. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 38(1-2) 537-548.

Nunes, M. L , Bandarra, N., Batista, I., Tafula, J., 2003. Valor nutricional de produtos da pesca. In Livro de Actas do Workshop “PRODUTOS DA PESCA: Qualidade, Segurança e Inovação Tecnológica”, IPIMAR, Lisboa 11-12 de Outubro 2001 (Aceite para publicação).

Nunes, M.L., Cardinal, M., Mendes, R., Campos, R.M., Bandarra, N.M., Lourenço, H. and Jerome, M., 1992. Effect of season and storage on proteins and lipids of sardine

(*Sardina pilchardus*) minces and surimi. In Quality Assurance in the Fish Industry. H.H. Huss, M. Jakobsen, and Liston (Eds.), Elsevier Science Publishers B.V, Amsterdam. 73-79.

Oberli M., Marsset-Baglieri A., Airinei G., Santé-Lhoutellier V., Rémond D., Khodorova N., Benamouzig R., Foucault A., Fromentin G., Tomé D., Gaudichon C., 2013. Impact des barèmes de cuisson sur la digestion des protéines de viande chez l'Homme. *Nutrition Clinique et Métabolisme* 27, Suppl 1: S45.

Olafsdottir G., Martinsdottir E., Oehlenschlager J., Dalgaard P., Jensen B., Undeland I., Mackie I., Hanahan J., Nielsen G. & Nielsen H., 1997. Methods to evaluate fish freshness in research and industry. *Trends Food Sci. Technol.* 8 : 258-265.

Olaifa, F.E., Olaifa, A.K. and Lewis, O.O., 2003. Toxic stress of lead on *Clarias gariepinus* (African catfish) fingerlings. *African Journal of Biomedical Research*, 6, 101-104.

Olivar M.P., Salat J., Palomera I., 2001. Comparative study of spatial distribution patterns of the early stages of anchovy and pilchard in the NW Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series* 217: 111-120.

Oumansour Y.F., 2001- Etude de l'altération des huiles de poissons après décongélation. Effet micro-ondes. Diplôme de Magister. Université M'Hammed Bouguerra, Boumerdes, 95 pp.

Özogul, Y. and Özogul, F., 2007. Fatty acid profiles of commercially important fish species from the Mediterranean, Aegean and Black Seas. *Food Chemistry*, 100, (4), 1634–1638.

Ozyurt G., Ozogul Y., Ozogul F., Kuley E. & Polat A., 2005. Freshness assessment of European eel (*Anguilla Anguilla*) by sensory, chemical and microbiological methods. *Food Chemistry*. 92: 745-751.

P.N.U.E., 1989. Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par le cadmium et les composés de cadmium. Map technical rapports, série 5°34 : 37-70.

P.N.U.E., 2004. Programme des nations unies pour l'environnement). « Mers et océans-morts ou vivants ? La mer méditerranée ». Publié par PNUE. Bruxelles. Edit. Spéciale. P16.

Papageorgiou G., Botsoglou N., Govaris A., Giannenas I., Iliadis S., Botsoglou E., 2003. Effect of dietary oregano oil and alpha-tocopherol 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.

Parejo I; Viladomat F; Bastida J; Rosas-Romero A; Flerlage N; Burillo J; Codina C., 2002. Comparison between the radical scavenging activity and antioxidant activity of six distilled and nondistilled Mediterranean herbs and aromatic plants. *J Agric Food Chem.* 50: 6882–90.

Pariza M. W. 2004. Perspective on the safety and effectiveness of conjugated linoleic acid. *American Journal of Clinical Nutrition*, 79, 1132S-1136S.

Park JS, Jung SY, Son YJ, Choi SJ, KimMS, KimJG, Park SH, Lee SM, Chae YZ, Kim MY. 2011. Total mercury, methylmercury and ethylmercury in marine fish and marine fishery products sold in Seoul, Korea. *Food Addit Contam. Part B.* 4:268–274.

Parrish R.H., Serra R. et Grant W.S., 1989. The monotypic sardines, sardina and sardinops: their taxonomy, distribution, stock structure and zoogeography. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46 : 2019-2036.

Pascua Y., Koç H. & Foegeding E. A. (2013). Food structure: Roles of mechanical properties and oral processing in determining sensory texture of soft materials. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 18, 324–333

Pazos, M., González, M. J., Gallardo, J. M., Torres, J. L., & Medina, I. (2005). Preservation of the endogenous antioxidant system of fish muscle by grape polyphenols during frozen storage. *European Food Research and Technology*, 220, 514-519.

Picgirard, L., 2010. Changed dynamics in myofibrillar protein aggregation as a consequence of heating. *Journal of Food Engineering*, Volume 77, Issue 1, Pages 27-4.

Pierre F. ; Peiro G., Tache S., CrossA.,J., Bingham S.A., Gasc, Gottardi G., Corpet D.E., Gueraud F., 2006. New marker of colon cancer risk associated with heme intake : 1,4-Dihydroxynonane mercapturic acid. *Cancer and Epidemiology Biomarkers and prevention*, 15 (11), 2274-2279.

Pigott, G. M. and Tucker, B. W. 1990. Seafood: effects of technology on nutrition. pp. 104-106. New York and Basel: Marcel Dekker Incorporated.

Pinheiro, A., Teixeira, C. M., Rego, A. L., Marques, J. F., Cabral, H. N. (2005). Genetic and morphological variation of *Solea lascaris* (Risso, 1810) along the Portuguese coast. *Fisheries Research* 73(1-2), 67-78.

Pistl, J., Krupicer, I., Kovalkovičová, N., Legáth, J., Falis, M., Beňová, K J., Sabo, R., 2008. The effect of chronic lead acetate trihydrate intoxication in Wistar

rats on experimental *Ascaris suum* infestation and immunity. Parasitological Institute of SAS, Košice, HELMINTHOLOGIA, 45, 2: 69 – 75.

Plessi, M., Bertelli, D. and Monzani, A., 2001. Mercury and selenium content in selected seafood. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14, 461-467.

Poli G., Shaur R.J., Siems W.G., Leonarduzzi G, 2008. 4-hydroxynonenal : a membrane lipid oxidation products of medicinal interest. *Med Res Rev*, 28 (4), 569-631.

Polvi, S. M. (1989). Diet and availability of omega-3 fatty acids in salmonids. MSc thesis, Technical University of Nova Scotia, Halifax.

Pre J., 1991. Lipid peroxydation . *pathol Biol (Paris)*, 39 (7), 716-736.

Promeyrat A., Gatellier P., Lebret B., Kajak-Siemaszko., Aubry L., Santé-Lhoutellier V., 2010. *Food Chem.*, 121, 412-417 properties of ram lamb carcasses from four fat-tailed genotypes. *Small Rum. Res.*, 39, 99-105.

Puwastien, P., Judprasong, K., Kettwan, E., Vasanachitt, K., Nakngamanong, Y., & Bhattacharjee, L. (1998). Proximate composition of raw and cooked Thai freshwater and marine fish. *Journal of Food Composition and Analysis*, 12, 9–16.

Quaglia, G. B., & Bucarelli, F. M., 2001. Effective process control in frying. In J. B. Rossell (Ed.), *Frying. Improving quality* (pp. 236– 265). Boca Raton: CRC Press.

Quinn M.J, Sherlock I.e. 1990. The correspondence between U.K. action levels for lead in blood and in water. *Food. Addit. Contam.* 7 : 387-424

Rabot C., 1998. Vitesse de croissance et caractéristiques lipidiques et sensorielles des muscles de poulet. Thèse de doctorat de l'Institut National Agronomique de Paris Grignon., 168.

Raigón, M. D., Prohens, J., Julio E. Muñoz-Falcón & Nuez, F. (2008). Comparison of eggplant landraces and commercial varieties for fruit content of phenolics, minerals, dry matter and protein. *Journal of Food Composition and Analysis* **21**, 370– 376.

Rainbow PS & Phillips DJH (1993). Cosmopolitan biomonitors of trace metals. A review. *Marine Pollution Bulletin*, **26**: 593-601p.

Ramade, F., 1982 . *Éléments d'écologie appliquée*. Edition Mc Graw-Hill Fr : 452p

Ramade, F., 2000. *Dictionnaire encyclopédique des pollutions, les polluants de l'environnement à l'homme*. Ediscience international, Paris, 50-186 pp.

Ramirez T., Cortés D., Garcia A., 2001. Growth of North Alboran Sea sardine larvae estimated by otolith microstructure, nucleic acids and protein content. *Journal of Fish Biology* 59: 403-415

Rapeepan Laohabanjong , Chutima Tantikitti , Sootawat Benjakul , Kidchakan Supamattaya & Mali Boonyaratpalin , 2009. Lipid oxidation in fish meal stored under different conditions on growth, feed efficiency and hepatopancreatic cells of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Aquaculture*. 286 : 283–289

Rasoarahona, J.R.E., Barnathan, G., Bianchini, J.P. and Gaydou, E.M., 2005. Influence of season on the lipid content and fatty acid profiles of three tilapia species (*Oreochromis niloticus*, *O. macrochir* and *Tilapia rendalli*) from Madagascar. *Food Chemistry*, 91(4), 683–694.

Refes Wahid, 2011. Contribution à la connaissance de la biodiversité des fonds chalutables de la côte algérienne : les peuplements ichthyologiques des fonds chalutables du secteur oriental de la côte algérienne. Thèse de doctorat en sciences de la mer. université de Annaba Badji Mokhtar.

Regost, C., Arzel, J., Cardinal, M., Rosenlund, G. et Kaushik, S.J., 2003. Total replacement of fish oil by soybean or linseed oil with a return to fish oil in turbot (*Psetta maxima*) 2. Flesh quality properties. *Aquaculture*, 220(1-4): 737-747.

Rejsek, F., 2002. Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques. Ed .CRDP, Aquitaine. France

Rezaire Aïra, 2012. Activité anti-oxydante, et caractérisation phénolique du fruit de palmier amazonien *Oenocarpus bataua* (patawa). Thèse de doctorat. École doctorale pluridisciplinaire : Santé, Environnement et Sociétés dans les Amériques. Université des Antilles et de la Guyane

Richard H., Giampaoli P., Morillon V., Bocco A., Philip M., Sionneau D., 1997. Flaveurs et traitements thermiques. Actes des 15èmes Journées Internationales Huiles Essentielles. *Rivista Italiana A.P.P.O.S.*, numéro spécial, 140-164.

Robards, M. D., Anthony, J. A., Rose, G. A., Piatt, J. F.(1999). Changes in proximate composition and somatic energy content for Pacific sand lance (*Ammodytes hexapterus*) from Kachemak Bay, Alaska relative to maturity and season. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 242(2), 245-258.

Rodriguez, O., Barros-Velazquez, J., Ojea, A., Pineiro, C., Gallardo, J. M., & Aubourg, S., 2003- Effect of chilled storage in flow ice on the microbial quality and shelf life of farmed turbot (*P. maxima*), isolation and identification of major proteolytic bacteria. In: Proceedings first joint trans-atlantic fisheries technology conference, TAFT 2003. 33rd WEFTA and 48th AFTC meetings, 11–14 June 2003, Reykjavik, Iceland (pp. 73–74).

Roncarati, A., Meluzzi, A., Melotti, P., Mordenti, O. (2001). Influence of the larval rearing technique on morphological and productive traits of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Journal of Applied Ichthyology* 17(5), 244-246.

Rongrong L., Carpenter J.A. and Cheney R. 1998. Sensory and instrumental properties of smoked sausage made with mechanically separated poultry (MSP) meat and wheat protein. *Journal of Food Science* 63: 923–929.

Ruiter A (1979). Color of smoked foods. *Food Technol* 33:54–63

Saeed S. & Howell N., 2002. Effect of lipid oxidation and frozen storage on the muscle proteins of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). *J. Scie. Food.Agric.* 82: 579-586.

Saglik,S & Imre,S. (2001). ω 3- fatty acids in sme fish species from Turkey.*Journal of Food Science*,66,210-212.

Saguy, I. S., and Dana, D. 2003. Integrated approach to deep fat frying: Engineering, nutrition, health and consumer aspects. *J. Food Eng.* 56: 143–152.

Sainclivier, M., (1985). L'industrie alimentaire halieutique. Vol. II. Des techniques ancestrales à leurs réalisations contemporaines. *Bulletin Scientifique et Technique.* INSA Rennes.

Saito, H., Ishihara, K. and Murase, T., 1997. The fatty acid composition in tuna (Bonito, *Euthynnus pelamis*) caught at three different localities from tropics to temperate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 73(1), 53–59.

Sanchez-Escalante A ; Djenane D ; Torrescano, G ; Beltran J.A. & Roncales P., 2003. Antioxydant action of borage, rosemary, oregano and ascorbic acid in beef patties packaged in modified atmosphere. *Journal of Food Science.* 68, p339-344

Sanna Abdessemed, 2017. Contribution à la caractérisation et à l'identification des écotypes d'olivier *Olea europaea. L* dans la région des Aurès. Thèse En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences. Université de Batna 2.

Santé-Lhoutellier, V., Astruc, T., Marinova, P., Grève, E., Gatellier, P., 2008. Effect of meat cooking on physicochemical state and in vitro digestibility of myofibrillar proteins. *J. Agric. Food Chemistry*. 56, 1488- 1494.

Sarà, M., Favaloro, E., Mazzola, A. (1999). Comparative morphometrics of sharpsnout seabream (*Diplodus puntazzo* Cetti, 1777), reared in different conditions. *Aquacultural Engineering* 19, 195-209.

Sargent J., Henderson R.J. & Tocher D.R., 1989. In "Fish Nutrition", pp 153-218. ed. Halver J.E., Academic Press, INC.

Sargent, J. R., Bell, J. G., Bell, M. V., Henderson, R. J., Tocher, D. R., 1995. Requirement criteria for essential fatty acids. *Journal of Applied Ichthyology* 11, 183–198.

Savary, P., 2003. Guide des analyses de la qualité de l'eau. Dossier d'expert, Editions Techni. Cités, 87-194 pp.

Shaltout A., Fahim., Hashim F., Mohammed, El-nahas-Saber, 2015. Detection of some heavy metals in fish (*Tilapia nilotica* and *Clarias lazera*) at Menofia governorate. *BENHA Veterinary Medical Journal*, 29(1), 124-128.

Shiber, J.G., 2010. Arsenic, cadmium, lead and mercury in canned sardines commercially available in eastern Kentucky, USA. *Marine Pollution Bulletin*, 62(1), 66-72

Siddhuraju, P., Becker, K. (2007). The antioxidant and free radical scavenging activities of processed cowpea *Vigna unguiculata* (L) Walp. seed extracts. *Food Chem.* 101(1) : 10–19.

Sidhu K.S. (2003). Health benefits and potential risks related to consumption of fish or fish oil. *Regul. Toxicol. Pharm.*, 38: pp 336-44.

Sigurgisladottir, S., Sigurdardottir, M., Ingvarsdottir, H., Torrissen, O., and Hafsteinsson, H. (2001). Microstructure and texture of fresh and smoked Atlantic salmon, *Salmo salar* L., fillets from fish reared and slaughtered under different conditions. *Aquaculture Research*, 32, 1-10.

Singh, A. P., Luthria, D., Wilson, T., Vorsa, N., Singh, V., Banuelos, G. S. & Pasakdee, S. (2009). Polyphenols content and antioxidant capacity of eggplant pulp. *Food Chemistry* 114, 955–961

Sivaperumal p., Sankar t.v., Viswanathan P.G. (2007). Heavy metal concentrations in fish, shellfish and fish products from internal markets of India vis-a-vis international standards. *Food Chemistry*, 102 (3) 612–620.

Squadrone S, Prearo M, Gavinelli S, Pellegrino M, Tarasco R, Benedetto A, Abete MC. 2013. Heavy metals in *Mugil cephalus* (Mugilidae) from the Ligurian Sea (North-West Mediterranean, Italy). *Food Addit Contam. Part B*. 6:134–138.

Stanković Milan, Ivana Radojević, Milena Ćurčić, Sava Vasić, Marina Topuzović, Ljiljana Čomić, Snežana Marković, 2012. Evaluation of biological activities of goldmoss stoncrop (*Sedum acre* L.). *Turk J Biol* 36, 580-588

Ştefan Dezsi, Alexandru Sabin Bădărău, Cristina Bischin, Dan Cristian Vodnar, Radu Silaghi-Dumitrescu, Ana-Maria Gheldiu, Andrei Mocan and Laurian Vlase, 2015. Antimicrobial and Antioxidant Activities and Phenolic Profile of *Eucalyptus globulus* Labill. and *Corymbia ficifolia* (F. Muell.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson Leaves. *Molecules*, 20, 4720-4734

Stellio Casas, 2005. Modelisation de la bioaccumulation de metaux traces (hg, cd, pb, cu et zn) chez la moule, *mytilus galloprovincialis*, en milieu mediterraneen. Thèse de Doctorat. Universite DU Sud Toulon Var. Spécialité : Océanologie biologique, Environnement marin.

Stolyhwo, A., and Z. E. Sikorski., 2005. Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish – a critical review. *Food Chem*. 91:303–311.

Stolyhwo, A., I. Kołodziejska, and Z. E. Sikorski., 2006. Long chain polyunsaturated fatty acids in smoked Atlantic mackerel and Baltic sprats. *Food Chem*. 94:589–595.

Stratoudakis Y., Coombs S., Lago de Lanzos A., Hallidary N., Costas G., Caneco, B., Franco, C., Conway D., Sato M., Silva A., Berna M., 2007. Sardine (*Sardina pilchardus*) Spawning Seasonality in European Waters of the northeast Atlantic. *Mar SardBio.*, 152, 201-212

Stumpe-Viksna I, Bartkevic V, Kuka, Morozovs A (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbons in meat smoked with different types of wood. *Food Chemistry* 110 (2008) :794–797

Sumnu, G., 2001. A review on microwave baking of foods. *International Journal of Food Science and Technology*, 6, 117–127.

Surh J., Kwon H., 2005. Estimation of daily exposure to 4-hydroxy-2-nonenal in Korean foods containing N-3 and N-6 polyunsaturated fatty acids. *Food Addit Contam*, 22 (8), 701-708.

Tamehiro, N., Okamoto-Hosoya, Y., Okamoto, S., Ubukata, M., Hamada, M. & Trakatellis A.G., 1994- Rapid sensitive and specific thiobarbituric acid method for measuring lipid peroxidation in animal tissue, food and feedstuff samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **42** :1931-1937.

Tawaha, K., Alali, F. Q., Gharaibeh, M., Mohammad, M., El-Elimat, T. 2007. Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species. *Food Chemistry*, vol. 104, n° 4, pp. 1372-1378.

Terry, P., Lichtenstein, P., Feychting, M., Ahlbom, A. and Wolk, A. 2001. Fatty fish consumption and risk of prostate cancer. *Lancet* 357: 1764-66.

Tremel-Shaub, A., Fiex, I., 2005. Contamination des sols transfert des sols vers les plantes. Édition EDP, science ADME.

Tudela, S. (1999). Morphological variability in a Mediterranean, genetically homogeneous population of the European anchovy, *Engraulis encrasicolus*. *Fisheries Research* 42(3), 229-243

Türkkan, A. U., Cakli, S., and Kilinc, B. 2008. Effects of cooking methods on the proximate composition and fatty acid composition of seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Food Bioprod. Process.* 86(3): 163–166.

Uchida.K., 2003. 4-hydroxy-2-nonenal : a product and mediator of oxidative stress. *Prog Lipid Res*, 42 (4), 318-343.

UNEP, 1992. Biogeochemical cycles of specific pollutants (Activite K). Survival of pathogens- Final Reports on Research Projects (1989-1991). MAP Technical Reports Series No 63. UNEP Athens 86 pp.

Van den Broeck, C.J.H., 1985. Fish canning. *Fish as Food*” Borgstrom G., Academic Press, New- York, 4: 141-144.

Varela, G., Perez, M., & Ruiz-Roso, B. (1990). Changes in the quantitative and qualitative composition of fat from fish, due to seasonality and industrial and culinary processing. *Bibliotheca Nutritio and Dieta*, Karger, Basel, 46, 104–109.

Viala, A., Botta, A., 2005. Toxicologie, 2ème édition, édition Lavoisier tec and doc, 1122 pp.

Vierling E. (2008). Aliments et Boissons: Filières et Produits. Bioscience et Techniques, 3ème Ed., Paris.

Walter P, Martinetto G, Tsoucaris R, Breniaux M, Lefebvre A, Richard G, Talabot J, Dooryhee E. 1999. Making make-up in Ancient Egypt. *Nature*. 397 : 483-484.

Watanabe, T., Arakawa, T., Takeuchi, H. and Sato, S., 1991. Comparison between eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids in terms of essential fatty acid efficiency in juvenile striped jack *Pseudocaranx dentex*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55, 1989–1995

Weber, J. M., Brichon, G., Zwingelstein, G., 2003. Fatty acid metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) tissues: differential incorporation of palmitate and oleate. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences* 60(10), 1281-1288.

Weber, J., Bochi, V. C., Ribeiro, C. P., Victorio, A. de M., and Emanuelli, T., 2008. Effect of different cooking methods on the oxidation, proximate and fatty acid composition of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fillets. *Food Chem.* 106(1): 140–146.

Whitehead, P.J.P.(1985). FAO species catalogue. Clupeoid fishes of the world. An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, anchovies and wolfherrings. Part 1: Chirocentridae, Clupeidae and Pristigasteridae. *FAO Fish.Synop., (125)Vol.7, Pt.1:303 p.*

Williams, P.G, 2007. Nutritional composition of red meat, *Nutrition & Dietetics*, 64 (Suppl 4), .S113-S119.

Winterbourn C., 2008. Reconciling the chemistry and biology of reactive oxygen species. *Nature Chemical Biology*.

Wittmers L, Aufderheide A, Rapp G, Alich A., 2002. Archaeological contributions of skeletal lead analysis. *Acc. Chem. Res.* 3

Xiao Su, Q. and R. Joanne Babb., 2007. The effect of cooking process on the total lipids and n-3 LC-PUFA contents of Australian Bass Strait scallops *Pecten fumatus*. *Asia Pacific Journal Clinical Nutrition*. 16 supp L: 407- 411.

Yabanli, M., 2013. Assessment of the Heavy Metal Contents of *Sardina pilchardus* sold in Izmir, Turkey. *Ekoloji*, 22, 87, 10-15.

Yi, Z., Yan, Y., Liang, Y., and Zeng, B., 2008. In vitro antioxidant and antimicrobial of PericarpiumCitriReticulatae of a new Citrus Cultivar and its main flavonoid.LWT, 41:597 603.

Young J.F., Rosenvold K., Stagsted J., Nielsen J.H., Anderson H.J., 2005. 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*, 53 (3), 745-749.

Young J.F., Stagsted J., Jensen S.K., Karlsson A.H., Henkel P., 2003. Ascorbic acid, alpha-tocopherol, and oregano supplements reduce stress-induced deterioration of chicken meat quality. *Poult Sci*, 82 (8), 1343-1351.

Yusa, V., Suelves, T., Ruiz-Atienza, L., Cervera, M. L., Benedito, V., & Pastor, A., 2008. Monitoring program on cadmium, lead and mercury in fish and seafood from Valencia, Spain: levels and estimated weekly intake. *Food Additives and Co n t a m i n a n t s*, 1 (1) , 2 2 – 3 1 .

Zanardi E., Jagersma C.G., Ghidini S., Chizzolini R., 2002. Solid phase extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry for the evaluation of 4-hydroxy-2-ninenal in porks products. *J Agric Food Chem*, 50 (19), 5268-5272.

Zeghdoudi Essaid., 2006. Tesis Presentada yDefendida Publicamente Para La Obtencion del titulo de Master of Science en Economia y Gestion de la Actividad Pesquera.

Zotos, A. Kotaras, A. and Mikras, E., 2013. “Effect of Baking of Sardine (*Sardina pilchardus*) and Frying of Anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in Olive Oil and Sunflower Oil on Their Quality,” *Food Science and Technology International*, Vol. 19, No. 1, pp. 11-23.