

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du

diplôme d'ingénieur d'état en sciences de la mer

Filière : Hydrobiologie Marine et Continentale

Spécialité : Biotechnologie marine

Thème :

**Evaluation des propriétés pharmacologiques « activités anti-oxydante et antidiabétique» des huiles extraites à partir de la chair et des coproduits de poisson**

Présenté par:

× BOULEMZAOU D Roumaissa

× ZAIDI Ibtissem

Soutenu le 02/11/2020 devant le jury composé de :

Mr. REFES W.	Maître de conférence A	(ENSSMAL)	Président
Mme. KHELIFA N.	Maître de conférence B	(ENSSMAL)	Examinatrice
Mr. AYAD N.	Docteur en pharmacie	(IPA)	Examineur
Mr. BENSOUICI C.	Maître de recherches A	(CRBT)	Promoteur
Mme AMROUCHE L.	Maître assistante	(ENSSMAL)	Co-Promotrice

Année universitaire : 2019/2020

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous tenons tous d'abord à remercier le bon **Dieu**, tout puissant, de nous avoir donné la force, le courage et la patience pour surpasser toutes les difficultés et mener à terme ce travail!

Nous remercions les membres de l'Ecole Nationale Supérieure de la Biotechnologie (**ENSB**), de l'Ecole Supérieure des Sciences de l'Aliment et des Industries Agroalimentaires (**ESSAIA**) et de l'Ecole Nationale des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (**ENSSMAL**) de nous avoir donné les notions de bases nécessaires pour répondre à nos besoins et nous avoir garanti un cycle le plus riche aux connaissances et aux souvenirs.

Ce travail a été réalisé au niveau du Centre de Recherche en Biotechnologie (**C.R.B.T**) sous la direction du **Dr. BENSOUICI Chawki**, chef du laboratoire de biochimie conjointement avec le laboratoire de biochimie **LBCM2** à l'Ecole Nationale supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, sous la direction de **Mme AMROUCHE Lynda**, maître assistante A, que nous tenons à remercier pour l'encadrement, la disponibilité, la confiance, les conseils et le soutien moral qu'ils ont su nous apporter tout au long de cette année. Nous tenons également à les remercier de toute la patience dont ils ont su faire preuve au cours de la rédaction de ce mémoire.

De même, nous souhaitons exprimer notre reconnaissance envers les membres du jury:

Nous exprimons notre sincère gratitude à **Mr. REFES** pour nous avoir honoré en acceptant de présider le jury.

Nous remercions également chaleureusement **Mme KHELIFA** et **Dr. AYAD** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Aussi, nous tenons à remercier l'ingénieur de laboratoire LBCM2 de **Mme GUEROUMI Houda** et le responsable des laboratoires de l'ENSSMAL **Mr. MATOUK Youcef** pour leur suivi, orientation et le doctorant **Kelai** pour nous avoir permis de réaliser les analyses CPG/SM de nos échantillons au sein du **CRAPC** et tout le personnel du laboratoire de biochimie de **C.R.B.T** pour nous aider à se familiariser avec le matériel et les différentes techniques utilisées dans ce centre.

Que tous ceux qui nous ont aidé à la bonne réalisation de ce travail de près et de loin, trouvent ici l'expression de notre parfaite considération.

## DÉDICACE

*À mes chers parents, mon très cher papa FARID et ma très chère maman SOUAD, pour l'éducation qu'ils m'ont prodiguée avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard, pour leur patience, leur amour et leurs encouragements pour que je puisse atteindre mes objectifs.*

*À mon unique frère NOR EL ISLAM, je lui souhaite une vie pleine de réussite.*

*Que dieu, le tout puissant, les préserve et les accorde l'amour, le bonheur, la santé et une longue vie.*

*Que ce travail leur apporte la joie et la fierté.*

*À ma chère binôme et amie ROUMAÏSSA, pour sa présence, sa patience et ses sacrifices tout au long de notre connaissance.*

*À tout échec dans ma vie, merci.*

*À toute la famille.*

*À tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.*

IBTISSEM 😊

## DÉDICACE

*Je dédie ce travail à la lumière de ma vie, la lune de mes nuits, la source d'amour, à celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoirs, qui ma bénie par ces prières, à ma chère Maman **SAMIA***

*A mon Père **FARID** pour Ses encouragements et ses sacrifices*

*A mon support dans ma vie et mon premier ami, mon frère **FAROUK***

*A ma petite sœur **ASMA**, la joie de la famille et mon bras droit*

*A ma jolie sœur et amie, qui m'a accompagnée dans ce chemin et l'une des meilleures personnes que je connais dans ma vie universitaire,*

## **IBTISSEM**

*A toutes les personnes qui me respectent et m'aiment*

**ROUMEISSA** 😊

## TABLE DES MATIERES

<b>LISTE DES ABRÉVIATIONS .....</b>	<b>v</b>
<b>LISTE DES EQUATIONS .....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>viii</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ</b>	
I.1- Production halieutique et aquacole des poissons.....	4
I.1.1- Production mondiale .....	4
I.1.2- Production en Algérie .....	4
I.2- Biologie et répartition géographique des espèces cibles .....	5
I.2.1- <i>Sardinella aurita</i> .....	5
I.2.1.1- Biologie de l'espèce .....	5
I.2.1.2- Position systématique et noms communs.....	5
I.2.1.3- Répartition géographique .....	6
I.2.1.4- Régime alimentaire .....	6
I.2.1.5- Caractérisation chimique globale de l'espèce .....	6
I.2.2- <i>Trachurus mediterraneus</i> .....	7
I.2.2.1- Biologie de l'espèce.....	7
I.2.2.2- Position systématique et noms communs.....	8
I.2.2.3- Répartition géographique .....	9
I.2.2.4- Régime alimentaire .....	9
I.2.2.5- Caractérisation chimique.....	9
I.2.3- <i>Engraulis encrasicolus</i> .....	10
I.2.3.1- Biologie de l'espèce .....	10
I.2.3.2- Position systématique et noms communs.....	10
I.2.3.3- Répartition géographique .....	11
I.2.3.4- Régime alimentaire .....	12
I.2.3.5- Caractérisation chimique globale de l'espèce .....	12
I.2.4- <i>Aristichthys nobilis</i> .....	13
I.2.4.1- Biologie de l'espèce .....	13
I.2.4.2- Position systématique et noms communs.....	13
I.2.4.3- Répartition géographique .....	14
I.2.4.4- Régime alimentaire .....	15

I.2.4.5- Caractérisation chimique globale de l'espèce .....	15
<b>I.3- Intérêt pharmacologique, nutritionnel et commercial des espèces étudiées .....</b>	<b>16</b>
I. 3.1- <i>Sardinella aurita</i> .....	16
I.3.1.1- Intérêt commercial.....	16
I.3.1.2- Intérêt nutritionnel.....	16
I.3.1.3- Intérêt pharmacologique.....	16
I. 3.2- <i>Trachurus mediterraneus</i> .....	16
I.3.2.1- Intérêt commercial.....	16
I.3.2.2- Intérêt nutritionnel.....	17
I.3.2.3- Intérêt pharmacologique.....	17
I. 3.3- <i>Engraulis encrasicolus</i> .....	17
I.3.3.1- Intérêt commercial.....	17
I.3.3.2- Intérêt nutritionnel.....	17
I.3.3.3- Intérêt pharmacologique.....	17
I.3.4- <i>Aristichthys nobilis</i> .....	18
I.3.4.1- Intérêt commercial.....	18
I.3.4.2- Intérêt nutritionnel.....	18
I.3.4.3- Intérêt pharmacologique.....	18
<b>I.4- Hydrolysats de poisson .....</b>	<b>18</b>
I.4.1- Définition de l'hydrolysats de poisson.....	18
I.4.2- Les différents types d'hydrolyse .....	19
1.4.2.1- Hydrolyse biochimique.....	19
1.4.2.2- Hydrolyse chimique.....	19
I.4.3- Les produits issus des hydrolysats .....	20
<b>I. 5- L'huile de poisson .....</b>	<b>20</b>
I.5.1- Généralités sur l'huile de poisson .....	20
I.5.2- Les méthodes d'extraction des huiles de poissons.....	21
I.5.2.1- L'extraction par fluide supercritique .....	21
I.5.2.2- L'extraction enzymatique.....	21
I.5.2.3- Le traitement thermique .....	22
I.5.2.4- L'extraction au solvant.....	22
I.5.2.5- L'extraction à froid .....	22
I.5.3- La composition des huiles de poisson .....	23
I.5.4- Les différents domaines d'application des huiles de poisson.....	23
<b>I.6- Farine de poisson .....</b>	<b>23</b>

I.6.1- Généralités sur la farine de poisson .....	23
I.6.2- La méthode de fabrication de la farine de poisson .....	24
I.6.3- La composition de la farine de poisson.....	24
I.6.4- Les différents domaines d'application de la farine de poisson .....	24
I.7- Activités biologiques .....	<b>25</b>
I.7.1- Mise en évidence de l'activité anti-oxydante .....	25
I.7.1.1- Activité antiradicalaire au DPPH* .....	25
I.7.1.2- Activité du piégeage de cation radical ABTS <sup>•+</sup> .....	26
I.7.1.3- Activité de réduction du complexe cuivre-néocuproïne (CUPRAC).....	26
I.7.1.4- Activité du pouvoir réducteur .....	27
I.7.1.5- Activité de réduction par la formation du complexe Fe <sup>+2</sup> -phénantroline.....	27
I.7.1.6- Composé de nanoparticule d'argent (AgNP) .....	28
I.7.2- Activité enzymatique .....	28
I.7.2.1- Evaluation de l'activité antidiabétique .....	28
<b>CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES</b>	
II.1- Echantillonnage et identification morphologique des espèces.....	<b>31</b>
II.2- Caractérisation de la composition chimique globale des quatre espèces .....	<b>31</b>
II.2.1- Détermination du taux d'humidité et la matière sèche .....	31
II.2.2- Détermination du taux de la matière minérale et organique .....	32
II.2.3- Détermination de la teneur en protéines totales par la méthode de Bradford (1976) .....	33
II.2.4- Détermination du taux des lipides totaux .....	34
II.3- Extraction des huiles de poisson .....	<b>36</b>
II.3.1- Extraction thermique .....	36
II.3.1.1- Broyage .....	36
II.3.1.2- Cuisson.....	37
II.3.1.3- Pressage.....	37
II.3.1.4- Centrifugation .....	37
II.3.2- Extraction par solvant .....	39
II.4- Technique d'analyse chromatographique.....	<b>39</b>
II.4.1- Analyse par CCM des huiles de poisson .....	39
II.4.2- Analyse par CPG/SM des huiles de poisson .....	40
II.5- Détermination des propriétés pharmacologiquesdes huiles extraites.....	<b>42</b>
II.5.1- Activités anti-oxydantes .....	42
II.5.1.1- Activité antiradicalaire au DPPH* .....	42
II.5.1.2- Activité du piégeage du cation radical ABTS <sup>•+</sup> .....	42

II.5.1.3- Activité de réduction du complexe cuivre-néocuproïne (CUPRAC) .....	43
II.5.1.4- Activité du pouvoir réducteur (FRAP) .....	43
II.5.1.5- Activité de réduction par la formation du complexe Fe <sup>+2</sup> - phénantroline .....	44
II.5.1.6- Composé de nanoparticules d'argent (AgNP) .....	44
II.5.2- Activités enzymatiques .....	45
II.5.2.1- Activité antidiabétique .....	45

### **CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION**

III.1- Identification des espèces .....	<b>47</b>
III.2- Caractérisation de la composition chimique globale des poissons entiers .....	<b>49</b>
III.2.1-Détermination du taux d'humidité .....	49
III.2.2-Détermination du taux de matière minérale et organique .....	50
III.2.3-Détermination du taux des protéines .....	51
III.2.4-Détermination du taux des lipides.....	52
III.2.5- Comparaison de la composition chimique globale des espèces étudiées .....	53
III.3- Rendement d'extraction des huiles de poisson .....	<b>54</b>
III.4- Screening des huiles de poisson par CCM.....	<b>55</b>
III.5- Détermination de la composition chimique globale des huiles de poisson par CGSM.....	<b>58</b>
III.6- Propriétés pharmacologiques des huiles extraites.....	<b>60</b>
III.6.1- Activités anti-oxydantes .....	60
III.6.1.1- Activité antiradicalaire au DPPH'.....	60
III.6.1.2- Activité du piégeage du cation radical ABTS <sup>+</sup> .....	62
III.6.1.3- Activité de réduction du complexe cuivre- néocuproïne (CUPRAC) .....	64
III.6.1.4- Activité du pouvoir réducteur (FRAP) .....	66
III.6.1.5- Activité de réduction par la formation du complexe Fe <sup>+2</sup> -phénanthroline .....	68
III.6.1.6- Réduction de la nanoparticule d'argent (AgNP) .....	70
III.6.2- Activité enzymatique .....	73
III.6.2.1- Evaluation de l'activité antidiabétique .....	73
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>76</b>

### **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

#### **ANNEXES**

#### **RÉSUMÉ**

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS**

**A<sub>0,50</sub>** : Concentration indiquant 0,50 d'absorbance.

**ABTS** : Sel d'ammonium de l'acide 2,2'-azinobis-(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique).

**AFNORD** : Association Française de Normalisation

**AG** : Acide gras

**AgNP** : Nanoparticule d'argent

**AGPI** : Acide gras polyinsaturé

**BHA** : Butylhydroxyanisole

**BHT** : Butylhydroxytoluène

**BSA** : Albumine de sérum de bovin

**°C** : Degré Celsius

**CCM** : Chromatographie sur couche mince

**IC<sub>50</sub>** : Concentration d'inhibition à 50%

**cm** : Centimètre.

**CPG** : Chromatographie en phase gazeuse

**CPG/SM** : Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse.

**CUPRAC** : Capacité anti-oxydante du complexe cuivre-néocuproïne.

**DHA** : Acide docosahexaénoïque.

**DPA** : Acides docosapentaénoïques.

**DPPH** :  $\alpha,\alpha$ -diphényl- $\beta$ -picrylhydrazyl.

**EFS** : Extraction par fluide supercritique.

**EPA** : Acide eicosapentaénoïque.

**FAO** : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

**FRAP** : Pouvoir anti-oxydant réducteur.

**g** : Gramme

**H** : Heure

**HDL** : Lipoprotéines de haute densité

**°K** : Degré kelvin

**Kg** : kilogramme

**Km** : kilomètre

**m** : Mètre

**mg** : Milligramme

**mi** : Mille terrestre

**min** : Minute  
**ml** : Millilitre  
**mm** : Millimètre  
**mM** : Millimolaire  
**MM**: Matière minérale  
**MO** : Matière organique  
**mPa** : Mégapascal  
**nm** : Nanomètre  
**pH** : Potentiel hydrogène  
**PNDA** : Plan National de Développement de l'Aquaculture  
**PPH** : Hydrolysate protéique de poisson  
**Rf** : Rapport frontal  
**Sp.** : Espèce  
**T** : Température  
**t** : Tonne  
**TEAC** : Capacité antioxydante équivalente Trolox  
**U** : Unité  
**USA** : États-Unis d'Amérique  
**UV** : Ultraviolet  
**vol** : Volume  
 **$\omega_3$  ou  $\Omega_3$**  : Oméga-3  
 **$\mu\text{g}$**  : Microgramme  
 **$\mu\text{l}$**  : Microlitre  
 **$\sigma$**  : Sigma

## LISTE DES ÉQUATIONS

Équation II.1 : Teneur en eau.....	32
Équation II.2 : Teneur en matière minérale.....	32
Équation II.3 : Teneur en matière organique.....	33
Équation II.4 : Teneur en lipides totaux.....	36
Équation II.5 : Calcul de rapport frontal.....	40
Équation II.6 : Pourcentage d'inhibition du radical libre de DPPH.....	42
Équation II.7 : Pourcentage d'inhibition d'ABTS.....	43
Équation II.8 : Pourcentage de chélation des ions métalliques.....	45
Équation II.9 : Pourcentage d'inhibition de l' $\alpha$ -amylase.....	45

## LISTE DES FIGURES

### CHAPITRE I

Figure I.1: Répartition géographique de l'espèce <i>Sardinella aurita</i> dans le monde.....	6
Figure I.2: Répartition géographique de l'espèce <i>Trachurus mediterraneus</i> dans le monde.....	9
Figure I.3: Répartition géographique de l'espèce <i>Engraulis encrasicolus</i> dans le monde.....	12
Figure I.4: Répartition géographique de l'espèce <i>Aristichthys nobilis</i> dans le monde entier.....	15
Figure I.5: Transformation du radical DPPH <sup>*</sup> en DPPH-H.....	26
Figure I.6: Formation et piégeage du radical ABTS <sup>+</sup> par un anti-oxydant donneur de H <sup>+</sup> .....	26
Figure I.7: Réduction du complexe chromogène de cuivre (II) -neocuproïne [Cu (II) -Nc].....	27
Figure I.8: Réduction du fer ferrique en fer ferreux.....	27
Figure I.9: Formation du complexe Fe (II)-phénantroline.....	28
Figure I.10: Schéma représentant la réaction de la méthode AgNP.....	28
Figure I.11: Effet des inhibiteurs sur l'action des enzymes.....	29

### CHAPITRE II

Figure II.1: Appareil Soxhlet.....	34
Figure II.2: Rota-vapeur.....	35
Figure II.3: Diagramme général d'extraction de l'huile et de la farine de poisson.....	38
Figure II.4: Schéma général de la technique de CCM.....	40

### CHAPITRE III

Figure III.1 : Teneurs en eau et en matière sèche chez les quatre espèces exprimées en (%). ....	49
Figure III.3 : Diagramme représentant la teneur en matière minérale et organique chez les quatre espèces par rapport à la matière sèche exprimée en (%). ....	50
Figure III.2 : Diagramme représentant la teneur en matière minérale et organique chez les quatre espèces exprimée en (%). ....	50
Figure III.4 : Diagramme représentant la teneur en protéines totales chez les quatre espèces exprimée en (%). ....	52
Figure III.5 : Diagramme représentant la teneur en lipides chez les quatre espèces par rapport au poisson entier et à la matière sèche (%). ....	53
Figure III.6 : Composition chimique globale des quatre espèces ( <i>Sardinella aurita</i> , <i>Trachurus mediterraneus</i> , <i>Engraulis encrasicolus</i> et <i>Aristichthys nobilis</i> ). ....	53
Figure III.7 : Rendement d'extraction des huiles de poisson des trois espèces marines.....	54
Figure III.8 : Chromatographie sur couche mince des huiles de poisson.....	55
Figure III.9 : Microplaque des tests des activités antiradicalaires (DPPH) des huiles extraites. ..	60
Figure III.10 : Pouvoir d'inhibition du radical DPPH <sup>*</sup> (exprimé en %) des huiles de poisson extraites.....	61

Figure III.11 : Microplaque des tests des activités du piégeage du cation radical ABTS•+ des huiles extraites.....	63
Figure III.12 : Valeurs des pourcentages d'inhibition du radical du test ABTS des huiles de poisson.....	63
Figure III.13 : Evaluation de l'activité de réduction du complexe Cu (II) -Nc des huiles de poisson extraites sur microplaque. ....	65
Figure III.14 : Valeurs des A0,50 du test CUPRAC des huiles de poisson. ....	65
Figure III.15 : Evaluation de l'activité du pouvoir réducteur (FRAP) des huiles de poissons extraites sur microplaque. ....	67
Figure III.16 : Valeurs des pourcentages d'inhibition du radical du test FRAP. ....	67
Figure III.17 : Evaluation de l'activité de réduction du fer ferrique par la formation du complexe Fe+2 -phénanthroline des huiles de poisson sur microplaque.....	68
Figure III.18 : Valeurs des pourcentages d'inhibition du fer ferrique au test Phénanthroline.....	69
Figure III.19 : Evaluation de la capacité des huiles de poisson à réduire des ions Ag+ en Ag <sup>0</sup> par la formation des AgNPs sur microplaque. ....	71
Figure III.20 : Valeurs des pourcentages d'inhibition du radical du test de l'AgNP.....	71
Figure III.21 : Evaluation de l'activité d'inhibition de l'α-amylase par l'huile de <i>S.aurita</i> de 2017 sur microplaque.....	74
Figure III.22 : Valeurs des IC <sub>50</sub> du test d'inhibition de l'α-amylase.....	74

## LISTE DES TABLEAUX

### CHAPITRE I

Tableau I.1: Position systématique de <i>Sardinella aurita</i> . ....	5
Tableau I.2: Quelques noms commun de l'espèce <i>Sardinella aurita</i> . ....	6
Tableau I.3: Position systématique de <i>Trachurus mediterraneus</i> . ....	8
Tableau I.4: Les noms communs de l'espèce <i>Trachurus mediterraneus</i> . ....	8
Tableau I.5: Position systématique de l'espèce <i>Engraulis encrasicolus</i> .....	11
Tableau I.6: Quelques noms communs de l'espèce <i>Engraulis encrasicolus</i> . ....	11
Tableau I.7: Position systématique de l'espèce <i>Aristichthys nobilis</i> . ....	14
Tableau I.8: Différents types d'hydrolyse biochimique. ....	19
Tableau I.9: Type de l'hydrolyse chimique. ....	20

### CHAPITRE III

Tableau III.1 : Critères d'identification des espèces. ....	48
Tableau III.2 : les rapports frontaux (Rf) obtenus pour les huiles des espèces étudiées et l'oméga-3 commercial.....	57
Tableau III.3 : Composition chimique de l'huile de l'espèce <i>Aristichthys nobilis</i> . ....	58
Tableau III.4 : Composition chimique de l'huile de l'espèce <i>Sardinella aurita</i> .....	59
Tableau III.5: Pourcentage d'inhibition du radical DPPH• par les huiles de poisson.....	61
Tableau III.6 : Inhibition du cation radical ABTS•+. ....	63
Tableau III.7 : Inhibition du radical CUPRAC. ....	65
Tableau III.8 : Inhibition du radical FRAP. ....	67
Tableau III.9 : Réduction du fer par la méthode phénanthroline. ....	69
Tableau III.10 : Réduction de l'argent par méthode de nanoparticules d'argent. ....	71
Tableau III.11 : Inhibition de l'α-amylase par l'huile de <i>S.aurita</i> et l'acarbose.....	74

# **INTRODUCTION**

### INTRODUCTION GENERALE

Au cours des dernières décennies, sur les 171 millions de tonnes de poisson produits dans le monde, plus de 151 millions de tonnes ont servi à la consommation humaine directe et 20 millions de tonnes (composés de poissons entiers, de chutes de poissons ou d'autres sous-produits issus de l'industrie halieutique) à des usages non alimentaires dans différents secteurs industriels tels que l'industrie pharmaceutique en tant que bioactifs marins riches en protéines et en lipides (FAO, 2018 ; DURMUŞ et DURMUŞ, 2019).

C'est les médecins Danois Jorn Dyerberg et Hans Olaf Bang qui ont constaté pour la première fois que les huiles de poisson ont des effets bénéfiques sur les maladies coronariennes. Leurs observations ont stimulé la recherche préclinique et clinique (RICE et ISMAIL, 2016). Ces huiles de poisson sont une source majeure d'acides gras polyinsaturés (AGPI) essentiels oméga-3 (n-3) et oméga-6 (n-6) qui jouent des rôles biologiques très importants, et l'équilibre quantitatif entre eux (l'oméga 3 et l'oméga 6) est considéré comme un facteur crucial dans de nombreux états pathologiques. En effet, l'acide docosahexaénoïque (DHA) et de l'acide eicosapentaénoïque (EPA) de la série des acides gras oméga-3 jouent un rôle prépondérant dans la prévention des maladies cardiaques, le cancer, l'arthrite, l'agrégation plaquettaire, les maladies métaboliques telles que le diabète, et les maladies neurodégénératives telles que l'Alzheimer (DAS *et al.*, 2009 ; GILBERT *et al.*, 2013 ; DURMUŞ et DURMUŞ, 2019 ; ASHRAF *et al.*, 2020; INNES et CALDER, 2020).

En Algérie, 80 % de la production halieutique concerne les petits pélagiques dont la sardine, la saurel et l'anchois. Ces espèces sont commercialisées essentiellement à l'état frais, mais font l'objet de quelques transformations sommaires telles que l'emboitage de la sardine et le salage de l'anchois. Les coproduits et les pièces défectueuses ; issus des activités que ça soit des ménagères, des restaurateurs et des industriels et responsables des ateliers de transformation, ne sont pas valorisés et constituent une source de pollution.

En parallèle, l'aquaculture connaît un regain d'intérêt, surtout en ce qui concerne la carpe chinoise, *Aristichthys nobilis* (RICHARDSON, 1845), qui connaît un essor considérable depuis son introduction en Algérie en 2006. Ce poisson, d'origine hongroise et à faible valeur marchande, s'est adapté aux conditions climatiques algériennes et a servi au peuplement de plusieurs barrages, un individu peut peser de 12 Kg à 25 Kg (MADRP, 2016).

L'objectif général du présent travail est la caractérisation physico-chimique et la valorisation des produits et coproduits issus des activités de la pêche marine et continentale. Il s'agit des huiles extraites par des méthodes conventionnelles (solvants et sous pression de vapeur) à partir de quelques petits pélagiques marins (*Sardinella aurita* ; *Trachurus mediterraneus* ; *Engraulis encrasicolus*) et une espèce d'eau douce *Aristichthys nobilis*. On s'est intéressé également à l'étude de leurs propriétés pharmacologiques (anti-oxydante et antidiabétique).

- Une première partie de ce mémoire est consacrée aux fondements et considérations théoriques découlant de la production et de la biologie de ces poissons, leur intérêt commercial, nutritionnel et pharmacologique, et les différentes activités biologiques anti-oxydante et enzymatique.
- Dans le deuxième chapitre la démarche expérimentale et les méthodes employées à l'égard des investigations sont décrites.
- Le troisième chapitre est consacré à l'interprétation des différents résultats obtenus de la caractérisation chimique de la matière première, des rendements d'extraction des huiles de poisson et de l'évaluation *in vitro* des activités anti-oxydante et enzymatique.

# **CHAPITRE I.**

## **GÉNÉRALITÉS**

## **I.1- Production halieutique et aquacole des poissons**

### **I.1.1- Production mondiale**

En 2016, la production halieutique mondiale, qui englobe tous les poissons tels que les petits pélagiques et la carpe, a atteint une valeur record d'environ 171 millions de tonnes (t), le secteur de l'aquaculture compte pour 47 % de ce chiffre, voire jusqu'à 53 % si l'on exclut la production destinée à des utilisations non alimentaires (y compris la production de farine et d'huile de poisson). La production de la pêche de capture étant relativement stable depuis la fin des années 1980, c'est à l'aquaculture que l'on doit la croissance continue et impressionnante de l'offre de poisson destiné à la consommation humaine (FAO, 2018).

### **I.1.2- Production en Algérie**

En Algérie, la production halieutique totale entre 2000 et 2013 est de 113 157 à 102 221 t ; représentée principalement par les stocks des petits pélagiques (sardine, allache, chinchard, anchois, bogue, ...), avec une moyenne de 83 % du total pêché, soit 105 951 t. Les démersaux (merlu, rouget, pageot, ...) suivent de 8 % les petits pélagiques. Les crustacés sont représentés principalement par la crevette, dont la quantité est limitée à 2 % (MADRP, 2014).

La capture de la saurel connaît des fluctuations à titre d'exemple le total des captures, pour les deux années successives 2013, 2014, est respectivement 1011 t et 634 t (DPRH D'ALGER REGION CENTRE, 2016).

La production aquacole a connu de son côté une nette amélioration après l'application du Plan National de Développement de l'Aquaculture (PNDA). En effet, elle est passée de 1759 t en 2010 à 2648 t en 2012 avec un taux d'accroissement de 50,5 % (MPRH, 2016).

## I.2- Biologie et répartition géographique des espèces cibles

### I.2.1- *Sardinella aurita*

#### I.2.1.1- Biologie de l'espèce

C'est une espèce marine, pélagique et côtière qui préfère les eaux salines, claires et froides avec une température entre 18 °C et 25 °C (optimum 24 °C). La sardinelle remonte vers la surface pendant la nuit et descend sous la thermocline pendant la saison chaude. Sa reproduction est courante durant toute l'année mais atteint son maximum en mi-juin et à la fin du septembre (FISHBASE, 2012).

#### I.2.1.2- Position systématique et noms communs

La position systématique de la sardinelle est donnée selon la classification phylogénétique des ostéichthyens (INPN, 2020) (tableau I.1).

**Tableau I.1:** Position systématique de *Sardinella aurita* (INPN, 2020).

Domaine	Biota
Règne	Animalia (LINNAEUS, 1758)
Sous-règne	Eumetazoa (BUTSCHLI, 1910)
Clade	Bilateria (HAECKEL, 1874)
Infra-règne	Deuterostomia (KARL GROBBEN, 1908)
Phylum	Chordata (HAECKEL, 1874)
Sous-phylum	Craniata (JANVIER, 1981)
Infra-phylum	Vertebrata
Super-classe	Gnathostomata
Clade	Euteleostomi
Classe	Actinopterygii
Sous-classe	Neopterygii (REGAN, 1923)
Infra-classe	Teleostei
Ordre	Clupeiformes
Famille	Clupeidae (CUVIER, 1816)
Genre	<i>Sardinella</i> (VALENCIENNES, 1847)
Espèce	<i>Sardinella aurita</i> (VALENCIENNES, 1847)

### ↗ Noms communs

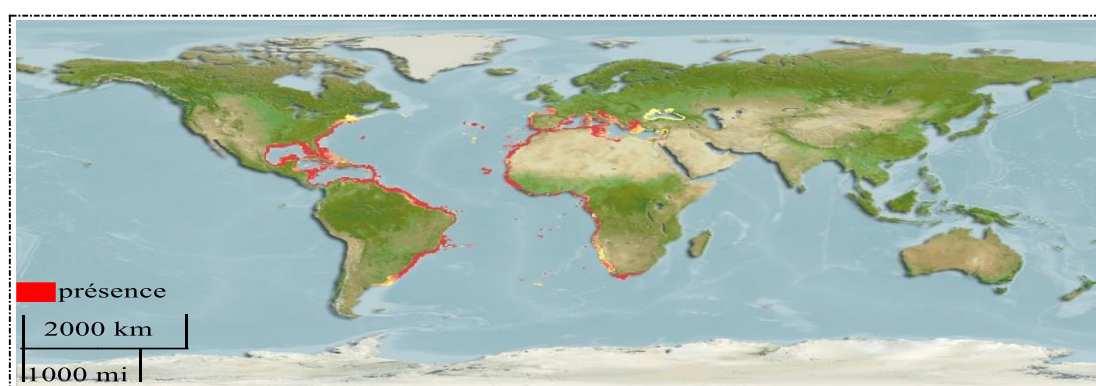
Les noms communs selon les pays de la *Sardinella aurita* sont consignés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau I.2:** Quelques noms commun de l'espèce *Sardinella aurita* (FAO, 2020).

Pays	Nom commun
Algérie	Bouir, Latcha et Latchoum (fishbase)
France	Allache (FAO)
Angleterre	Round Sardinella (FAO)
Espagne	Alacha (FAO)

### I.2.1.3- Répartition géographique

On peut pêcher *Sardinella aurita* dans l'océan Atlantique, le long des côtes de l'Afrique de l'Ouest depuis Gibraltar jusqu'à la baie de Saldanha, en Afrique du Sud, et du Cape Cod aux États-Unis en Argentine, y compris les Bahamas, les Antilles, le Golfe du Mexique et la côte des Caraïbes suivant les côtes occidentales de l'Atlantique ( Figure I.1) (FAO, 2020).



**Figure I.1:** Répartition géographique de l'espèce *Sardinella aurita* dans le monde (FISHBASE, 2012).

### I.2.1.4- Régime alimentaire

Généralement elle se nourrit des zooplanctons ; les copépodes et les larves des mysida, mais aussi quelques phytoplanctons surtout par les juvéniles (FISHBASE, 2012).

### I.2.1.5- Caractérisation chimique globale de l'espèce

La composition globale dans la plupart des poissons est principalement de l'eau, des protéines et des lipides. Les autres constituants mineurs comprennent les glucides, les vitamines et les

minéraux. Cependant, elle varie selon les saisons, les zones géographiques, les stades de maturité et la taille.

#### **A- Teneur en eau**

*Sardinella aurita* est caractérisée par une teneur moyenne en eau de 71,16 %. Quant aux viscères, elle varie durant l'année de 49,06 % en novembre à 78,15 % en mai (KACEM *et al.*, 2011 ; ROMDHANE, 2012).

#### **B- Teneur en matière minérale**

Selon la littérature, la teneur en cendres montre des variations faibles dans les viscères (1,33 à 2,78 %) et dans les muscles (1,27 à 4,06 %).

Les éléments minéraux retrouvés sont: le sodium, le potassium, le calcium, le magnésium, le fer, le cuivre et le zinc (MSC et PhD, 2000 ; ATLANTNIRO et CNROP, 2001).

#### **C- Teneur en protéine**

*Sardinella aurita* a une teneur moyenne en protéines de 14,78 % (KACEM *et al.*, 2011). Les acides aminés les plus abondants sont: la lysine, l'histidine, l'arginine, l'asparagine, la serine, la glutamine, la glycine, la thyronine, l'alanine, la tyrosine, la valine, la méthionine, la phénylalanine, l'isoleucine, la leucine, le tryptophane, la proline (ATLANTNIRO et CNROP, 2001).

#### **D- Teneur en lipide**

Le taux maximal des lipides dans la chair de l'espèce *Sardinella aurita* (5,92 %) est enregistré en automne, et le minimum est observé pendant la saison hivernal (2,26 %), quant aux viscères le minimal est en mai 3,90 % et un maximum est enregistré en novembre 25,40 %.

Les acides gras individuels les plus abondants sont: l'acide laurique (C12: 0), l'acide palmitique (C16:0), l'acide palmitoléique (C16:1 n-7), acide eicosapentaénoïque (EPA, C20:5 n-3) et l'acide docosahexaénoïque (DHA, C22:6 n-3) (KACEM *et al.*, 2011 ; ENNOURI et MILI, 2013).

### **I.2.2- *Trachurus mediterraneus***

#### **1.2.2.1- Biologie de l'espèce**

Espèce benthopélagique, se trouve généralement près du fond de 5 m jusqu'à 250 m, mais parfois trouvée dans les eaux de surface. Leurs œufs sont toutes pélagiques et la ponte se fait généralement pendant l'été (FAO, 2020).

### I.2.2.2- Position systématique et noms communs

La position systématique de la saurel est consignée dans le tableau I.3. Quant aux noms communs selon quelques pays, ils sont listés dans le tableau I.4.

**Tableau I.3:** Position systématique de *Trachurus mediterraneus* (INPN, 2020).

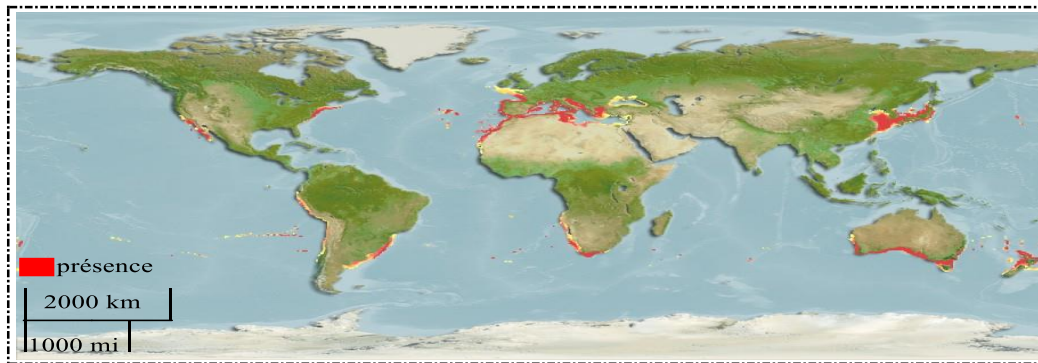
Domaine	Biota
Règne	Animalia (LINNAEUS, 1758)
Sous-règne	Eumetazoa (BUTSCHLI, 1910)
Clade	Bilateria (HAECKEL, 1874)
Infra-règne	Deuterostomia (KARL GROBBEN, 1981)
Phylum	Chordata (HAECKEL, 1874)
Sous-phylum	Craniata (JANVIER, 1981)
Infra-phylum	Vertebrata
Super-classe	Gnathostomata
Clade	Euteleostomi
Classe	Actinopterygii
Sous-classe	Neopterygii (REGAN, 1923)
Infra-classe	Teleostei
Ordre	Perciformes
Sous-ordre	Percoidei
Famille	Carangidae (RAFINESQUE, 1815)
Genre	<i>Trachurus</i> (RAFINESQUE, 1810)
Espèce	<i>Trachurus mediterraneus</i> (STEINDACHNER, 1868)

**Tableau I.4:** Les noms communs de l'espèce *Trachurus mediterraneus* (FAO, 2020).

Langue	Noms communs
Arabe	Chbouka, Chrenne, Chrène, Saourine, Saourel imperial, Saourel impérial, Saourel-elzrag, Seif, Tonino, Torino et Tcherel.
Catalane	Sorell, Sorell blancal.
France	Saurel, Cagnassum.
Grecque	Savridi.
Italienne	Sugarello maggiore.

### I.2.2.3- Répartition géographique

L'espèce *Trachurus mediterraneus* est présente principalement dans l'atlantique Est, le Maroc, le Portugal, le Golfe de Gascogne et la Méditerranée. La sous-espèce *Trachurus mediterraneus ponticus* est présente dans la mer de Marmara et la mer noire, ainsi que dans les parties sud et ouest de la mer d'Azov (Figure I.2) (FAO, 2020).



**Figure I.2:** Répartition géographique de l'espèce *Trachurus mediterraneus* dans le monde (FISHBASE, 2013).

### I.2.2.4- Régime alimentaire

Le chinchard se nourrit principalement de petits crustacés (copépodes), de crevettes, mais aussi de petits poissons (notamment la sardine, l'anchois, etc.) (FAO, 2020).

### I.2.2.5- Caractérisation chimique

#### A- Teneur en eau

De mars à mai, la teneur en eau au niveau des muscles diminue (inférieure à 75,9 %) mais elle augmente au cours de septembre et octobre (78,2 % et 77,6 %, respectivement) (TZIKAS *et al.*, 2007).

#### B- Teneur en matière minérale

La composition proximale du muscle au cours de l'année est égale à 1,5 % de cendre. L'espèce contient généralement les éléments minéraux tels que: le calcium, le sodium, le magnésium et le fer et leurs taux varient selon le sexe au sein des muscles rouges contrairement aux muscles blancs, mais ils restent presque constants au cours de l'année (TZIKAS *et al.*, 2007 ; KETATA KHITOUNI *et al.*, 2011).

### **C- Teneur en protéine**

La teneur en protéines chez cette espèce au cours de l'année est de 20,3 %. Au niveau des muscles rouges, la teneur en protéine varie selon le sexe mais ils sont moins riches en protéine que les muscles blancs (KETATA KHITOUNI *et al.*, 2011).

### **A- Teneur en lipide**

La composition proximale du muscle au cours de l'année est de 1,3 %, mais ce taux diffère au sein du même individu selon le type de muscle (blanc ou rouge) ; le muscle rouge contient plus de gras que le muscle blanc, cette teneur dépend aussi de la saison de reproduction. En mars, avril et mai, la teneur en graisse du muscle augmente (2,5 %, 2,8 % et 2,1 %, respectivement) et elle diminue en septembre et octobre (0,4 % et 0,6 %, respectivement) (TZIKAS *et al.*, 2007 ; KETATA KHITOUNI *et al.*, 2011).

Les lipides les plus abondants chez ces espèces sont des acides gras polyinsaturés de la famille des omégas 3 ; EPA et DHA avec un pourcentage significatif des acides gras saturés (43,03 % des lipides totaux) (DOBREVA et MERDZHANOVA, 2011).

## **I.2.3- *Engraulis encrasicolus***

### **I.2.3.1- Biologie de l'espèce**

Elle est principalement marine, pélagique, côtière et formant de grands bancs, enregistrés jusqu'à 400 m de profondeur au large de l'Afrique de l'Ouest et descendant en hiver jusqu'à 100 à 150 m de profondeur en Méditerranée ; euryhaline tolérant des salinités de 0.5 à 4.1 % et dans certaines zones pénétrant dans les lagunes, les estuaires ou les lacs, en particulier pendant les mois les plus chauds de la saison de frai. L'espèce a une tendance à s'étendre dans les eaux les plus septentrionales et généralement à pénétrer dans les couches superficielles, en retrait et en descente en hiver (FAO, 2020).

### **I.2.3.2- Position systématique et noms communs**

La position systématique de cette espèce ainsi que les noms communs selon quelques pays sont consignées respectivement dans le tableau I.5 et le tableau I.6.

**Tableau I.5:** Position systématique de l'espèce *Engraulis encrasicolus* (INPN, 2020).

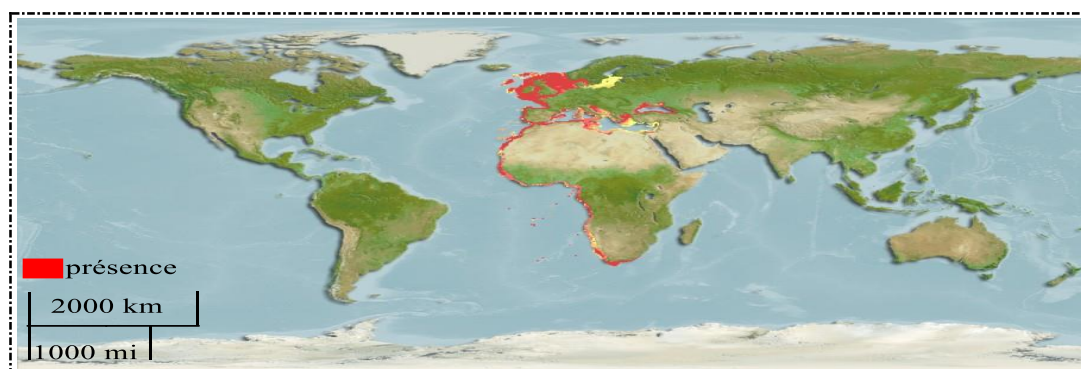
Domaine	Biota
Règne	Animalia (LINNAEUS, 1758)
Sous-Règne	Eumetazoa (BÜTSCHLI, 1910)
Clade	Bilateria (HAECKEL, 1874)
Infra-Règne	Deuterostomia (KARL GROBBEN, 1908)
Phylum	Chordata (HAECKEL, 1874)
Sous-Phylum	Craniata (JANVIER, 1981)
Infra-Phylum	Vertebrata
Super-Classe	Gnathostomata
Clade	Euteleostomi
Classe	Actinopterygii
Sous-Classe	Neopterygii (REGAN, 1923)
Infra-Classe	Teleostei
Ordre	Clupeiformes
Famille	Engraulidae (GILL, 1861)
Genre	<i>Engraulis</i> (CUVIER, 1816)
Espèce	<i>Engraulis encrasicolus</i> (LINNAEUS, 1758)

**Tableau I.6:** Quelques noms communs de l'espèce *Engraulis encrasicolus* (FAO, 2020).

Pays	Nom commun
Algérie	Anchovba
France	Anchois
Italie	Acciuga
Romanie	Hamsia
Espagne	Anchoa, Boquerón
URSS	Hamsa

### I.2.3.3- Répartition géographique

L'espèce *Engraulis encrasicolus* est retrouvée en Atlantique nord-est et central (côtes de l'Europe au sud de Bergen, en Norvège, au niveau de la Méditerranée, de la mer noire et Azov, avec des individus errants dans le canal et le golfe de Suez; vers le sud le long des côtes de l'Afrique de l'Ouest vers l'Angola, également enregistré depuis Sainte-Hélène) (Figure I.3) (FAO, 2020).



**Figure I.3:** Répartition géographique de l'espèce *Engraulis encrasicolus* dans le monde (FISHBASE, 2013).

#### I.2.3.4- Régime alimentaire

Cette espèce d'anchois se nourrit généralement d'organismes planctoniques, en particulier des copépodes calanoïdes, des larves des cirripèdes et des mollusques, ainsi que d'œufs et de larves de poisson (FAO, 2020).

#### I.2.3.5- Caractérisation chimique globale de l'espèce

##### A- Teneur en eau

L'espèce *Engraulis encrasicolus* est riche en eau dont la teneur peut atteindre une valeur maximale de 74 % en janvier (GENCBAY et TURHAN, 2016).

##### B- Teneur en matière minérale

Contrairement aux lipides et aux protéines, le mode d'extraction et la saison de pêche n'ont pas d'effet significatif sur la teneur en matière minérale chez l'anchois de la Méditerranée qui est d'environ 2 % (BORAN *et al.*, 2008 ; KOCATEPE *et al.*, 2011).

Le phosphore et le potassium sont les minéraux les plus abondants chez cette espèce, elle contient aussi du fer, du nickel, du calcium, du magnésium, du sodium, du cuivre, du cadmium, du plomb et du zinc avec des proportions différentes (GENCBAY et TURHAN, 2016).

##### C- Teneur en protéine

La teneur maximale en protéine chez l'espèce *Engraulis encrasicolus* dépend de la saison de pêche dont elle augmente significativement en novembre et décembre pour atteindre une valeur maximale d'environ 17 % du poids de poisson entier (BORAN *et al.*, 2008). Elle dépend aussi de la méthode d'extraction (KOCATEPE *et al.*, 2011).

Les acides aminés les plus abondants sont l'acide glutamique et l'acide aspartique. Il existe d'autres acides aminés avec des pourcentages différents (GENCBAY et TURHAN, 2016).

### **D- Teneur en lipide**

La teneur en lipides chez l'espèce varie selon la période de pêche, dont elle est maximale en novembre et décembre (jusqu'à environ 19 %), puis elle diminue dès le mois de janvier pour atteindre sa teneur minimale en mars, ceci peut être causé par la baisse de la quantité de plancton en janvier (BORAN *et al.*, 2008 ; YALÇIN KAYA, 2008). Elle varie aussi selon la méthode d'extraction (KOCATEPE *et al.*, 2011).

Les pourcentages maximaux des acides gras saturés et monoinsaturés dans le totale des lipides sont environ 38 % et 29 % du total des lipides avec l'abondance de l'acide palmitique (C16:0) et l'acide oléique (C18:1 n-9), respectivement.

Pour les acides gras polyinsaturés, la famille d'oméga-3 reste la plus abondante avec des teneurs maximales en DHA (C22 :6 n-3) et EPA (C20:5 n-3) (YALÇIN KAYA, 2008).

#### **I.2.4- *Aristichthys nobilis***

##### **I.2.4.1- Biologie de l'espèce**

La carpe à grosse tête est un poisson semi-migrateur, eurythermique, pouvant tolérer des températures de l'eau de 0,5 à 38 ° C. Il habite dans les lacs, les rivières et les réservoirs, dans la couche supérieure de la colonne d'eau et préfère une eau à haute fertilité avec une nourriture naturelle abondante (FAO, 2020).

La carpe à grosse tête est une espèce qui se reproduit chaque année pendant des dizaines d'années au cours de sa vie. Il n'y a qu'une seule saison de frai par an, qui a lieu au début de l'été (FAO, 2020).

##### **I.2.4.2- Position systématique et noms communs**

La position systématique de cette espèce est consignée dans le tableau I.7.

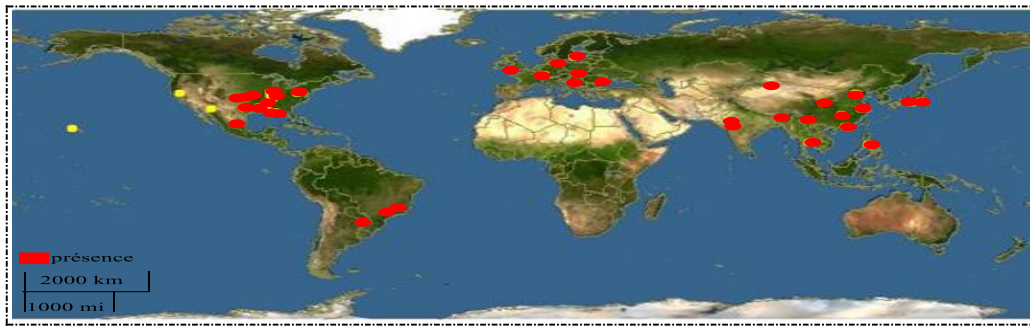
**Tableau I.7:** Position systématique de l'espèce *Aristichthys nobilis* (INPN, 2020).

Domaine	Biota
Règne	Animalia (LINNAEUS, 1758)
Sous-Règne	Eumetazoa (BÜTSCHLI, 1910)
Clade	Bilateria (HAECKEL, 1874)
Infra-Règne	Deuterostomia (KARL GROBBEN, 1908)
Phylum	Chordata (HAECKEL, 1874)
Sous-Phylum	Craniata (JANVIER, 1981)
Infra-Phylum	Vertebrata
Classe	Gnathostomata
Sous-Classe	Neopterygii (REGAN, 1923)
Infra-Classe	Teleostei
Ordre	Cypriniformes
Sous-Ordre	Cyprinoidei
Famille	Xenocyprididae (GÜNTHER, 1868)
Genre	<i>Hypophthalmichthys</i> (BLEEKER, 1860)
Espèce	<i>Hypophthalmichthys nobilis</i> (RICHARDSON, 1845)

### I.2.4.3- Répartition géographique

De nombreux pays et régions déclarent à la FAO une production d'élevage de carpes à grosse tête, mais seuls certains d'entre eux (Chine avec une large distribution depuis les zones de drainage de la rivière des Perles dans le sud jusqu'à celles de la rivière Heilongjiang dans le nord, province chinoise de Taiwan, République islamique d'Iran, République démocratique populaire lao, Népal, Malaisie et Myanmar) ont déclaré une production de plus de 1000 t. La production dépasse ce niveau aux États-Unis d'Amérique.

Bien qu'elle ait été introduite dans de nombreux autres pays (principalement en Asie et en Europe de l'Est). Cependant, il a été signalé que cette espèce a été trouvée dans la rivière Rouge au Viet Nam (Figure I.4) (FAO, 2020).



**Figure I.4:** Répartition géographique de l'espèce *Aristichthys nobilis* dans le monde entier (GBIF, 2018).

#### I.2.4.4- Régime alimentaire

Cette espèce se nourrit essentiellement de zooplancton tout au long de sa vie dans des conditions naturelles. En culture, la carpe à grosse tête acceptera également les aliments artificiels, tels que les sous-produits de la transformation des céréales et les débris organiques, en plus des aliments naturels (FAO, 2020).

#### I.2.4.5- Caractérisation chimique globale de l'espèce

##### A- Teneur en eau

La teneur en eau chez l'espèce *Aristichthys nobilis* est entre 73,86 % et 84,54 % (NAEEM et SALAM, 2010).

L'humidité des nageoires était la plus faible, tandis qu'aucune différence significative a été déterminée entre la tête, la peau et l'écaille (HONG *et al.*, 2015).

##### B- Teneur en matière minérale

La teneur en matière minérale est entre 2,65 % et 5,52 %, avec un taux proche de 1,47 % dans les muscles (NAEEM et SALAM, 2010 ; HONG *et al.*, 2015).

##### C- Teneur en protéine

La teneur en protéine est entre 9,43 % et 16,54 %, avec un taux de 11,70 % dans les viscères (NAEEM et SALAM, 2010; HONG *et al.*, 2015).

Les facteurs tels que le poids corporel et la longueur totale du poisson ont une influence positive sur la teneur en protéines (NAEEM et SALAM, 2010).

##### D- Teneur en lipide

La teneur en lipide est entre 0,18 % et 6,37 %, avec une faible teneur dans les muscles (0,55 %) (NAEEM et SALAM, 2010 ; HONG *et al.*, 2015).

En plus, le poids corporel et la longueur totale de poisson a une influence positive sur la teneur en matière grasse (NAEEM et SALAM, 2010).

### I.3- Intérêt pharmacologique, nutritionnel et commercial des espèces étudiées

#### I. 3.1- *Sardinella aurita*

##### I.3.1.1- Intérêt commercial

C'est la pêcherie la plus connue en Afrique d'ouest, en Méditerranée, au Venezuela et au Brésil. En 1983, les statistiques ont montré que 702 775 t de la sardinelle a été pêchée, dont 15 209 t en Méditerranée, 401 039 t en Afrique de l'ouest et 286 527 t en Atlantique -Ouest (FAO, 2020).

D'après l'estimation de la pêche en 1999, la production la plus importante de la sardinelle était 109 455 t, provenant de la fédération Russe, 93 512 t du Sénégal et 57 170 t du Ghana (FAO, 2020).

##### I.3.1.2- Intérêt nutritionnel

*Sardinella aurita* est une source importante en éléments nutritifs pour une grande part de la population mondiale, grâce à sa haute teneur en lipides et plus précisément en acides gras de la série n-3 et n-6. Sans oublier la vitamine D qui est recommandée comme complément au moins une fois par an durant la période péri-pubertaire (SELMI et SADOK, 2006 ; COLLÉGIALE DES ENSEIGNANTS DE NUTRITION, 2011; BOUFLIGHA, 2014)

##### I.3.1.3- Intérêt pharmacologique

La consommation fréquente des poissons est très bénéfique pour la santé humaine, elle assurerait la prévention et la réduction du risque des accidents cardiovasculaires en améliorant la répartition du cholestérol dans les lipoprotéines et augmentant le transport du cholestérol par les HDL (lipoprotéines de haute densité), sans oublier les huiles qui contiennent des acides gras polyinsaturés qui contribuent au bon fonctionnement du système cardiovasculaire.

Les protéines de la sardine atténuent le stress oxydatif en augmentant l'activité des enzymes anti-oxydantes; protégeant les tissus contre l'attaque radicalaire. Elles semblent avoir aussi un effet anti-inflammatoire et antibactérien. Ces effets bénéfiques pourraient ouvrir une voie de thérapie contre les perturbations conduisant aux complications au cours du diabète (JEMIL *et al.*, 2014 ; NORA, 2017).

#### I. 3.2- *Trachurus mediterraneus*

##### I.3.2.1- Intérêt commercial

La production totale déclarée pour cette espèce en 1999 était de 12 898 t avec un maximum de 9 220 t en Turquie et de 3 534 t en Grèce. Elle est utilisée principalement fraîche, en conserve et pour la farine de poisson (FAO, 2020).

### **I.3.2.2- Intérêt nutritionnel**

La saurel est une bonne source de protéines de haute valeur biologique et possède des quantités intéressantes de vitamines telles que les vitamines B2 et B12. Elles interviennent dans de nombreux processus organiques comme la production d'énergie et la réparation du matériel génétique (KENNEDY, 2016 ; DOBREVA *et al.*, 2018).

### **I.3.2.3- Intérêt pharmacologique**

L'espèce *Trachurus mediterraneus* possède des omégas 3 (EPA et DHA) qui ont une activité anti-inflammatoire appréciable contre l'érythème. Elle contient aussi des vitamines liposolubles A (All -trans Retinol) et E ( $\alpha$  – Tocophérol) qui agissent comme anti-oxydants naturels dans les organismes vivants; L' $\alpha$ -tocophérol est important pour la reproduction et le développement musculaire.

La consommation fréquente de la saurel contribue au traitement des différentes maladies telles que: l'Alzheimer, l'asthme, le diabète, la dépression et le cancer (PUGLIA *et al.*, 2005; GOGUS et SMITH, 2010; DOBREVA et MERDZHANOVA, 2011).

## **I. 3.3- *Engraulis encrasicolus***

### **I.3.3.1- Intérêt commercial**

Depuis 1950, les captures totales pour l'espèce *Engraulis encrasicolus* n'ont jamais été inférieures à 140 000 t, entre 1984 et 1988, la production a dépassé les 800 000 t. Les captures enregistrées en 1996 pour les statistiques de la FAO étaient de 527 486 t. Dans les pays africains, elle est commercialisée fraîche ou congelée (FAO, 2020).

### **I.3.3.2- Intérêt nutritionnel**

Cette espèce est riche en lipide et la distribution des acides gras spécialement celles de la famille des omégas 3 (EPA et DHA) et de la famille des omégas 6, permet de faire l'équilibre alimentaire chez les êtres humains (SANFILIPPO *et al.*, 2006).

Elle est riche aussi en protéines et le plus souvent en acides aminés essentiels ce que justifie l'utilisation des farines de protéines concentrées dans les régimes de musculation et dans les produits alimentaires (SHAVIKLO, 2015 ; GENCBAY et TURHAN, 2016).

### **I.3.3.3- Intérêt pharmacologique**

L'hydrolysate protéique de l'espèce *Engraulis encrasicolus* est riche en trypsine, une enzyme qui possède une forte activité chélatrice du fer avec une valeur IC<sub>50</sub> minimale de 0,048 mg/ml, donc une forte activité anti-oxydante (MARTINEZ *et al.*, 1988 ; WU *et al.*, 2012).

Cette espèce est riche aussi en acides gras polyinsaturés de la famille des omégas-3 qui possèdent généralement des activités antidiabétique et anti-Alzheimer, et ils jouent un rôle très

important dans la croissance et le fonctionnement des tissus nerveux et même au niveau des tissus rétiniens (SANFILIPPO *et al.*, 2006 ; JEMIL *et al.*, 2014 ; SANTOS *et al.*, 2020).

### **I.3.4- *Aristichthys nobilis***

#### **I.3.4.1- Intérêt commercial**

La carpe à grosse tête est l'une des principales espèces de poissons d'eau douce présentant un intérêt commercial dans l'intérieur de la Chine (HONG *et al.*, 2015).

Au cours de la dernière décennie, le taux de croissance annuel moyen mondial de la production était de 7,2 %; sur le continent asiatique (chine), il était de 7,3 %, mais dans le reste du monde, il n'était que de 0,2 %. Cependant, le taux d'expansion en Chine a ralenti récemment. En 2002, la production chinoise à grosse tête a augmenté de 2,3 % par an. Et en 2011, on estime que 2 668 000 t ont été pêchées (HONG *et al.*, 2015 ; FAO, 2020).

#### **I.3.4.2- Intérêt nutritionnel**

la carpe à grosse tête est considérée comme une source potentielle idéale d'AGPI utilisée surtout dans l'alimentation humaine (HONG *et al.*, 2015).

Environ 60 % du poids total de la carpe est produit sous forme de déchets biologiques. La plupart d'entre elles sont rejetées et envoyées ensuite à l'élimination des déchets ou, au mieux, transformées pour la production de farine de poisson (HONG *et al.*, 2015).

#### **I.3.4.3- Intérêt pharmacologique**

Les AGPI, en particulier l'EPA et le DHA, ont été utilisés pour prévenir des maladies telles que les maladies cardiovasculaires, le psoriasis, les maladies intestinales et mentales, le cancer et la polyarthrite rhumatoïde, etc.(HONG *et al.*, 2015).

## **I.4- Hydrolysats de poisson**

### **I.4.1- Définition de l'hydrolysats**

Au cours des dernières années, les hydrolysats de protéines de poisson ont attiré l'attention des technologues alimentaires en raison de la disponibilité de grandes quantités de protéines avec un bon équilibre en acides aminés, minéraux et vitamines.

L'hydrolysats de poisson produit par une hydrolyse protéolytique dans des conditions contrôlées de pH et de températures trouvent des applications pharmaceutiques. Les peptides et les résidus d'acides aminés possède des activités biologiques telles que les activités anti-hypertensives, anti-oxydantes, antithrombotiques et immunomodulatrices (SENEVIRATHNE et KIM, 2012 ; ABRAHA, 2017).

### I.4.2- Les différents types d'hydrolyse

L'hydrolyse des protéines est généralement fournie par voie chimique (traitement acide ou alcalin) ou par des méthodes biochimiques (autolyse, hydrolyse enzymatique) (PETROVA *et al.*, 2018).

#### 1.4.2.1- Hydrolyse biochimique

La méthode de fabrication prédominante des hydrolysats de protéines pour des applications biotechnologiques se fait grâce aux enzymes (Tableau I.8) (PASUPULETI et BRAUN, 2010).

**Tableau I.8:** Différents types d'hydrolyse biochimique.

	Type d'hydrolyse biochimique	Références
Autolyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Des enzymes protéolytiques endogènes, principalement les sérines protéases, trypsine et chymotrypsine...</li> <li>-La concentration des enzymes peuvent être très saisonnières, spécifiques au sexe et à l'âge, et aux espèces.</li> <li>-Difficile à contrôler le processus hydrolytique et à diriger la production d'hydrolysats aux propriétés moléculaires spécifiques.</li> </ul>	(KRISTINSSON et RASCO, 2000 ; PETROVA <i>et al.</i> , 2018).
Hydrolyse enzymatique	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Une enzyme spécifique ou un mélange d'enzymes commerciales.</li> <li>-Températures plus basse et un certain pH.</li> <li>-Un processus facile d'inactivation enzymatique réalisée par les températures élevées.</li> <li>-Contrôle difficile des procédés pour obtenir une certaine masse moléculaire.</li> </ul>	(KRISTINSSON et RASCO, 2000 ; PASUPULETI et BRAUN, 2010 ; HE <i>et al.</i> , 2013 ; PETROVA <i>et al.</i> , 2018)

#### 1.4.2.2- Hydrolyse chimique

L'hydrolyse chimique des protéines de poissons est réalisée par clivage des liaisons peptidiques avec un acide ou une base, en utilisant des solvants puissants, elle est souvent effectuée à de hautes températures et à des pH extrêmes, ce qui conduit presque invariablement à des produits avec des compositions et aux propriétés nutritionnelles et fonctionnelles limitées. Cette méthode est relativement peu coûteuse et assez simple à réaliser (Tableau I.9) (KRISTINSSON et RASCO, 2000 ; PETROVA *et al.*, 2018).

**Tableau I.9:** type de l'hydrolyse chimique.

Types de l'hydrolyse chimique		Références
Hydrolyse acide	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Cette méthode est plus répandue que la méthode basique.</li> <li>-Utilisation de l'acide chlorhydrique ou de l'acide sulfurique.</li> <li>-Des températures et des pressions de solution élevées.</li> <li>-Un impact sur la qualité du produit.</li> </ul>	(PASUPULETI et BRAUN, 2010).
Hydrolyse alcaline	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Cette méthode n'est pas prédominante pour des applications commerciales en biotechnologie.</li> <li>-Utilisation de l'hydroxyde de calcium ou de sodium ou de potassium.</li> <li>-Des températures moins élevées.</li> <li>-Un impact sur la qualité du produit.</li> </ul>	(KRISTINSSON et RASCO, 2000 ; PASUPULETI et BRAUN, 2010).

#### I.4.3- Les produits issus des hydrolysats

La plupart des PPH sont des poudres amorphes, de nature hygroscopique, contenant 81–93 % de protéines ; riches en acides aminés libres essentiels et en petits peptides ; moins de 5 % de matières grasses, 3–8 % de cendres et 1–8 % d'humidité, mais dans l'hydrolyse autolytique, le produit final est un liquide assez visqueux (KRISTINSSON et RASCO, 2000 ; VENUGOPAL, 2016 ; SHAVANDI *et al.*, 2019).

La composition en acides aminés du produit PPH peut affecter ses propriétés bioactives telles que les activités anti-hypertensives, anti-oxydantes, anti-thrombotiques et immunomodulatrices et antidiabétiques (SENEVIRATHNE et KIM, 2012 ; ANANEY-OBIRI *et al.*, 2019 ; SHAVANDI *et al.*, 2019).

### I. 5- L'huile de poisson

#### I.5.1- Généralités sur l'huile de poisson

Parmi les bioactives marines, Les huiles de poisson ont reçu beaucoup d'attention ces dernières années grâce à leur richesse en biomolécules (DURMUS et DURMUS, 2019).

Ces huiles sont produites à partir d'une variété d'espèces de poissons entier ou bien à partir de ses coproduits seulement (CX FO, 2013, EYMARD, 2003).

Les huiles de poisson sont soumises aux « Normes Codex pour les graisses et huiles comestibles » actuellement pas couvert par des normes individuelles. Il est stipulé que les produits d'origine animale doivent être produits à partir d'animaux en bonne santé au moment de l'abattage et

propres à la consommation et l'utilisation humaine. Ce point de vue est également soutenu par le point 10.2.2 de la FAO, car l'état du poisson au moment de la transformation affecte les propriétés physico-chimiques et nutritionnelles des huiles (CX FO, 2013).

A température ambiante, ces huiles sont des liquides riches en acide gras polyinsaturés. Elles n'ont aucune interaction chimique distincte avec d'autres substances et aucune toxicité et persistance environnementale car elles sont entièrement biodégradables (ONC, 2007 ; RAYNAL-LJUTOVAC *et al.*, 2011 ; CX FO, 2013).

### **I.5.2- Les méthodes d'extraction des huiles de poissons**

Il existe plusieurs méthodes pour la production des huiles de poisson. La méthode la plus commune est l'extraction thermique, mais il y a aussi l'extraction par fluide supercritique, l'extraction enzymatique, l'extraction à froid et l'extraction au solvant.

#### **I.5.2.1- L'extraction par fluide supercritique**

La matière première utilisée pour cette méthode est préalablement lyophilisée. L'extraction par fluide supercritique (EFS) est réalisée à une température modérée et en absence d'oxygène ce que réduit l'oxydation des oméga-3 et permet l'extraction sélective des lipides faiblement polaires en évitant la co-extraction des impuretés polaires (ex ; certains métaux lourds).

Dans certaines expériences, on réalise un fractionnement par dépressurisation dans deux séparateurs consécutifs: le premier séparateur est maintenu à une pression de  $9 \pm 0,5$  mPa et à une température de  $308 \pm 1$  °K pour récupérer la plupart des triglycérides, et le deuxième séparateur est maintenue à une pression de  $5 \pm 0,5$  mPa et une température de  $283 \pm 1$  °K pour la récupération des acides gras libres (RUBIO-RODRIGUEZ *et al.*, 2012).

L'inconvénient de cette méthode est le coût élevé à cause de l'utilisation d'équipement à haute pression et la lyophilisation de la matière première pour réduire l'humidité (RUBIO-RODRIGUEZ *et al.*, 2008).

#### **I.5.2.2- L'extraction enzymatique**

Les enzymes utilisés dans cette méthode sont des protéases de qualité alimentaire ; alcalase, endopeptidase de *Bacillus licheniformis*, Neutrase de *Bacillus subtilis* et Protamex de *Bacillus sp.* Après broyage et suspension de la matière première dans de l'eau distillée, l'hydrolyse enzymatique se fait dans un réacteur thermostat. La solution enzymatique est ajoutée après ajustement du pH sous mélange. Le milieu est ensuite grossièrement filtré pour soumettre la phase liquide à des centrifugations afin de séparer l'huile et les fractions émulsifiées de la phase

aqueuse sous-jacente. Les enzymes sont inactivées dans les hydrolysats par traitement thermique (GBOGOURI *et al.*, 2006).

### I.5.2.3- Le traitement thermique

La méthode la plus utilisée inclut les étapes suivantes ;

**-La cuisson** : Cette étape est réalisée à vapeur, à une température de 90 °C à 95 °C. Son but est de faire coaguler les protéines du poisson en une masse compacte et permettre l'éclatement des cellules qui libèrent l'huile et l'eau liée.

**-Le pressage**: permet de récupérer une grande partie de liquide et de masse.

**-Le séchage et broyage de la phase solide**: permet d'enlever suffisamment l'eau et l'humidité pour produire une farine stable. Ce traitement permet de récupérer deux produits finaux qui sont l'huile et la farine de poisson (BAKO *et al.*, 2017).

### I.5.2.4- L'extraction au solvant

C'est une technique bien établie ; après la rupture mécanique de la cellule (broyage) dans le cas où l'échantillon est d'origine animal pour permettre le contact physique entre le solvant et les lipides (ADEOTI *et al.*, 2014). Pour l'extraction de l'huile de poisson, on utilise des solvants organiques répondants aux critères suivants : la solubilité préférentielle du composé d'intérêt, le point d'ébullition bas pour une récupération facile, le facteur économique, la non-toxicité du solvant utilisé, la disponibilité et la possibilité de réutilisation. Cependant, l'utilisation des solvants et leur insolubilité dans l'eau, entraîne une dénaturation des protéines et perte des propriétés fonctionnelles.

Les méthodes les plus courants sont celles de Soxhlet et Bligh-Dyer, toutefois, d'autres méthodes comme celles de McGill-Moffatt, de Randall et Folch sont également utilisées (IMMANUEL *et al.*, 2009 ; FIORI *et al.*, 2012 ; RINCÓN-CERVERA *et al.*, 2017).

### I.5.2.5- L'extraction à froid

L'extraction à froid est le moyen le plus simple pour obtenir de l'huile de poisson avec certains avantages par rapport aux procédures courantes utilisées dans l'industrie de la pêche, un processus mené à des basses températures permet d'obtenir un rendement élevé en huile et inhibe simultanément l'oxydation des lipides (GŁOWACZ-RÓŻYŃSKA *et al.*, 2016 ; BONILLA et CONCHA, 2018).

Le matériau restant après l'isolement de l'huile peut être une source de collagène, de gélatine et de minéraux (dans le cas des têtes et épines) utilisés dans les industries alimentaire, pharmaceutique, cosmétique (GŁOWACZ-ROZYNSKA *et al.*, 2016).

### **I.5.3- La composition des huiles de poissons**

L'huile de poisson est une source très riche en acides gras polyinsaturés (AGPI), en particulier en acides eicosapentaénoïques (EPA; chaîne à 20 carbones avec cinq doubles liaisons) et en acides docosahexaénoïques (DHA; chaîne à 22 carbones avec six doubles liaisons), Avec un peu d'acides docosapentaénoïques (DPA), acides gras saturés tels que l'acide myristique et l'acide palmitique, qui sont associés aux triglycérides et aux phospholipides et un ensemble de vitamines A et D dans le foie du poisson et autres comme la vitamine E (PIKE et JACKSON, 2010; DASGUPTA et KLEIN, 2014 ; CODEXALIMENTARIUS, 2017; STAMP et CLELAND, 2017; LIBERT JULIEN, 2019). La composition de l'huiles de poissons et sa teneur en oméga-3 varient en fonction de l'espèce et de son alimentation (microalgue, plantes marines, phytoplancton, etc.). Sachant que le phytoplancton, qui se situe au début de la chaîne alimentaire de la vie marine, est la seule espèce capable de synthétiser de l'EPA et du DHA à partir de l'acide  $\alpha$ -linoléinique, un poisson qui le consomme aura d'autant plus d'EPA et de DHA dans sa chair (PIKE et JACKSON, 2010 ; LIBERT JULIEN, 2019).

### **I.5.4- Les différents domaines d'application des huiles de poisson**

L'huile de poisson est principalement utilisée dans l'aquaculture, en particulier pour les poissons carnivores tels que les salmonidés et les espèces marines. Ces huiles sont aussi conditionnées dans des gélules pour l'alimentation humaine pour leur propriétés pharmacologiques telles que les propriétés anti-inflammatoire, anti-thrombotique, antidiabétique et anti-arythmiques (DASGUPTA et KLEIN, 2014 ; DUKE, 2011 ; GOEL *et al.*, 2018).

Autres bénéfiques sur la santé cardiovasculaire chez les adultes normaux et la réduction de l'incidence de récurrence des problèmes de coronaropathie. Ces huiles peuvent être incorporées dans la fabrication du cuir, des pesticides et des peintures (PIKE et JACKSON, 2010).

## **I.6- Farine de poisson**

### **I.6.1- Généralités sur la farine de poisson**

La farine de poisson est un aliment pour les animaux à teneur élevée en protéines hautement digestibles, en acides aminés, en minéraux (calcium et phosphore) et en lipides (AGPI de la famille des  $\Omega_3$ ). De plus, cet aliment est une source non négligeable de différentes vitamines à savoir la choline, la biotine, B12, A, D et E, et divers éléments traces ou oligo-éléments comme le sélénium et l'iode. Sa composition particulière et son prix moins cher la distinguent des différents compléments alimentaires de la haute qualité comme la farine de sang et de lait (CHO

et KIM, 2011). Il existe deux types de la farine de poisson ; celle produite à partir des coproduits de poisson associés aux divers produits de la pêche et celle produite à partir de poissons entiers spécifiquement récoltés comme le hareng (CHO et KIM, 2011).

### **I.6.2- La méthode de fabrication de la farine de poisson**

La farine est produite directement par séchage ou cuisson de la matière première (poisson/coproduits). Le gâteau obtenu est par la suite broyé et conditionné (MAPM, 2010).

### **I.6.3- La composition de la farine de poisson**

La farine de poisson de bonne qualité contient 60 à 72 % de protéines et sa valeur nutritive dépend de sa composition en acides aminés et la digestibilité de ses protéines. Elle contient un profil complet d'acides aminés essentiels ; arginine, histidine, isoleucine, leucine, cystéine, phénylalanine, tyrosine, thréonine, tryptophane, valine, tyrosine et thréonine.

En plus de sa haute teneur en protéines, elle doit être riche en élément minéraux comme le calcium et le phosphore et en vitamines comme la vitamine B (la biotine ; B8, la cobalamine ; B12, la choline, la niacine ; B3 ; B5, la riboflavine B2), la vitamine A, D et E (CHO et KIM, 2011).

la graisse solide des poissons constitue généralement 6 à 10 % du poids net de la farine mais peut varier entre 4 et 20 % (CHO et KIM, 2011).

### **I.6.4- Les différents domaines d'application de la farine de poisson**

La farine de poisson est une source de protéines de haute qualité ; qui peuvent être purifiées, concentrées, et destinées à l'utilisation humaine après stabilisation des lipides résiduels (CHUNG *et al.*, 2000 ; IBRAHIM, 2009; CHO et KIM, 2011; SHAVIKLO *et al.*, 2011 ; PIRES *et al.*, 2012). C'est aussi une source d'acides aminés essentiels hautement digestibles « lysine » utilisés pour modifier la réponse immunitaire des animaux, ce qui peut entraîner une amélioration des performances de l'immunité des juvéniles en aquaculture (GAINES *et al.*, 2005 ; ZINN *et al.*, 2009 ; CHO et KIM, 2011).

Elle constitue également une source d'acides gras essentiels tel que L'EPA et le DHA, qui peuvent prévenir les maladies cardiovasculaires et affecter de manière significative les systèmes vasculaire et hémostatique, le cerveau, la rétine et d'autres tissus corporels (VISENTAINER *et al.*, 2000).

## I.7- Activités biologiques

Les huiles marines représentent des sources potentielles d'AGPI, de vitamines A et D, de rétinol, de sélénium et d'autres composés dont les implications au niveau de la nutrition et de la santé sont avérées. Ils ont un rôle anti-oxydant, antidiabétique, antibactérien, anti-infectieux, antihypertensif, antithrombotique et immunomodulateur et antiplaquettaire, anticancer, et cardioprotecteur (SENEVIRATHNE et KIM, 2012 ; HUANG *et al.*, 2018 ; ANANEY-OBIRI *et al.*, 2019 ; INNES et CALDER, 2020).

Par ailleurs, il existe plusieurs méthodes pour évaluer ces propriétés pharmacologiques. Quelques-unes de ces méthodes sont décrites brièvement ci-après.

### I.7.1- Mise en évidence de l'activité anti-oxydante

Le corps humain possède un système complexe équilibré de défenses anti-oxydantes enzymatiques et non enzymatiques naturelles, par des composés qui ont la capacité à piéger les radicaux libres tels que les radicaux hydroxyles (OH<sup>•</sup>) et superoxydes (O<sub>2</sub><sup>•</sup>). Cependant, ce système équilibré peut être modifié lorsque les espèces de production augmentée à cause de l'exposition aux facteurs environnementaux tels que les radiations, les polluants de l'air et les solvants organiques ou lorsque les niveaux d'anti-oxydants sont diminués, Ce qui nécessite une défense anti-oxydante (BADARINATH *et al.*, 2010; ALAM *et al.*, 2013; XU *et al.*, 2013).

Plusieurs méthodes sont utilisées pour évaluer, *in vitro*, l'activité anti-oxydante par piégeage de différents radicaux, comme les ions ferriques par la méthode FRAP (Pouvoir anti-oxydant réducteur d'ions ferriques) ; ou le cation radical l'ABTS<sup>•+</sup> (sel d'ammonium de l'acide 2,2'-azinobis-3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique), ainsi que la méthode utilisant le radical libre DPPH<sup>•</sup> (diphényl-picrylhydrazyle), etc. (POPOVICI *et al.*, 2010).

#### I.7.1.1- Activité antiradicalaire au DPPH<sup>•</sup>

Cette méthode est basée sur la mesure de la capacité antiradicalaire des anti-oxydante à piéger le radical libre DPPH<sup>•</sup> ( $\alpha,\alpha$ -diphényl- $\beta$ -picrylhydrazyle), de couleur violet qui absorbe à 517 nm, par le transfert de l'atome d'hydrogène du groupement hydroxyle sur le DPPH<sup>•</sup> qui est transformé en une molécule stable DPPH-H de couleur jaune (Figure I.5). Cette transformation peut être suivie par spectrophotométrie UV visible, en mesurant la diminution de l'absorbance à 517 nm (POPOVICI *et al.*, 2010 ; ZAHIA, 2014).

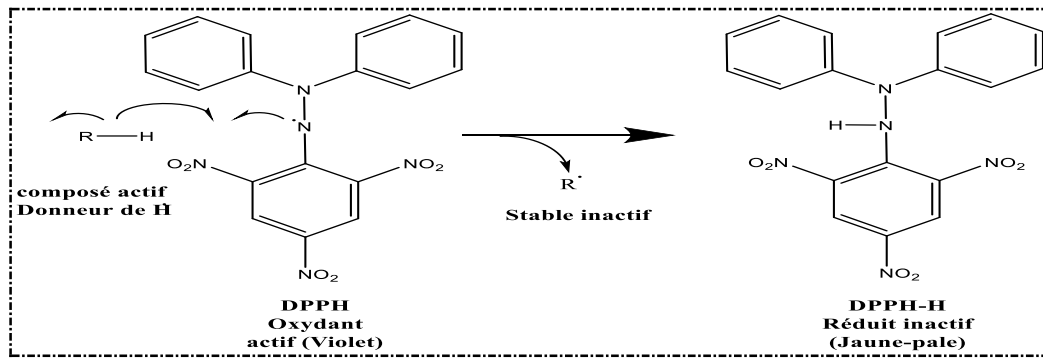


Figure I.5: Transformation du radical DPPH• en DPPH-H (BEKRO, 2017).

### I.7.1.2- Activité du piégeage de cation radical ABTS<sup>•+</sup>

La méthode ABTS est basée sur la formation du cation radicalaire ABTS<sup>•+</sup> bleu/vert produit par une réaction entre l'ABTS et le persulfate de potassium. L'efficacité et la capacité donneuse des atomes d'hydrogène ou des électrons des molécules anti-oxydantes pour former un radical ABTSH<sup>•+</sup> décoloré est évaluée (Figure I.6). Cette transformation peut être suivie par spectrophotométrie UV visible, en mesurant la diminution de l'absorbance à 734 nm. Les équivalents Trolox sont le plus souvent utilisés pour exprimer les résultats (TEAC, Capacité anti-oxydante équivalente de Trolox) (CERRETANI et BENDINI, 2010 ; MARC *et al.*, 2004).

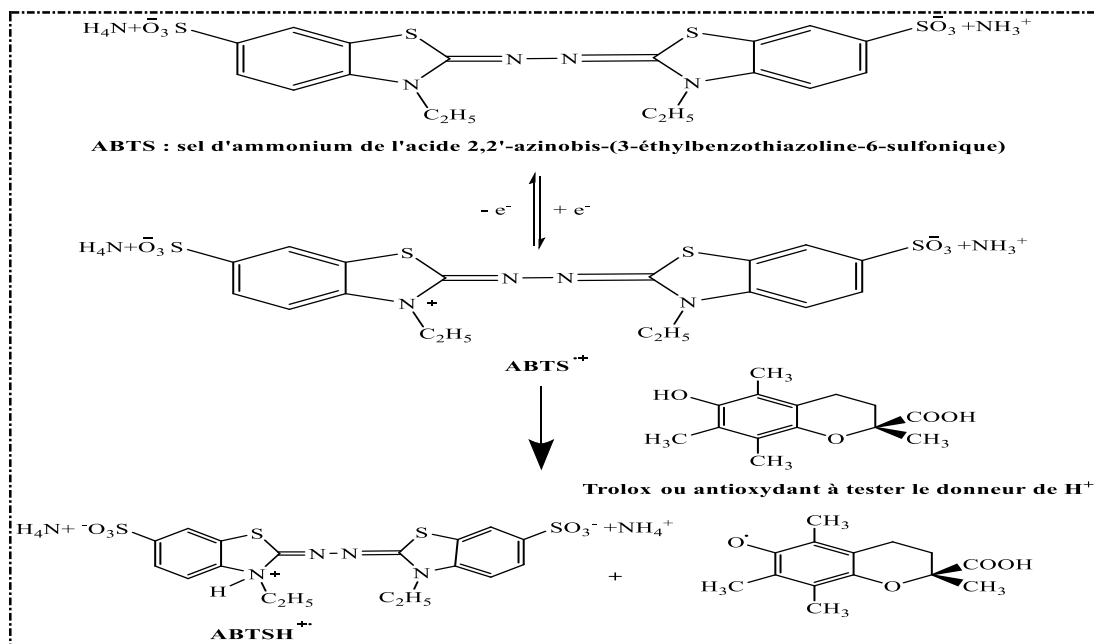
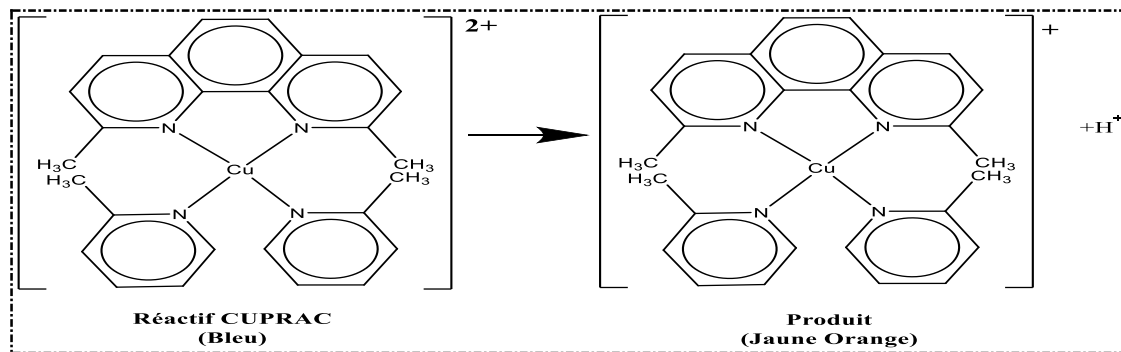


Figure I.6: Formation et piégeage du radical ABTS<sup>•+</sup> par un anti-oxydant donneur de H<sup>+</sup> (MARC *et al.*, 2004).

### I.7.1.3- Activité de réduction du complexe cuivre-néocuproïne (CUPRAC)

La méthode CUPRAC est basée sur la capacité de réduction du complexe cuivre (II) - néocuproïne par des molécules anti-oxydantes formant un complexe stable coloré avec le Cu (I)-

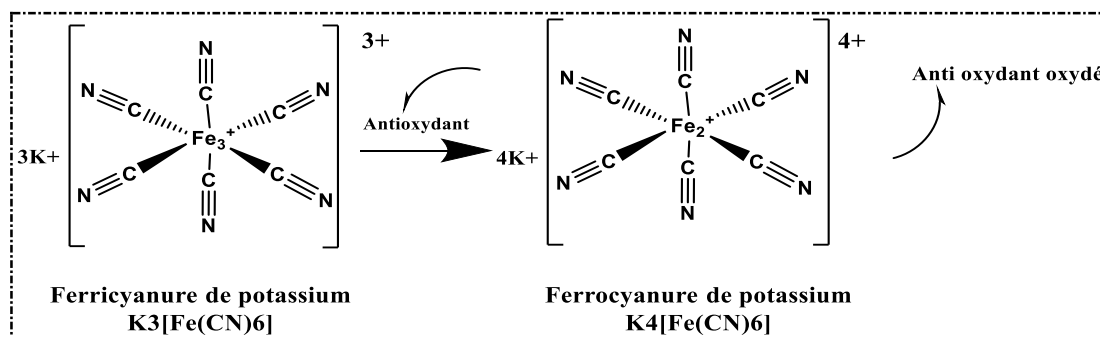
Nc montrant une absorption maximale à 450 nm (Figure I.7). Cette méthode est déterminée selon APAK *et al.* (2004).



**Figure I.7:** Réduction du complexe chromogène de cuivre (II) -neocuproïne [Cu (II) -Nc] (ÖZYÜREK *et al.*, 2011).

#### I.7.1.4- Activité du pouvoir réducteur

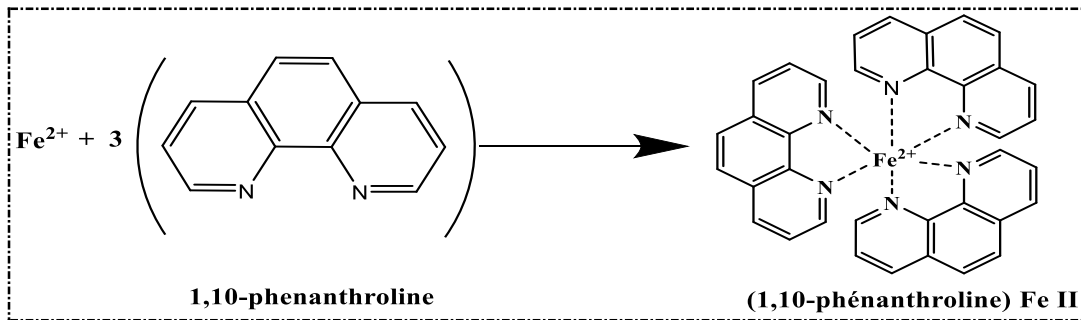
La méthode FRAP est basée sur la capacité des extraits à réduire le fer ferrique Fe (III) présent dans le ferricyanure de potassium en fer ferreux Fe (II) sous forme de ferrocyanure de potassium de couleur bleue (Figure I.8). L'absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 700 nm (OU *et al.*, 2002 ; EL JEMLI *et al.*, 2016), et elle est directement proportionnelle au pouvoir réducteur des extraits testés (El JEMLI *et al.*, 2016).



**Figure I.8:** Réduction du fer ferrique en fer ferreux (GÜLÇIN, 2012).

#### I.7.1.5- Activité de réduction par la formation du complexe Fe<sup>+2</sup>-phénantroline

Le complexe Fe (II)-phénantroline est largement utilisé pour la détection du fer (OKTAVIA *et al.*, 2008). Le Fe (II) est déterminé par spectrométrie sur la base de la réaction entre la 1,10 phénantroline et le fer (II), donnant un complexe Fe (II)-phen de couleur orange-rouge, avec une absorption maximale à la longueur d'onde 510 nm. Cette réaction est rapide et hautement sensible (Figure I.9) (TESFALDET *et al.*, 2004).

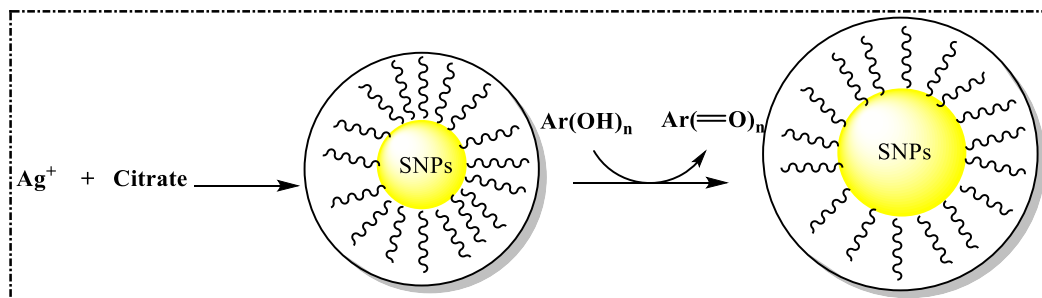


**Figure I.9:** Formation du complexe Fe (II)-phénanthroline (AGUSTINA *et al.*, 2015).

### I.7.1.6- Composé de nanoparticule d'argent (AgNP)

C'est une méthode colorimétrique sensible permet la détection des polyphénols dans les extraits (ÖZYÜREK *et al.*, 2012).

Elle se base sur le mécanisme de transfert des électrons entre des ions d'argent et des molécules anti-oxydantes, en présence des grains d'argent stabilisés au citrate (SZYDŁOWSKA-CZERNIAK *et al.*, 2012 ; ÖZYÜREK *et al.*, 2012). La réduction des ions d'argent en atomes Ag est suivie par l'agglomération en grappes oligomères qui conduit à la formation des particules d'argent colloïdales. Toutes ces réactions permettent la synthèse des AgNP ; nanoparticules d'argent d'une forme sphérique et une taille entre 1 et 100 nm. La présence de ces derniers est confirmée par la spectroscopie UV visible à une longueur d'onde de 423 nm (ÖZYÜREK *et al.*, 2012 ; REDDY *et al.*, 2014). La réaction chimique de la méthode AgNP est présentée par l'équation suivante :



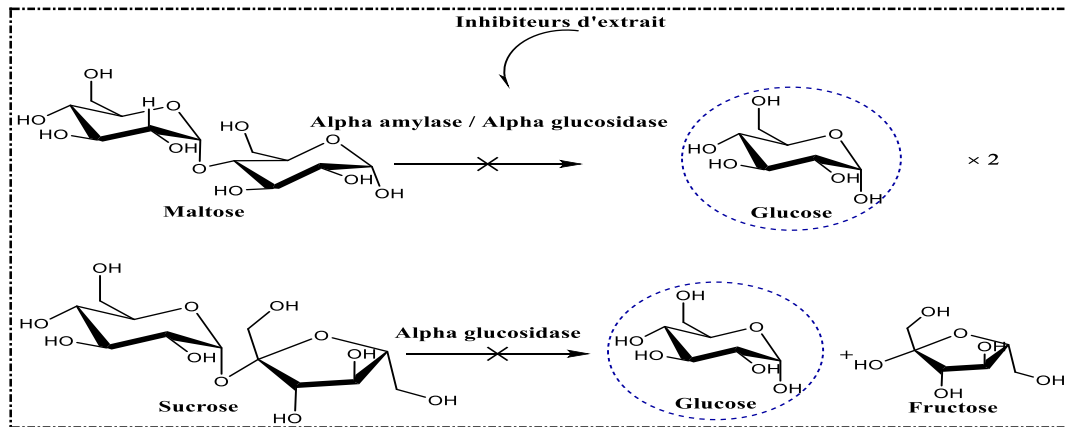
**Figure I.10:** Schéma représentant la réaction de la méthode AgNP (ÖZYÜREK *et al.*, 2012).

## I.7.2- Activité enzymatique

### I.7.2.1- Evaluation de l'activité antidiabétique

Le diabète de type 2 est l'un des troubles métaboliques courants, l'hyperglycémie postprandiale joue un rôle important dans le développement du diabète de ce type et de ses complications. L'une des approches thérapeutiques antidiabétiques consiste à réduire la production et l'absorption gastro-intestinales du glucose par l'inhibition des enzymes alpha-amylase et alpha-

glucosidase par des inhibiteurs d'extraits bioactifs, qui jouent un rôle majeur dans la prévention de l'augmentation du taux de glucose postprandial chez les patients diabétiques, et dans la réduction de la toxicité et les effets secondaires des médicaments antidiabétiques de synthèse (Figure I.11) (JIJITH et S, 2017 ; VANAPATLA, 2020). La mesure de cette activité dépend de la dégradation de l'amidon ajouté et l'absence de l'inhibiteur qui donnent une couleur jaune, et une couleur bleu foncé dans le cas contraire (la non-dégradation de l'amidon et la présence de l'inhibiteur) (BOUBEKEUR, 2019). L'absorbance est mesurée à 565 nm pour l'alpha-amylase et à 400 nm pour l'alpha-glucosidase (JIJITH et S, 2017).



**Figure I.11:** Effet des inhibiteurs sur l'action des enzymes (JIJITH et JAYAKUMARI, 2017 ; YANG *et al.*, 2019).

**CHAPITRE II.**  
**MATÉRIEL ET MÉTHODES**

## II.1- Echantillonnage et identification morphologique des espèces

“Prélever des échantillons” est une procédure utilisée dans presque toutes les recherches sur les pêches (FAO, 2020).

Dans cette étude, trois petits pélagiques ont été choisis car ils constituent l'essentiel de la production nationale ; Ils proviennent des chalutiers et des embarcations de type petits métiers de deux ports de pêche Boudis et Ziama situés à la wilaya de Jijel. Le prélèvement de ces 3 espèces a été réalisé le 10 mars 2020.

La quatrième espèce est un poisson d'eau douce issue de l'aquaculture continentale. Elle a été pêchée en avril au niveau du barrage Gargar de la wilaya de Ghelizene en utilisant comme engin de pêche le filet trémail monofilament à grosse mail (diamètre 80 mm). L'individu pêché est d'une taille de 1,18 m et 12,88 Kg. L'échantillon a été placé dans une bassine et il a été emballé dans un sac en plastique et couvert de glace durant son transport.

Aussitôt arrivés au laboratoire ; les espèces sont identifiées en se basant sur les caractères morphologiques et les paramètres biométriques indiqués sur les fiches (FAO, 2020) et congelées à -20 °C.

Ce travail a été réalisé grâce à la collaboration entre l'ENSSMAL et le CRBT de Constantine plus particulièrement le laboratoire de biochimie ainsi que la contribution du Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-chimiques (CRAPC).

## II.2- Caractérisation de la composition chimique globale des quatre espèces

### II.2.1- Détermination du taux d'humidité et la matière sèche

Plusieurs méthodes ont été proposées pour déterminer la teneur en eau dans la chair et les coproduits des poissons marins, comme le titrage volumétrique Karl Fisher ou le séchage infrarouge ; mais en raison des difficultés expérimentales, les normes internationales n'ont retenu comme la méthode gravimétrique (perte de poids dans une étuve chauffée à 100-105 °C jusqu'à poids constant) qui est validée par l'AFNORD (APHA *et al.*, 1985).

#### - Principe

Séchage du produit à une température voisine de 105 °C dans une étuve, à la pression atmosphérique jusqu'à l'obtention d'une masse pratiquement constante. La différence observée des poids (avant et après traitement) est la quantité d'eau initialement présente dans le poisson.

#### - Mode opératoire

-Prélever et peser 2,0000 g de poissons frais dans des creusets ;

-Mettre à l'étuve réglée à 105 °C jusqu'à la déshydratation et l'obtention d'un poids relativement constant.

- **Mode de calcul**

$$\text{Teneur en eau (\%)} = \frac{(M1 - M2) \times 100}{M1}$$

**Équation II.1:** Teneur en eau.

- M1: poids initial de l'échantillon
- M2: poids de l'échantillon après séchage

### II.2.2- Détermination du taux de la matière minérale et organique

- **Principe**

L'échantillon est constitué de matières minérales, de matières organiques et d'eau. La matière minérale (MM) représente la partie qui reste après calcination complète du poisson dans un four à moufle à 550 °C jusqu'à l'obtention d'une cendre grise, claire et légère (en moyenne 6 heures de combustion) (BASSIL, 2015).

- **Mode opératoire**

- A l'aide d'une balance de précision ; peser les creusets qui contiennent la matière sèche après refroidissement dans un dessiccateur ;
- Mettre les creusets dans le four à moufle à 550 °C jusqu'à l'obtention d'une cendre ;
- Mettre à refroidir les creusets dans le dessiccateur ;
- Peser les creusets contenant les résidus incinérés ;

- **Mode de calcul**

La teneur en matière minérale correspond à :

$$\text{Teneur en matière minérale (MM) (\%)} = \frac{P2 - P0}{P1 - P0} \times 100$$

**Équation II.2 :** Teneur en matière minérale.





- ❑ P0: le poids du creuset vide ;
- ❑ P1: le poids du creuset contenant la matière sèche après déshydratation à 105°C pendant 24 heures ;
- ❑ P2: le poids du creuset contenant le résidu incinéré après calcification complète ;

La matière organique correspond à la différence pondérale entre la matière sèche et la matière minérale (BASSIL, 2015). Elle est déterminée comme suit ;

$$\text{Teneur en matière organique (M O)(\%)} = \left(1 - \frac{P2 - P0}{P1 - P0}\right) \times 100$$

**Équation II.3:** Teneur en matière organique.

- ❑ P0: le poids du creuset vide ;
- ❑ P1: le poids du creuset contenant la matière sèche après déshydratation à 105°C pendant 24 heures ;
- ❑ P2: le poids du creuset contenant le résidu incinéré après calcification complète ;

### **II.2.3- Détermination de la teneur en protéines totales par la méthode de Bradford (1976)**

Il existe plusieurs méthodes physicochimiques ; la méthode de Kjeldahl, la méthode de Biuret, la méthode de Lowry et la méthode de Bradford. La méthode adoptée est celle de Bradford modifiée. C'est une microméthode qui permet une grande économie des réactifs et des extraits biologiques grâce à l'utilisation des microplaques et du lecteur. Les analyses sont répétées trois fois.

#### **- Principe**

La méthode de Bradford est un dosage colorimétrique basé sur la capacité de fixation aux protéines du colorant bleu brillant de Coomassie® déplaçant ainsi son maximum d'absorption de 465 nm à 595 nm. L'absorption de l'échantillon à 595 nm sert donc d'unité de mesure pour la concentration en protéines. Le colorant étant cationique possède une affinité pour les acides aminés basiques et aromatiques. Ceci se manifeste par le changement de la couleur de la solution initialement brun-translucide vers le bleu en présence des protéines (BRADFORD, 1976).

#### **- Mode opératoire**

- Préparer une solution de BSA d'une concentration de 1g/l qui sert comme témoin (protéine standard).
- Préparer une solution de l'échantillon à analyser.

- Déposer un volume final de 10 $\mu$ l de la gamme étalon et de l'échantillon dans les puits de la microplaque.
- Ajouter le réactif de Bradford dans chaque puits de la microplaque puis incuber à température ambiante de 5 à 45 minutes.
- Lecture

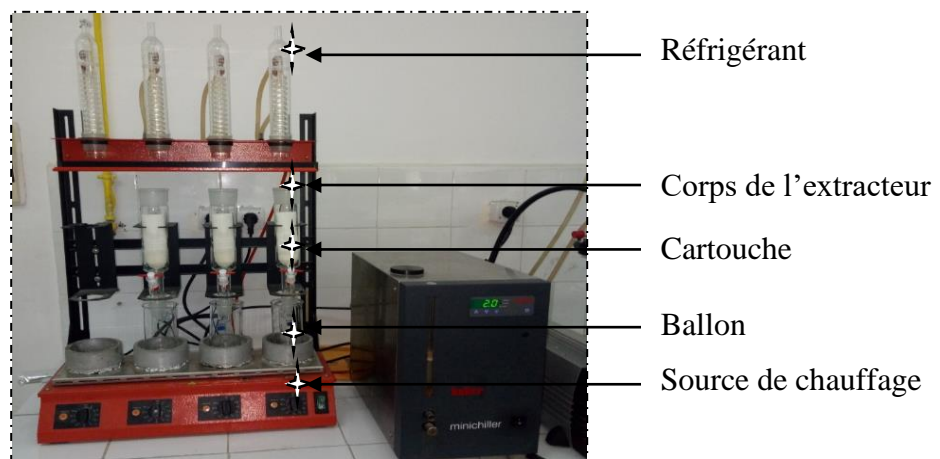
Lire la concentration en protéines sur le Lecteur Automatique de Microplaque ELx808<sup>TM</sup> à une absorbance entre 595 et 620 nm. Une courbe étalon ( $A = f [BSA]$ ) est obtenue. Celle-ci permet de déterminer la teneur en protéines dans l'échantillon.

#### II.2.4- Détermination du taux des lipides totaux

La méthode la plus simple et convenable proposée pour calculer la teneur en matière grasse c'est la méthode de Soxhlet, qui a été déterminée par F.SOXHLET (1879), elle permet de répéter infiniment le cycle d'extraction avec du solvant frais jusqu'à l'épuisement complet du soluté dans la matière première (PENCHEV, 2010 ; AISSOU, 2019)

##### - Principe

Dans cette étude, L'extraction par Soxhlet est utilisée pour déterminer la matière grasse dans les poissons déshydratés, L'appareil Soxhlet est illustré ci-dessous ;



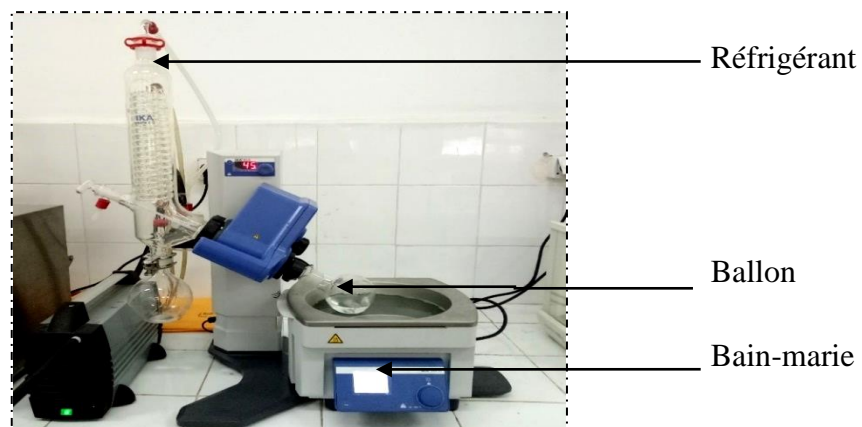
**Figure II.1:** Appareil Soxhlet (LABORATOIRE ENSSMAL, LBCM2).

La configuration de l'extracteur Soxhlet se compose d'un corps en verre, d'un tube siphon et d'un chemin de distillation. La cartouche en papier-filtre épais, contenant le solide à extraire est insérée dans l'extracteur. Le solvant d'extraction est prélevé dans le ballon à fond rond et chauffé en utilisant une source de chauffage. Le ballon étant chauffé, le liquide est amené à l'ébullition, les vapeurs du solvant passent par le tube de distillation et rentrent dans le réfrigérant pour être

liquéfiées. Ensuite, le condensat retombe dans le corps de l'extracteur sur la cartouche, faisant ainsi macérer le solide dans le solvant.

Le solvant condensé s'accumule dans l'extracteur jusqu'au niveau du sommet du tube-siphon, suivi par le retour dans le ballon du liquide de l'extracteur accompagné de substances extraites. Ainsi le solvant dans le ballon s'enrichit progressivement en composants solubles. L'extraction continue jusqu'à l'épuisement de la matière solide chargée dans la cartouche (PENICHEV, 2010 ; GOPALASATHEESKUMAR, 2018).

Le refroidissement des ballons est suivi par une séparation du solvant de l'extrait qui se fait à l'aide d'un Rota-vapeur à 40 °C et à une vitesse de rotation de 6 à 7 tours/min ; (Figure II.2 Après un séchage des ballons dans l'étuve à 37 °C , ces derniers sont placés dans un dessiccateur jusqu'à refroidissement (LE-GOFF, 2013). C'est une méthode d'évaporation simple, utile, douce et rapide (PENICHEV, 2010).



**Figure II.2:** Rota-vapeur (LABORATOIRE ENSSMAL, LBCM2).

#### - Mode opératoire

- Allumer le réfrigérant, à 2 °C ;
- Peser chaque ballon vide, soit  $P_0$  ;
- Peser environ 2 g de chaque échantillon lyophilisé et finement broyé dans une cartouche tarée. Soit  $m$  ce poids ;
- Placer les ballons dans l'appareil de Soxhlet (sur la plaque chauffante) et déposer les cartouches dans les matras ;
- Ajouter 160 ml de l'éther-di éthylique dans chaque matras jusqu'à ce qu'il se déverse dans le ballon, fermer les matras ;
- Allumer l'appareil et garder le même rythme pendant 05 h, afin de dissoudre tous les lipides présents dans chaque échantillon ;

- Eteindre l'appareil et laisser refroidir les ballons ;
- Concentrer les échantillons de lipides contenus dans les ballons dans un rota-vapeur à 40 °C et à une vitesse de rotation de 6 à 7 tours/min, pour récupérer le solvant ;
- Sécher les ballons dans l'étuve à 37 °C puis les refroidir dans un dessiccateur ;
- Peser le ballon rempli, soit P ce poids (TP ALIMENTATION DES ESPECES AQUACOLE AISSO).

- **Mode de calcul**

$$\text{Teneur en lipide (\%)} = \frac{M}{m} \times 100$$

**Équation II.4:** Teneur en lipides totaux.

- M: poids des lipides (P-P0 dont P : poids du ballon après concentration ; P0 : poids du ballon vide) en (g) ;
- m: poids de l'échantillon (poisson entier) ;

### II.3- Extraction des huiles de poissons

L'extraction de l'huile de poisson est basée sur l'isolation de la fraction lipidique du poisson entier (chair et co-produits). Plusieurs méthodes d'extraction des huiles de poisson existent ; la distillation sous vide, le pressage hydraulique, l'extraction par enzymes et l'extraction au solvant, et chacune a ses avantages et ses limites, le choix d'une méthode dépend du coût, de la sécurité du personnel, du taux de fiabilité, des variations de conception et de la taille de l'opération (BAKO et *al.*, 2017).

Dans le présent travail, l'extraction thermique suivie par une extraction aux solvants ont été effectuées.

#### II.3.1- Extraction thermique

##### II.3.1.1- Broyage

C'est la destruction mécanique des différents tissus des individus pour aboutir à une forme pâteuse du poisson qui est plus facile à manipuler (Figure II.3).

- **Mode opératoire**

- Laver les différents individus ;
- Couper avec un ciseau le poisson entier en petits morceaux ;
- Broyer le poisson à l'aide d'un mixeur, espèce par espèce ;

-La pâte de poisson est conservée à froid (4°C) ;

### II.3.1.2- Cuisson

Cette étape est réalisée à l'autoclave sous pression de vapeur, à une température de 90 °C. Le but est de faire coaguler les protéines du poisson en une masse compacte et provoquer l'éclatement des cellules qui libèrent l'huile et l'eau liée (BAKO *et al.*, 2017).

#### - Mode opératoire

Les échantillons sont mis dans des flacons à couvercles et ensuite dans l'autoclave à une température de 90 °C pendant 45 minutes (Figure II.3).

### II.3.1.3- Pressage

C'est la séparation mécanique des différents composants du poisson, cette étape permet de récupérer deux phases ;

⇒ **Phase liquide:** le jus de presse, composé d'huile, de matières dissoutes et de particules en suspension.

⇒ **Phase pâteuse; Fish cake ; gâteau de presse ;**

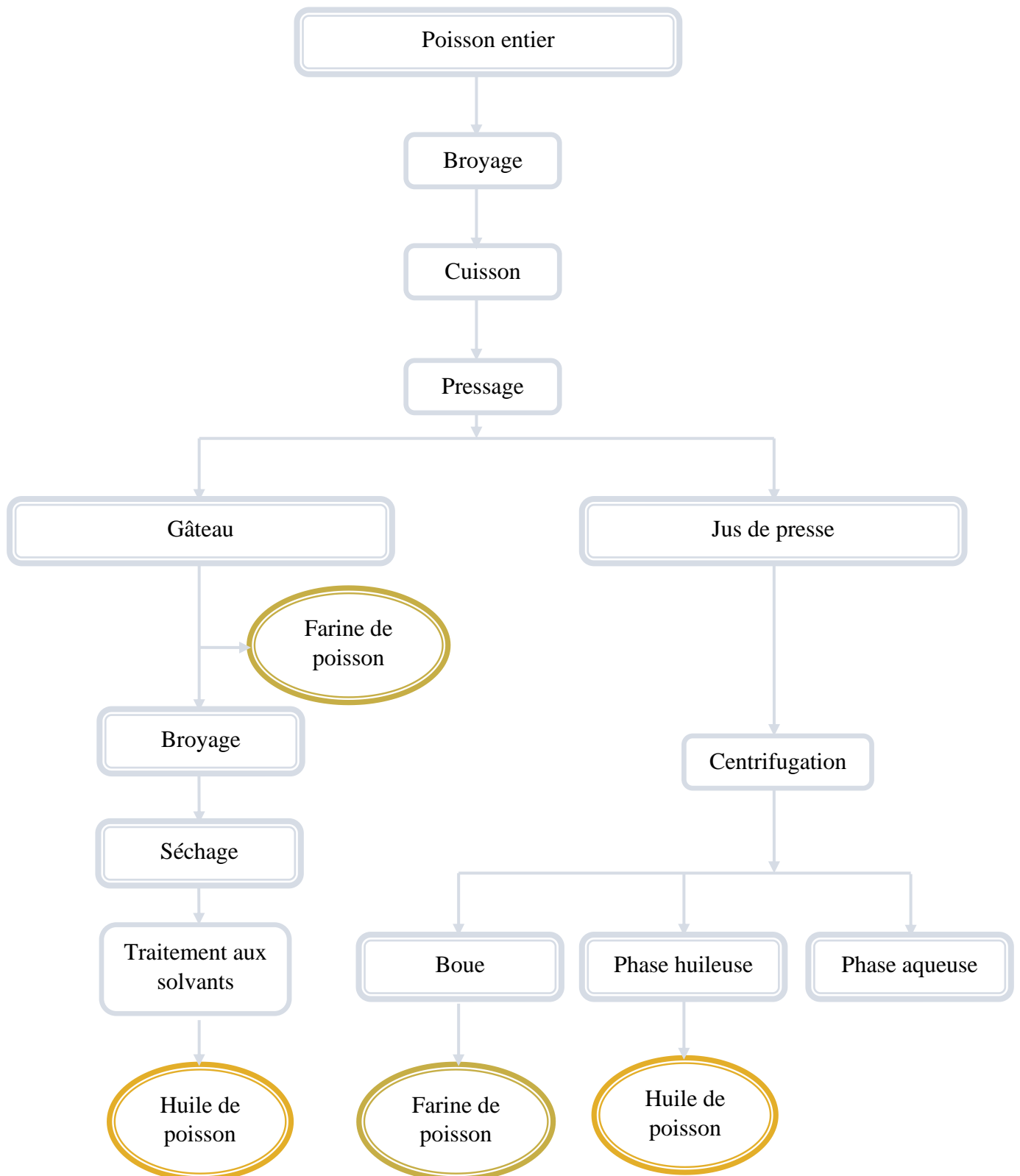
On procède à l'opération de pressage toute en gardant une haute température, qui facilite l'extraction de l'huile moins visqueuse (Figure II.3).

### II.3.1.4- Centrifugation

La centrifugation est l'une des techniques de base largement appliquées en biochimie, en biologie cellulaire et moléculaire, en pharmacie et en médecine. Une centrifugeuse utilise la force centrifuge (force de gravité) pour isoler les particules en suspension de leurs milieux environnants sur une base discontinue ou à flux continu (MAJEKODUNMI, 2015).

#### - Mode opératoire

Le produit de presse subit une décantation dans une centrifugeuse à 10 000 tours/min pendant 15 min à +4 °C pour séparer la phase liquide (surnageant huile-eau) et de culot (boues et débris cellulaire). La centrifugation est réalisée plusieurs fois pour récupérer une quantité maximale d'huile (Figure II.3).



**Figure II.3:** Diagramme général d'extraction de l'huile et de la farine de poisson.

### II.3.2- Extraction par solvant

La méthode utilisée, c'est celle de Soxhlet (voir chapitre II: détermination du taux de lipides), la seule différence, c'est la masse déposée dans les cartouches (15 g d'échantillon lyophilisé et finement broyé pour chaque espèce).

## II.4- Technique d'analyse chromatographique

### II.4.1- Analyse par CCM des huiles de poisson

La séparation et l'identification des substances naturelles fait appel à de nombreuses techniques chromatographiques, caractérisées par une phase mobile liquide et une phase stationnaire solide. La chromatographie sur couche mince est la technique la moins coûteuse et la plus facile à manipuler.

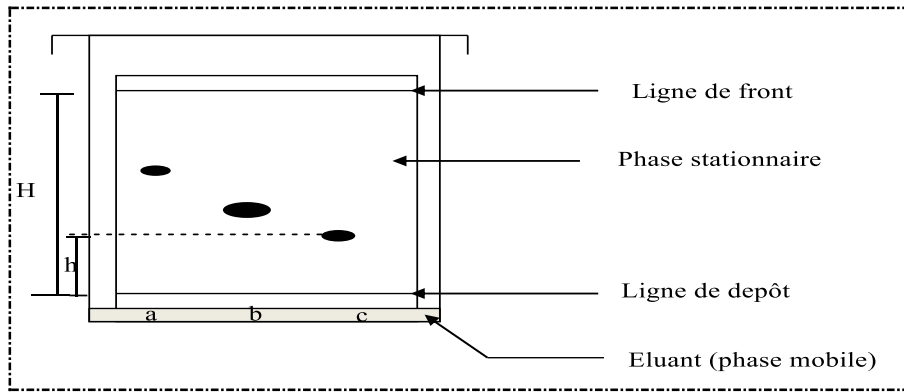
#### - Principe

C'est une chromatographie d'adsorption où l'on observe la séparation des constituants de l'extrait brut par la phase mobile qui les entraîne le long de la phase stationnaire à des vitesses de migration différentes selon l'affinité de chaque constituant pour les deux phases (STAHL, 1969 ; MESNIL, 2004).

#### - Mode opératoire

- ↗ Pour la CCM réalisée ; la phase stationnaire est constituée de silice ; il s'agit d'une plaque de silice très fine de dimension de 20 \* 20 cm, activée dans l'étuve à 105 °C pendant une heure, dont l'objectif est de déshydrater la silice en captant les molécules d'eau.
- ↗ La phase mobile est constituée de l'éther de pétrole et l'éther di-éthylique par des proportions de (60:40) avec 1 ml de l'acide acétique.
- ↗ Les témoins utilisés sont ; 0.065 g de l'oméga 3 commercialisée dilué dans l'éther di-éthylique.
- ↗ Le dépôt du témoin est réalisé sur la ligne située à 1cm de l'extrémité de la plaque de silice.
- ↗ Les échantillons sont déposés en laissant 2 cm entre deux dépôts successifs.

La plaque de silice est ensuite plongée dans la phase mobile en gardant les dépôts vers le bas avec l'observation de la migration des différents constituants.



**Figure II.4:** Schéma général de la technique de CCM.

Après la migration des constituants et le traçage de la ligne de front, la plaque est laissée sécher sous la hotte pour la mettre dans une deuxième cuve saturée par la vapeur d'iode, ce qui permet la révélation. Une deuxième révélation se fait par une solution de 5 % d'acide phosphomolibdique dilué dans l'alcool (TP ALIMENTATION DES ESPECES AQUACOLE AISSO).

#### - Mode de calcul

$$\text{le rapport frontal} = \frac{h}{H}$$

**Équation II.5:** Calcul de rapport frontal.

- h: la hauteur ou distance parcourue par l'espèce chimique ;
- H: la hauteur ou distance parcourue par l'éluant ;

### II.4.2- Analyse par CPG/SM des huiles de poisson

#### - Principe

La CPG est une méthode de séparation sur colonne de substances volatiles (ou rendues volatiles) véhiculées par un gaz inerte appelé gaz vecteur. La nature de la colonne conditionne le type de chromatographie (partage ou adsorption). Le choix de la colonne sera fonction des propriétés physico-chimiques des composés à séparer. Un chromatographe en phase gazeuse est constitué d'un injecteur, d'un four (dont la température est programmable) contenant la colonne et d'un détecteur (HUMBERT et LHERMITTE, 2005).

L'utilisation d'un spectromètre de masse comme détecteur en chromatographie en phase gazeuse a été développé par GOHLKE (1959).

L'identification des composés de l'huile de poisson était basée sur leurs temps de rétention par rapport aux pics spectraux correspondants disponibles avec les banques de spectres de masse NIST et Wiley. Cette identification a été faite au niveau du Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico Chimiques (Alger).

### **Conditions opératoires**

#### **Injecteur :**

Température : 250°C.

Mode d'injection : Splitless.

Volume injecté : 1µl.

#### **Colonne :**

Type : HP-5MS.

Dimensions : long 30 m \* D int 0.25 mm \* épaisseur film 0.25 µm.

Phase stationnaire : 5 % Phenyl 95 % dimethylpolysiloxane. (Autre : Spécifier).

**Température du four** : 70 °C pendant 5 min, 10 °C/min jusqu'à 130 °C., isotherme pendant 2 min., 3 °C/min jusqu'à 220 °C, isotherme pendant 4 min, 10 °C/min jusqu'à 280 °C., isotherme pendant 7 min.

Durée d'analyse : 60 min.

Gaz vecteur : Hélium pureté : N6 ; Débit GV : 1 ml/min.

#### **Détecteur de masse :**

Mode d'analyse : Scan TIC (de 30 à 550).

Délai du solvant : 3.5 min.

Température de l'interface : 270 °C.

Type d'ionisation : Impact électronique.

Intensité du filament : 70 év.

Type de l'analyseur de masse : Quadripôles.

Température de la source : 230 °C.

#### **Equipement :**

Chromatographe : Hewlett Packard Agilent 6890 plus.

Spectromètre de masse : Hewlett Packard Agilent 5973.

## II.5- Protocole des activités biologiques

### II.5.1- Activités anti-oxydantes

#### II.5.1.1- Activité antiradicalaire au DPPH<sup>•</sup>

##### - Principe

L'activité antiradicalaire au DPPH<sup>•</sup> est déterminée spectrophotométriquement par la méthode décrite par BLOIS (1958).

##### - Mode opératoire

Sachant que toutes les opérations sont réalisées en triplicate, Un volume de 160 µl de la solution de DPPH est mélangé avec 40 µl des solutions d'extraits à différentes concentrations (annexe II) sur une microplaque à 96 puits. Après 30 minutes d'incubation à l'obscurité et à température ambiante, les absorbances sont mesurées à 517 nm contre le blanc correspondant à l'aide d'un lecteur de marque PerkinElmer (USA).

⇒ Le taux d'inhibition du radical libre de DPPH en pourcentage (%) est calculé de la manière suivante:

$$\text{Inhibition (\%)} = \left[ \frac{A_{\text{contrôle}} - A_{\text{extrait}}}{A_{\text{contrôle}}} \right] \times 100$$

**Équation II.6:** Pourcentage d'inhibition du radical libre de DPPH.

#### II.5.1.2- Activité du piégeage du cation radical ABTS<sup>•+</sup>

##### - Principe

L'activité ABTS est déterminée par la méthode de RE *et al.* (1999).

##### - Mode opératoire

Un volume de 40 µl des solutions d'extraits à différentes concentrations est mélangé avec 160 µl d'ABTS<sup>•+</sup> (Annexe II) sur une microplaque à 96 puits. Après 10 minutes d'incubation, les absorbances sont mesurées à 734 nm contre le blanc correspondant à l'aide d'un lecteur de marque PerkinElmer (USA) avec son logiciel EnSpire.

↗ L'évaluation de l'inhibition d'ABTS en pourcentage (%) est calculée de la manière suivante:

$$\text{Inhibition (\%)} = \left[ \frac{A_{\text{contrôle}} - A_{\text{extrait}}}{A_{\text{contrôle}}} \right] \times 100$$

**Équation II.7:** Pourcentage d'inhibition d'ABTS.

### II.5.1.3- Activité de réduction du complexe cuivre-néocuproïne (CUPRAC)

#### - Principe

La capacité de réduction du complexe cuivre-néocuproïne (CUPRAC) a été déterminée selon la méthode d'APAK *et al.* (2004).

#### - Mode opératoire

Un volume de 60 µl d'acétate d'ammonium est mélangé avec 50 µl de chlorure de cuivre (Annexe II), 50 µl de néocuproïne (Annexe II) et 40 µl des solutions d'extraits à différentes concentrations sur une microplaque à 96 puits. Après une heure d'incubation, les absorbances sont mesurées à 450 nm contre le blanc correspondant à l'aide d'un lecteur de marque PerkinElmer (USA) avec son logiciel EnSpire.

↗ Les résultats ont été calculés à titre de  $A_{0,50}$  (µg/ml) correspondant à la concentration indiquant 0,50 d'absorbance.

### II.5.1.4- Activité du pouvoir réducteur (FRAP)

#### - Principe

Le pouvoir réducteur des extraits est déterminé par la méthode d'OYAIZU (1986) avec une légère modification.

#### - Mode opératoire

Un volume de 10 µl des solutions d'extraits à différentes concentrations est mélangé avec 40 µl d'une solution tampon phosphate (pH 6,6) (Annexe II) et 50 µl d'une solution de ferricyanure de potassium (1 %) (Annexe II) sur une microplaque à 96 puits. Après 20 min d'incubation à 50 °C, l'ajout de 50 µl d'acide tri-chloroacétique (10 %) (Annexe II) et un volume de 40 µl d'eau distillée et 10 µl d'une solution de chlorure de fer (0,1 %) (Annexe II) successivement.

Les absorbances sont mesurées à 700 nm contre le blanc correspondant à l'aide d'un lecteur de marque PerkinElmer (USA) avec son logiciel EnSpire.

↗ Les résultats ont été calculés à titre de  $A_{0,50}$  ( $\mu\text{g/ml}$ ) correspondant à la concentration indiquant 0,50 d'absorbance.

#### **II.5.1.5- Activité de réduction par la formation du complexe $\text{Fe}^{+2}$ - phénantroline**

##### **- Principe**

L'activité de phénantroline est déterminée par la méthode de SZYDŁOWSKA-CZERNIAK *et al.* (2008).

##### **- Mode opératoire**

Un volume de 10  $\mu\text{l}$  des extraits à différentes concentrations est mélangé avec 50  $\mu\text{l}$  de chlorure de fer anhydre (0,2 %) (Annexe II), 30  $\mu\text{l}$  de phénantroline (0,5 %) (Annexe II) et 110  $\mu\text{l}$  de méthanol ; sont ajoutés successivement. Après 20 min d'incubation à 30 °C, les absorbances sont mesurées à 510 nm contre le blanc correspondant à l'aide d'un lecteur de marque PerkinElmer (USA) avec son logiciel EnSpire.

↗ Les résultats ont été calculés à titre de  $A_{0,50}$  ( $\mu\text{g/ml}$ ) correspondant à la concentration indiquant 0,50 d'absorbance.

#### **II.5.1.6- Composé de nanoparticules d'argent (AgNP)**

##### **- Principe**

L'activité Métal chélate est déterminée selon la méthode de ÖZYÜREK (2012).

##### **- Mode opératoire**

Un volume de 20  $\mu\text{l}$  des extraits à différentes concentrations est mélangé avec 130  $\mu\text{l}$  de la solution qui contient l' $\text{Ag}^+$  (annexe II) et 50 d' $\text{H}_2\text{O}$ . Après 30 min d'incubation à 25 °C, les absorbances sont mesurées à 423 nm contre le blanc correspondant à l'aide d'un lecteur de marque PerkinElmer (USA) avec son logiciel EnSpire.

↗ Le pourcentage de réduction de l' $\text{Ag}^+$  en nanoparticules d'argent sphériques  $\text{Ag}^0$  a été évalué par l'équation suivante:

$$\text{Réduction de l'argent (\%)} = \left[ \frac{A_{\text{contrôle}} - A_{\text{extrait}}}{A_{\text{contrôle}}} \right] \times 100$$

**Équation II.8:** Pourcentage de chélation des ions métalliques.

## II.5.2- Activités enzymatiques

### II.5.2.1- Activité antidiabétique

L'activité antidiabétique de l'extrait de l'huile de poisson de l'espèce *Sardinella aurita* provenant de la région d'Alger a été testée selon la méthode d'inhibition de l'enzyme alpha-amylase.

#### - Principe

L'activité inhibitrice de l'alpha-amylase a été déterminée par la méthode de ZENGIN *et al.* (2014).

#### - Mode opératoire

Sur une microplaque de 96 puits, un volume de 25 µl des extraits à différentes concentrations est mélangé avec 50 µl d'une solution d'α-amylase (1 U) (Annexe III), puis incubé pendant 10 min à 37 °C. Ensuite, 50 µl d'amidon (0,1 %) (Annexe III) sont additionnés. Le mélange est incubé une autre fois pendant 10 minutes à 37 °C. Après incubation, 25 µl d'acide chlorhydrique (1M) (Annexe III) et 100 µl d'iodure de potassium iode (Annexe III) sont ajoutés.

Les absorbances sont mesurées à 630 nm à l'aide d'un lecteur de marque PerkinElmer (USA) avec son logiciel EnSpire.

↗ Le pourcentage d'inhibition de l'α-amylase a été calculé par la formule suivante:

$$\text{Inhibition (\%)} = 1 - \left[ \frac{(A_c - A_e) - (A_s - A_b)}{(A_c - A_e)} \right]$$

**Équation II.9:** Pourcentage d'inhibition de l'α-amylase.

- $A_c$ =Absorbance [Amidon+IKI+HCl+Vol de solvant d'extrait+Vol tampon Enzyme] ;
- $A_e$ =Absorbance [Enzyme+Amidon+IKI+HCL+Vol de solvant d'extrait] ;
- $A_s$ =Absorbance [Enzyme+Extrait+Amidon+IKI+HCl] ;
- $A_b$ =Absorbance [Extrait+IKI+125 µl de tampon]

# **CHAPITRE III. RÉSULTATS ET DISCUSSION**

Les sous-produits et les produits issus des activités de la pêche accessoire marine et continentale ont fait l'objet d'une valorisation pour la production des huiles et des farines de poissons. Il s'agit de trois petits pélagiques largement consommés et disponibles sur le marché algérien, à savoir, *Sardinella aurita*, *Engraulis encrasicolus* et *Trachurus mediterraneus*, et une espèce issue de l'aquaculture continentale *Aristichthys nobilis*. Elles se commercialisent sous les appellations de l'allache, l'anchois, la saurel et la carpe. Ces espèces ont été identifiées conformément aux critères morphologiques décrits dans la littérature (FISH BASE, 2010 ; FAO, 2020).








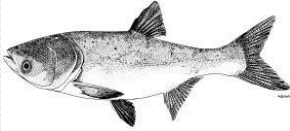
La caractérisation de la composition biochimique globale de la matière première est une étape cruciale avant toute étape de valorisation ou de transformation. C'est pourquoi, nous avons dans un premier temps déterminé le taux de protéines, de lipides et de minéraux des espèces citées ci-dessous. L'extraction des huiles et des extraits secs (farine de poisson) à partir de ces échantillons a été réalisée par deux méthodes (cuisson à la vapeur et par Soxhlet en utilisant des solvants). Les huiles extraites ont fait l'objet d'une analyse qualitative et quantitative d'une étude des propriétés pharmacologiques (activité anti-oxydante et antidiabétique). L'essentiel des résultats obtenus sont étayés ci-après.

Néanmoins, il convient de signaler que suite au confinement causé par la pandémie du Covid-19, les extraits secs (hydrolysats de protéines) n'ont pas été testés pour leurs propriétés pharmacologiques et l'activité antidiabétique a été évaluée uniquement pour l'huile issue de *S.aurita*.

### **III.1- Identification des espèces**

L'identification des espèces a été réalisée en suivant les critères morphologiques consignés dans le tableau III.1 ci-dessous.

Tableau III.1 : Critères d'identification des espèces (FISH BASE, 2010 ; FAO, 2020).

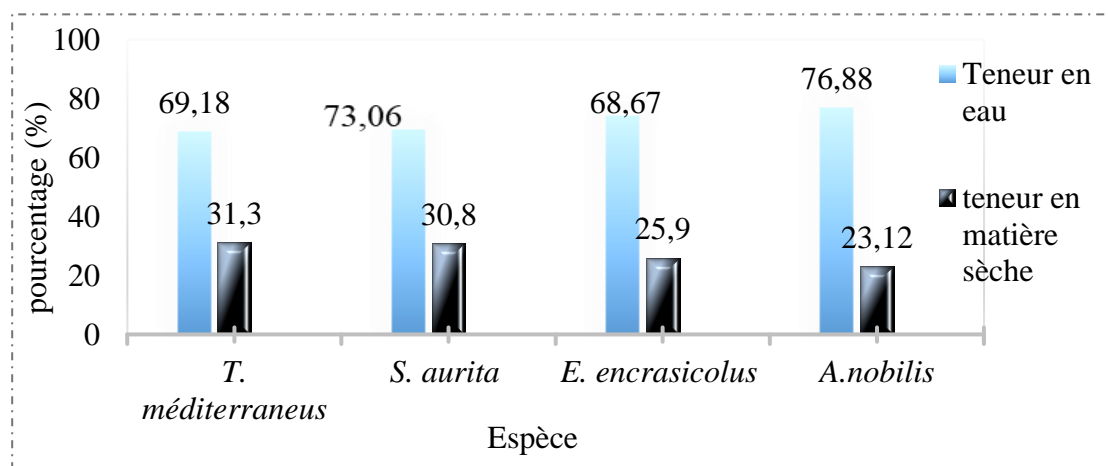
Espèces	FAO	Les critères d'identification
	 <i>Sardinella aurita</i>	<p>-Flanc argenté, avec une ligne médio-latérale dorée pâle, précédée d'une tache dorée derrière l'ouverture des branchiers et une tache noire distincte au bord postérieur de la couverture branchiale.</p>
	 <i>Trachurus mediterraneus</i>	<p>-Une ligne latérale accessoire dorsale se terminant sous la huitième colonne vertébrale jusqu'au rayon dorsal doux 3.</p>
	 <i>Engraulis encrasicolus</i>	<p>-Un corps mince, allongé.          -Museau pointu ; maxillaire court.          -Extrémité émoussée, atteignant presque le bord avant du préopercule, ne dépassant pas de l'extrémité du deuxième supra-maxillaire.          -Extrémité de la mâchoire inférieure atteignant au-dessous de la narine.</p>
	 <i>Aristichthys nobilis</i>	<p>-Épines dorsales : 3 rayons mous dorsaux, 7 épines anales, 1-3 rayons mous anaux.          -Corps avec de nombreuses petites taches noires éparses,          -Barbillons absents, bord postérieur du dernier rayon dorsal simple non dentelé et des rayons anaux ramifiés.          -Coloration foncée générale, flanc avec de grandes taches foncées, forme très irrégulière, bases des nageoires et parties inférieures de la tête et ventre jaunâtre.</p>

### III.2- Caractérisation de la composition chimique globale des poissons entiers

#### III.2.1- Teneur en eau

La composition chimique de la chair du poisson influence aussi bien ses caractéristiques technologiques que sa conservation étant donné qu'elle varie beaucoup, selon l'espèce, le poids, la maturation sexuelle, la nutrition, la période de pêche, etc. La distribution des composés biochimiques, dans les différents organes et les tissus du corps, pourrait aussi montrer une différence considérable pour un même individu (WEATHERLEY *et al.*, 1987 ; BORAN *et al.*, 2008 ; ROSA *et al.*, 2010; KETATA KHITOUNI *et al.*, 2011).

Etant donné que l'eau est la principale composante de la chair du poisson, la teneur en eau s'établit en soumettant un échantillon représentatif au séchage dans une étuve et en déterminant la différence de poids. Le taux d'humidité ainsi que la teneur en matières sèches des espèces étudiées sont illustrés ci-dessous (Figure III.1).



**Figure III.1** : Teneurs en eau et en matière sèche chez les quatre espèces exprimées en (%).

On constate que l'allache est l'espèce la plus hydratée parmi les petits pélagiques avec une teneur moyenne de 73,06 % du poids total, suivie par la saurel avec une teneur en eau de 69,18 % et l'anchois (68,67 %). Quant à la carpe chinoise, la teneur en eau de l'échantillon analysé est de 76,88 %. Les taux d'humidités enregistrés dans le cadre de cette étude, aussi bien pour les espèces marines que continentales, corroborent avec ce qui est décrit dans la littérature.

En effet, BORAN *et al.* (2008) ont montré que le filet de l'espèce *Engraulis encrasicolus* contient un pourcentage en eau qui varie de 73,9 % en octobre à 71,8 % en mars.

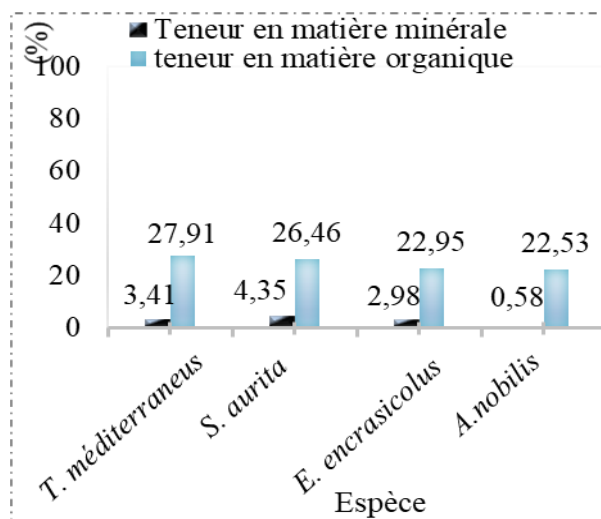
KACEM *et al.* (2011) ont montré que la teneur en eau au niveau des viscères de *Sardinella aurita* varie durant l'année de 49,06 % en novembre à 78,15 % en mai. Cependant, selon BARRERO et BELLO (2000), cette espèce contient un pourcentage moyen en eau de 74,32 % .

Pour la Saurel (*Trachurus mediterraneus*), KETATA KHITOUNI *et al.* (2011) ont trouvé que le taux d'humidité chez cette espèce éviscérée diffère selon le sexe (male (70,47 %) et femelle (74,87 %)).

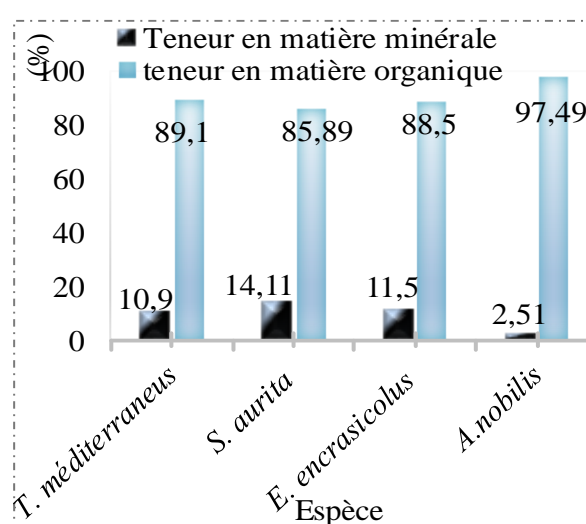
NAEEM et SALAM (2010), travaillant sur *A. nobilis* en Asie, ont cherché la corrélation entre le poids, la taille et la composition chimique globale de sa chair. Ils ont noté que le pourcentage des lipides et protéines croît avec l'augmentation du poids et de la longueur alors que les cendres et les eaux sont inversement proportionnelles (corrélation négative). Le taux d'humidité oscillait entre 73,86 et 84,54 %.

### III.2.2-Détermination du taux de matière minérale et organique

Après incinération complète de la matière sèche dans un four à moufle, les teneurs en matière minérale et organique chez les espèces *Sardinella aurita*, *Engraulis encrasicolus*, *Trachurus mediterraneus* et *Aristichthys nobilis* sont déterminées et illustrées dans les figures (III.2 et III.3) ci-dessous



**Figure III.2 :** Diagramme représentant la teneur en matière minérale et organique chez les quatre espèces par rapport au poisson hydraté exprimée en (%).



**Figure III.3 :** Diagramme représentant la teneur en matière minérale et organique chez les quatre espèces par rapport à la matière sèche exprimée en (%).

D'après ces résultats, on remarque que l'espèce *Sardinella aurita* contient le taux le plus élevé en matière minérale (4,35 %) suivie par les espèces *Trachurus mediterraneus*, *Engraulis encrasicolus* et *Aristichthys nobilis* (respectivement, 3,41 %, 2,98 % et 0,58 %).

Pour la matière organique, *Trachurus mediterraneus* est l'espèce la plus riche avec une teneur d'environ 27,91 %, suivi par l'espèce *Sardinella aurita*, l'espèce *Engraulis encrasicolus* et l'espèce *Aristichthys nobilis* (26,46 %, 22,95 % et 22,53 %) respectivement.

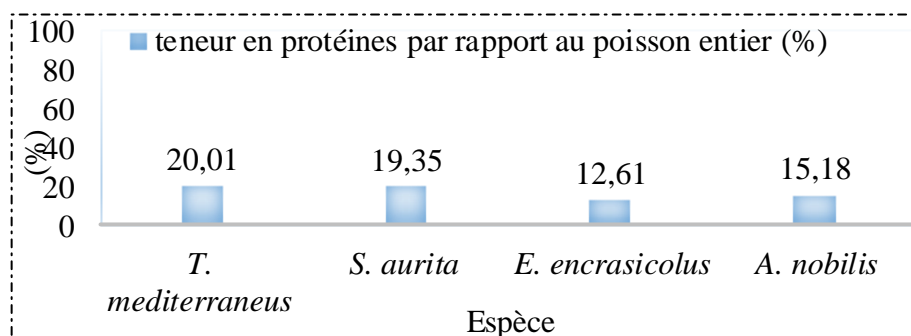
Selon FAHY *et al.* (2011) et REARDON *et al.* (2018), les variations de la teneur en matière organique sont relatives aux variations des teneurs en protéines et en lipides totaux et d'autres molécules non définies.

Selon BARRERO et BELLO (2000), la teneur corporelle en matière minérale chez l'espèce *Sardinella aurita* désossée et dépourvue de viscères est 1,27 %, et KACEM *et al.* (2011) ont enregistré un maximum de cendre dans les viscères (2,78 %), ce qui représente environ la moitié du taux relevé dans la présente étude. Il en est de même pour la saurel et l'anchois. BORAN *et al.* (2008) ont enregistré 2 % de cendres dans le filet d'*Engraulis encrasicolus*, et pour la carpe, NAEEM et SALAM (2010) ont trouvé une teneur qui est entre 2,65 % et 5,52 %

La différence de la teneur en cendre s'explique par ses variations durant l'année (selon la saison, la température et la zone de pêche). En outre, ces variations peuvent être importantes quand l'analyse concerne le poisson entier (BARRERO et BELLO, 2000 ; MALDE *et al.*, 2010; KACEM *et al.*, 2011).

### III.2.3- Détermination du taux des protéines

La teneur en protéines totales chez les espèces *Sardinella aurita*, *Engraulis encrasicolus*, *Trachurus mediterraneus* et *Aristichthys nobilis*.



**Figure III.4 :** Diagramme représentant la teneur en protéines totales chez les quatre espèces exprimée en (%).

L'analyse des résultats montre que les espèces *Sardinella aurita* et *Trachurus mediterraneus* contiennent des taux assez élevés en protéines (19,35 % et 20,01 % respectivement) par rapport aux espèces *Aristichthys nobilis* (15,18 %) et *Engraulis encrasicolus* (12,61 %).

Ces résultats concordent avec ceux rapportés par REKSTEN *et al.* (2020), KETATA KHITOUNI *et al.* (2011) et NAEEM et SALAM (2010), pour les mêmes espèces à savoir 21 % pour *Sardinella aurita*, 24 % pour *Trachurus mediterraneus* et entre 9,43 % et 16,54 % pour *Aristichthys nobilis*. Néanmoins, ŠIMAT (2012) et TURAL et TURHAN (2017) ont rapportés que les valeurs en protéines enregistrées chez *Engraulis encrasicolus* étaient différentes selon les tissus et l'organe. En effet, elles étaient de l'ordre de 21,34 % dans le filet et de 12,58 % dans les coproduits (la tête et les viscères).

La teneur en protéines d'une espèce dépend de nombreux paramètres biologiques et environnementaux (sexe, âge, maturité sexuelle, conditions nutritives, etc). Les poissons peuvent présenter une large gamme de variations entre 10 % et 30 % en poids humide (LOZANO et HARDISSON, 2003). Cette teneur chez la même espèce varie également selon le type de muscles (rouge ou blanc) (KETATA KHITOUNI *et al.*, 2011).

#### III.2.4-Détermination du taux des lipides

Les teneurs en lipides totaux chez les espèces étudiées sont représentées dans la figure ci-dessous (figures III.5).

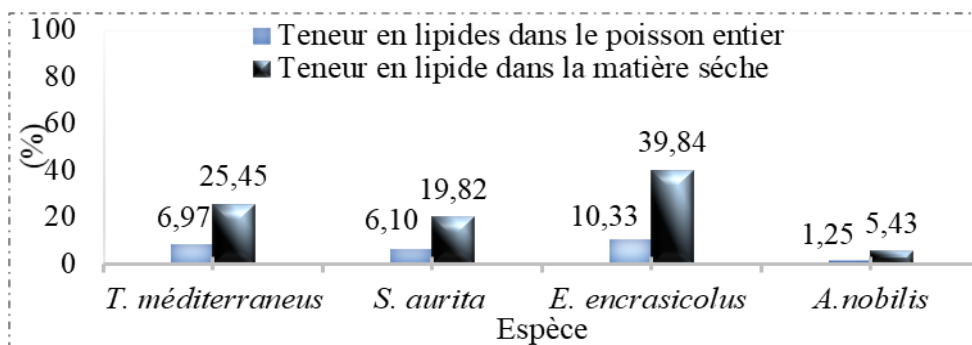


Figure III.5 : Diagramme représentant la teneur en lipides chez les quatre espèces par rapport au poisson entier et à la matière sèche (%).

L’analyse des résultats montre que les espèces *Sardinella aurita* et *Trachurus mediterraneus* contiennent moins de lipides (respectivement, 6,10 % et 6,97 %) que *Engraulis encrasicolus* (10,33 %).

D’après ces résultats, on peut classer ces espèces en catégorie de poissons maigre (la carpe), semi-gras (sardinelles, saurel) à gras (l’anchois). Toutefois il convient de rapeler que cette classification se base sur la teneur en lipides totaux dans la chair du poisson, de ce fait, les teneurs dans le poisson entier peuvent varier considérablement. D’autres facteurs doivent être aussi pris en comptes car ils sont susceptibles de modifier qualitativement et quantitativement les taux de lipides, tels que l’âge, la taille, l’alimentation, la température et la salinité du milieu, la période de maturation sexuelle et les méthodes de dosage (MARCHAL, 1966 ; BOURRE, 2003 ; CAHU *et al.*, 2010 ; KOCATEPE *et al.*, 2011 ; TUFAN *et al.*, 2016 ; CHESALIN *et al.*, 2020).

III.2.5- Comparaison de la composition chimique globale des espèces étudiées

La composition chimique des espèces *Sardinella aurita*, *Trachurus mediterraneus*, *Engraulis encrasicolus* et *Aristichthys nobilis* est illustrée ci-dessous (figure III.6).

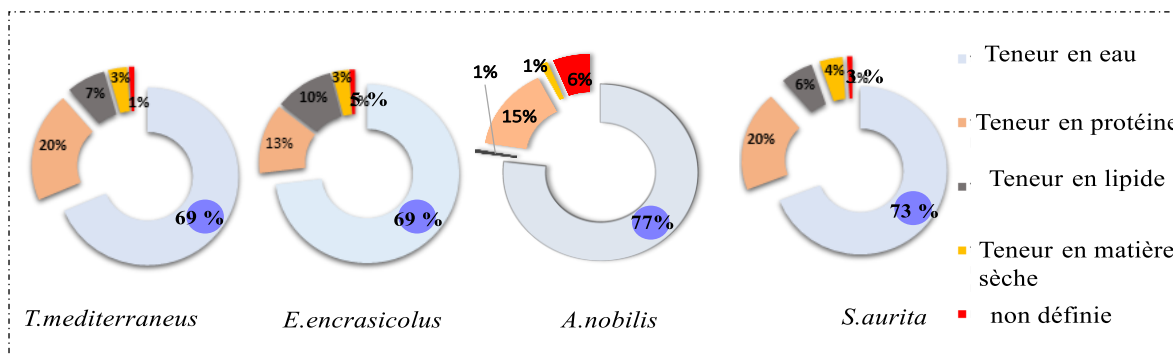


Figure III.6 : Composition chimique globale des quatre espèces (*Sardinella aurita*, *Trachurus mediterraneus*, *Engraulis encrasicolus* et *Aristichthys nobilis*).

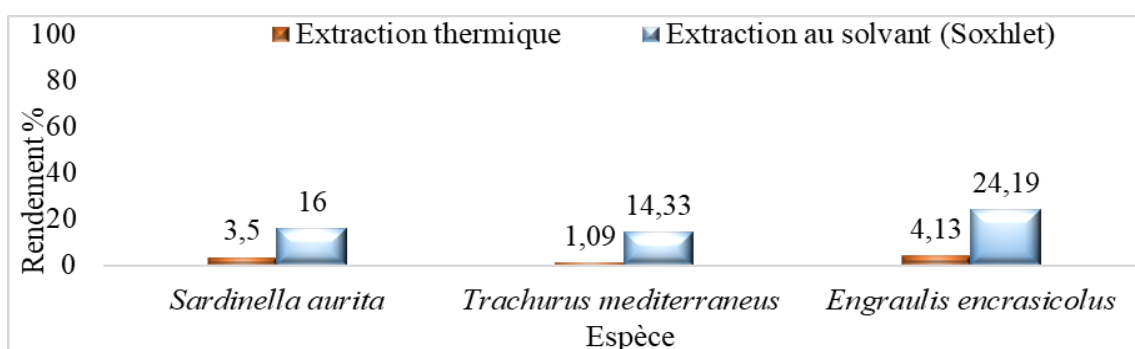
Selon la figure, on remarque que l'eau est le composant majeur du poisson. Néanmoins, les taux enregistrés sont relativement moyens puisqu'il s'agit de poissons maigre, semi-gras à gras.

La teneur en matière sèche chez ces quatre espèces est inversement proportionnelle à la teneur en eau, elle est distribuée en matière minérale et matière organique. Cette dernière est représentée par les lipides et les protéines, et les deux espèces les plus riches en protéines sont *Trachurus mediterraneus* et *Sardinella aurita* (environ 20 % chacune), suivis par l'espèce *Engraulis encrasicolus* et l'espèce *Aristichthys nobilis* (environ 13 % et 15 % respectivement) mais l'espèce *Engraulis encrasicolus* est plus riche en lipides (environ 10 %).

On peut constater aussi de petits pourcentages de matières non définies chez les quatre espèces, selon SELLAMI *et al.* (2014), le poisson peut contenir un pourcentage en polyphénols et caroténoïdes et plusieurs chercheurs ont montré que l'estomac des petits pélagiques et de poisson en général contient de la matière organique vivante (phytoplancton et zooplancton).

### III.3- Rendement d'extraction des huiles de poisson

L'extraction des huiles à partir des trois espèces marines (*Sardinella aurita*, *Trachurus mediterraneus*, *Engraulis encrasicolus*) a été réalisée en utilisant deux méthodes (l'extraction thermique et au solvant (Soxhlet)). Les rendements moyens obtenus, sont représentés dans la figure III.7.



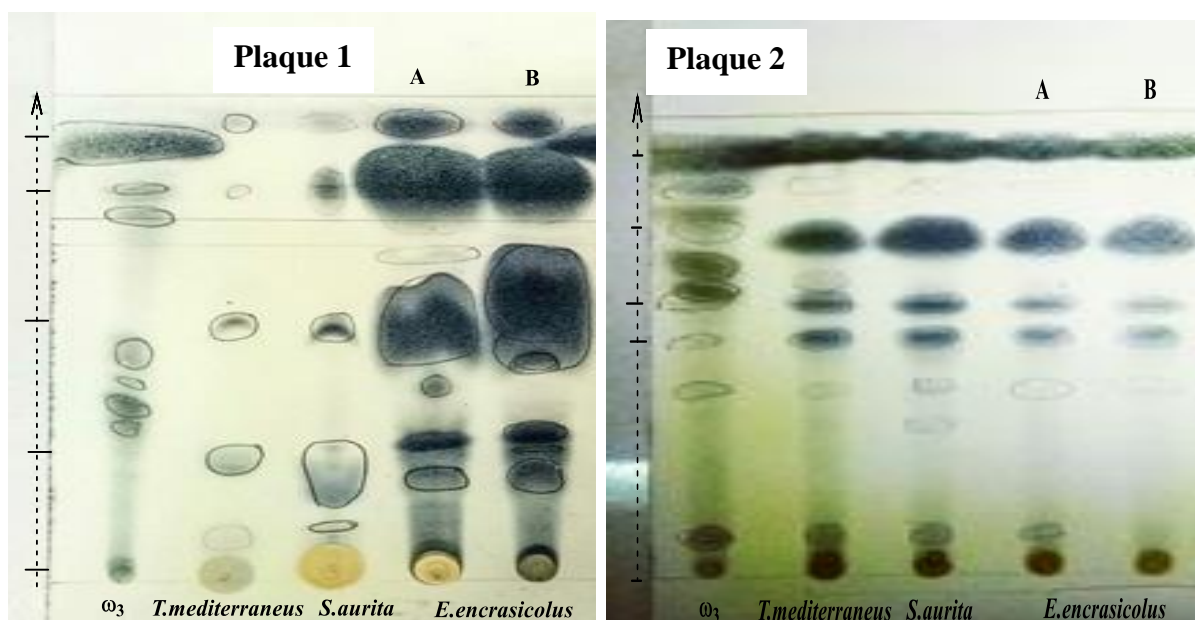
**Figure III.7 :** Rendement d'extraction des huiles de poisson des trois espèces marines.

Bien que ces petits pélagiques aient été pêchés dans la même zone durant la même période, Les rendements d'extraction sont plus ou moins variables, ils sont proportionnels aux teneurs en lipide. Pour la méthode de Soxhlet, Ils sont de l'ordre de 16 %, 14,33 %, et 24,19 %, et pour la méthode d'extraction thermique, ils sont de 3,5 %, 1,09 %, et 4,13 %, pour

respectivement *Sardinella aurita*, *Trachurus mediterraneus* et *Engraulis encrasicolus*. En outre, il a été constaté que les rendements en huile extraite par la méthode de Soxhlet sont supérieurs à ceux de la méthode thermique. Ces résultats corroborent avec ceux de NDE et FONCHA (2020) qui ont rapporté que l'extraction au solvant était plus efficace et reproductible que la thermique.

#### III.4- Screening des huiles de poissons par CCM

Les huiles de poissons extraites par voies thermique et par Soxhlet sont analysées par CCM (figures III.8). L'analyse qualitative de ces huiles est comparée à une huile commerciale riche en AGPI de la série (n-3) (essentiellement les EPA et les DHA).



**Figure III. 8 :** Chromatographie sur couche mince des huiles de poisson (20 cm × 20 cm × 0,5 mm). Phase stationnaire: gel de silice. Phase mobile: éther de pétrole/éther di-éthylique (60 :40) /acide acétique 1 %. Révélateur: Acide phosphomolybdique et l'iode. **Plaquette 1 :** huiles extraites par traitement thermique. **Plaquette 2 :** huiles extraites par solvants. **De gauche à droite :** AGPI de la série  $\omega_3$  commercial, huile de *T. mediterraneus*, huile de *S. aurita*, A: huile d'*E. encrasicolus* extraite à l'hexane, B : huile d'*E. encrasicolus* extraite à l'éther di éthylique.

Plusieurs composés polaires sont présents dans les huiles de poisson, avec les mêmes  $R_f$  obtenus pour le standard (Oméga-3 (n-3) commercial riche en acide docosahexanoïque DHA (22:6n-3) et en acide écosapentanoïque EPA (20:5n-3) libres ou sous forme de triglycérides) (tableau III.2). Les quatre types d'huiles produites par la méthode Soxhlet (plaquette 2)

présentent un profil presque identique et ceci quelle que soit la source (espèce de poisson). Toutefois, l'huile d'*E. encrasicolus*, produite par voie thermique, semble être plus riche en composés lipidiques avec de plus forte concentration (06 taches beaucoup plus denses (plaque 1) que celles retrouvées pour la même huile extraite au soxhlet (plaque 2)).

D'après FROISSARD et BOULARD (2012), RITTER *et al.* (2013) et INNES et CALDER (2020), ces deux acides gras polyinsaturés sont particulièrement très abondants dans les fruits de mer et dans les poissons marins dits "gras". D'ailleurs, l'EPA et le DHA sont souvent appelés acides gras marins n-3 en raison de leur association avec les produits de la mer. Il est bien établi actuellement leur rôle dans la prévention des maladies cardiovasculaires.

**Tableau III. 2** : les rapports frontaux (Rf) obtenus pour les huiles des espèces étudiées et l'oméga-3 commercial

PLAQUE 1				PLAQUE 2			
Espèce	Tâche	Rf		Espèce	Tâche	Rf	
Témoin (Oméga-3 commercial)	1	0,312		Témoin (Oméga-3 commercial)	1	0,312	
	2	0,354			2	0,354	
	3	0,402			3	0,402	
	4	0,46			4	0,46	
	5	0,75			5	0,75	
	6	0,812			6	0,812	
	7	0,902			7	0,902	
<i>T.mediterraneus</i>	1	0,090		<i>T.mediterraneus</i>	8	0,920	
	2	0,243			1	0,086	
	3	0,520			2	0,388	
	4	0,805			3	0,503	
	5	0,944			4	0,575	
			5		0,625		
			6		0,719		
<i>S. aurita</i>	1	0,11		<i>S. aurita</i>	7	0,935	
	2	0,208			1	0,086	
	3	0,277			2	0,316	
	4	0,513			3	0,402	
	5	0,812			4	0,503	
	6	0,944			5	0,575	
<i>E. encrasicolus</i>	Solvant	Hex	Ether		<i>E. encrasicolus</i>	6	0,719
	1	0,20	0,208	7		0,935	
	2	0,263	0,284	Solvant		Hex	Ether
	3	0,305	0,347	1		0,086	0,395
	4	0,444	0,520	2		0,388	0,503
	5	0,590	0,66	3		0,503	0,568
	6	0,826	0,826	4		0,575	0,719
			5	0,719	0,906		
			6	0,899	0,935		

### III.5-Composition chimique globale des huiles de poisson par CGSM

L'analyse spectrale de l'huile de l'espèce *Aristichthys nobilis* par CPG/SM a permis d'identifier 37 constituants englobant les acides gras saturés et polyinsaturés de la série (n-3) et (n-6). la fraction majoritaire est représentée par l'acide palmitique (18,44 %), l'acide oléique (16,29 %), acide eicosapentaénoïque EPA (9,15 %) et l'acide stéarique (6,96 %) (Tableau III.3).

**Tableau III.3 :** Composition chimique de l'huile de l'espèce *Aristichthys nobilis*.

Pics	Constituant	(%)	TR (min)
1	Acide palmitoléique	5,07%	33.279
2	Acide oléique	16,29%	33.279
3	Acide palmitique	18,44%	34.028
4	Acide pentadécanoïque	4,44%	34.028
5	L'acide stéarique	6,96%	40.183
6	Acide eicosapentaénoïque méthyl ester EPA	9,15%	44.327
7	Acide docosahexaénoïque DHA	5,55%	49.911
Autres...		34,1%	

Les travaux effectués sur la même espèce par MERDZHANOVA et DOBREVA (2011) montrent que l'acide palmitique (14,10 %) est le composé majoritaire parmi les acides saturés et l'acide oléique (10,21 %) parmi les acides mono-insaturés et parmi les acides polyinsaturés c'est l'acide docosahexaénoïque DHA (5,71 %) et l'acide eicosapentaénoïque EPA (2,55 %).

Les teneurs en acides gras saturés et insaturés enregistrées dans présente étude sont supérieures à ceux obtenus par ces auteurs. Cette différence dans la composition chimique peut être expliquée par les facteurs biologiques et environnementaux tels que la température de l'eau, la disponibilité de la nourriture la nourriture, le métabolisme de l'espèce.

L'analyse spectrale de l'huile de l'espèce *sardinella aurita* par CPG/SM a permis d'identifier 31 constituants représentant comme composés majoritaires l'acide oléique (25,36 %), l'acide eicosapentaénoïque EPA (19.77 %), acide docosahexaénoïque DHA (15.91 %) et l'acide palmitique (13.83 %) (Tableau III.4).

**Tableau III.4 :** Composition chimique de l'huile extraite de *Sardinella aurita*.

Pics	Constituants	(%)	TR (min)
1	Acide tétradécanoïque ou acide myristique	6,02 %	27.368
2	Acide palmitoléique, ou acide cis-9-hexadécénoïque	2,68 %	33.352
3	Acide oléique	25,36%	33.352
4	Acide palmitique	13.83%	34.112
5	Acide pentadécylique ou acide pentadécanoïque	4.31%	34.112
6	Acide stéarique	3.40%	40.199
7	Acide eicosapentaénoïque méthyl ester EPA	19.77%	44.486
8	Alpha linoléique méthyl ester ALA	0.42%	44.880
9	Acide docosahexaénoïque méthyl ester DHA	15.91%	49.990
Autres...		8,37 %	

Au regard des résultats obtenus, on constate que l'huile de la sardinelle est très riche en acide gras mono-insaturés et en polyinsaturés qui ont un rôle prépondérant dans la prévention des maladies chroniques telles que le diabète et les maladies cardiovasculaires.

Les travaux effectués sur la sardinelle par NJINKOUÉ (2001), montrant que l'acide palmitique (23,2 %) est le composé majoritaire parmi les acides gras saturés et l'acide oléique (9,5 %) parmi les acides gras monoinsaturés et pour les acides polyinsaturés c'est l'acide l'acide eicosapentaénoïque EPA (10,2 %).

Selon NJINKOUÉ (2001), Les taux en acides gras peuvent varier selon les saisons, les effets du traitement et du stockage des huiles.

### III.6- Propriétés pharmacologiques des huiles extraites

L'activité biologique des huiles issues des espèces *Sardinella aurita*, *Trachurus mediterraneus*, *Engraulis encrasicolus* et *Aristichthys nobilis* a été évaluée *in vitro*. Les propriétés pharmacologiques recherchées sont les activités anti-oxydantes et antidiabétiques.

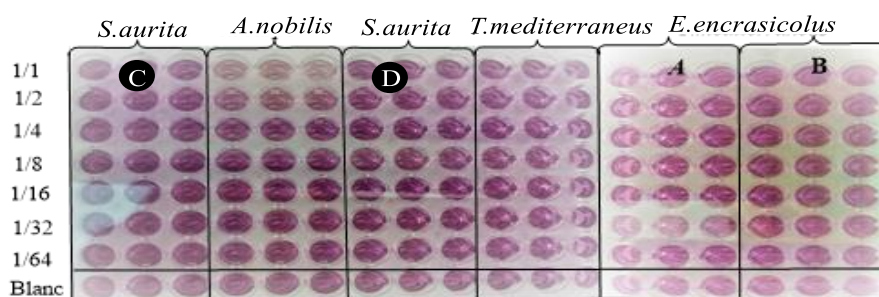
#### III.6.1- Activités anti-oxydantes

Six méthodes (DPPH, ABTS, CUPRAC, FRAP, Phénanthroline et nanoparticules d'argent) ont été utilisées pour déterminer la capacité anti-oxydante des extraits issus des espèces : *Sardinella aurita*, *Trachurus mediterraneus*, *Engraulis encrasicolus* et *Aristichthys nobilis*.

Les antioxydants synthétiques (l'acide ascorbique, BHA, BHT, Trolox et l' $\alpha$ -tocophérol) sont utilisés comme contrôle positif.

##### III.6.1.1- Activité antiradicalaire au DPPH

La capacité de réduction du radical libre instable DPPH<sup>•</sup> en DPPH-H est déterminée par la diminution des absorbances à 517 nm, qui est induite par l'antioxydant. Ceci est visualisé par le changement de couleur du violet au jaune. Dans ce test les résultats ont été comparés aux standards (BHA, BHT). Les résultats sont présentés dans les Figures III.9 et II.10 et le tableau II.5.

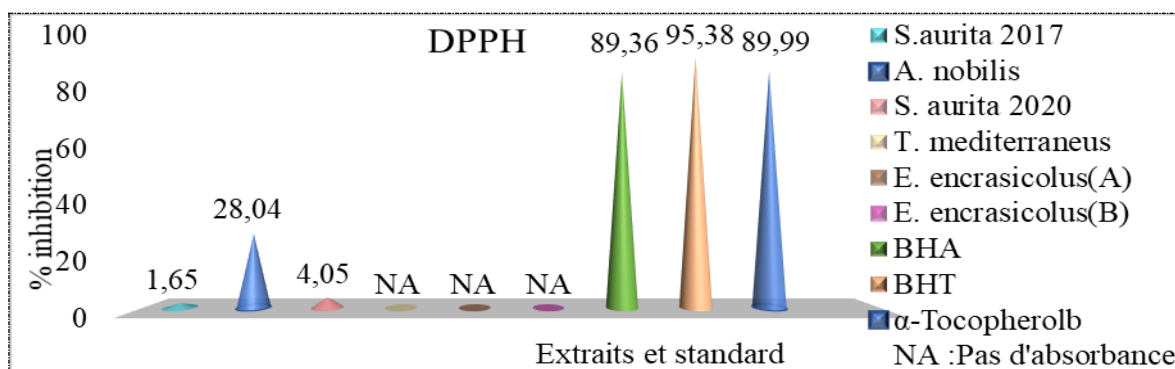


**Figure III.9:** Microplaques des tests des activités antiradicalaires (DPPH) des huiles extraites.

Huile de *S.aurita* 'C' de 2017 et 'D' de 2020. Carpe "*A.nobilis*", *T. mediterraneus*, *E. encrasicolus* 'A' : Extraction par l'hexane. 'B' : Extraction par l'éther di éthylique.

**Tableau III.5:** Pourcentage d'inhibition du radical DPPH<sup>•</sup> par les huiles de poisson.

Concentration Extraits et standards	% inhibition							
	12.5 µg	25 µg	50 µg	100 µg	200 µg	400 µg	800 µg	IC <sub>50</sub> µg/mL
<i>S.aurita</i> (C)	NA	NA	NA	NA	1,44±1,24	1,65±0,36	2,13±0,66	>800
<i>A. nobilis</i>	0,89±0,83	2,54±0,52	2,06±1,25	5,98±0,41	11,13±1,43	28,04±1,69	41,51±1,85	>800
<i>S. aurita</i> (D)	2,41±0,60	2,47±0,62	2,68±2,51	3,37±1,04	5,02±0,63	4,05±2,49	7,56±0,93	>800
<i>T.mediterraneus</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<i>E. encrasicolus</i> (A)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<i>E. encrasicolus</i> (B)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BHA <sup>b</sup>	76,55± 0,48	79,89± 0,26	81,73±0,10	84,18±0,10	87,13±0,17	89,36±0,19	90,14±0,00	6,14±0,41
BHT <sup>b</sup>	49,09± 0,76	72,63± 2,06	88,73±0,89	94,00±0,31	94,97±0,08	95,38±0,41	95,02±0,23	12,99±0,41
α-Tocopherol <sup>b</sup>	37,21±1,82	81,53±1,51	89,23±0,12	89,38±0,19	89,45±0,22	89,99±0,23	89,52±0,33	13,02±5,17

**Figure III.10 :** Pouvoir d'inhibition du radical DPPH<sup>•</sup> (exprimé en %) des huiles de poissons extraites.

Les huiles des espèces *Engraulis encrasicolus* et *Trachurus mediterraneus* ont été inactives pour le piégeage du radical DPPH<sup>•</sup>, ce qui laisse penser que ces huiles contiennent peu ou pas de molécules anti-oxydantes.

De même, les huiles de sardine (extraites en 2017 et 2020) et l'huile de carpe ont manifesté une activité antiradicalaire au DPPH<sup>•</sup> très faible ; dont le pourcentage d'inhibition à 400 µg/ml (1,65±0,36 %, 4,05±2,49 % et 28,04±1,69 % respectivement) est largement inférieure à ceux

des trois standards BHA, BHT, et  $\alpha$ -Tocophérol (qui sont dans l'ordre  $9,36\pm 0,19$  %,  $95,38\pm 0,41$  % et  $89,99\pm 0,23$  %).

À cause de la rareté des documents concernant l'activité anti-radical DPPH<sup>•</sup> des huiles de poisson, la présente étude a été comparée à titre indicatif aux travaux antérieurs relatif à l'activité anti-oxydante des fractions protéiques (extrait sec de poisson) car ces dernières possèdent une activité antiradicalaire au DPPH<sup>•</sup> élevée.

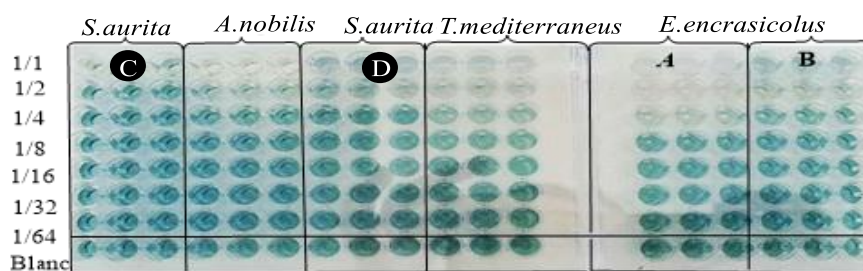
- ↻ En effet, selon BOUGATEF *et al.* (2010) l'hydrolysate protéique brut des sous-produits de la sardinelle (*Sardinella aurita*) possède une activité de piégeage du radical DPPH<sup>•</sup> de l'ordre de  $87 \pm 2,1$  % à 2 mg/ml.
- ↻ Dans une autre étude, GARCIA-MORENO *et al.* (2014) ont montré que les hydrolysats de sardine et de chinchard possèdent l'activité anti-radicalaire au DPPH<sup>•</sup> la plus élevée avec des valeurs IC<sub>50</sub> varient entre 0,91 à 1,78 mg de protéine/ml.
- ↻ WU *et al.* (2015) ont montré que deux peptides, isolés de l'hydrolysate protéique de l'espèce *Sardinella aurita*, manifestaient une forte activité de piégeage du radical DPPH<sup>•</sup> ( $63 \pm 1,57$  % et  $52 \pm 1,44$  % à 150  $\mu$ g/ml).
- ↻ En fin, il est bien établi que la capacité de piégeage du DPPH<sup>•</sup> augmente avec la concentration en antioxydants (LIZARRAGA-VELAZQUEZ *et al.*, 2018).

La faible activité anti-radicalaire au DPPH<sup>•</sup> des huiles de poisson peut s'expliquer par la réaction entre l'antioxydant et le radical libre qui dépend non seulement des facteurs liés à la structure chimique des deux molécules, mais également de leur concentration.

Néanmoins, Cette méthode de piégeage des radicaux DPPH<sup>•</sup> permet une réaction avec presque tous les types d'antioxydants grâce à la stabilité du DPPH<sup>•</sup>. Cela signifie qu'il y a suffisamment de temps pour que les antioxydants, même à faibles concentrations, réagissent avec le DPPH<sup>•</sup> (SANTOS-SANCHEZ *et al.*, 2019).

### III.6.1.2- Activité du piégeage du cation radical ABTS<sup>•+</sup>

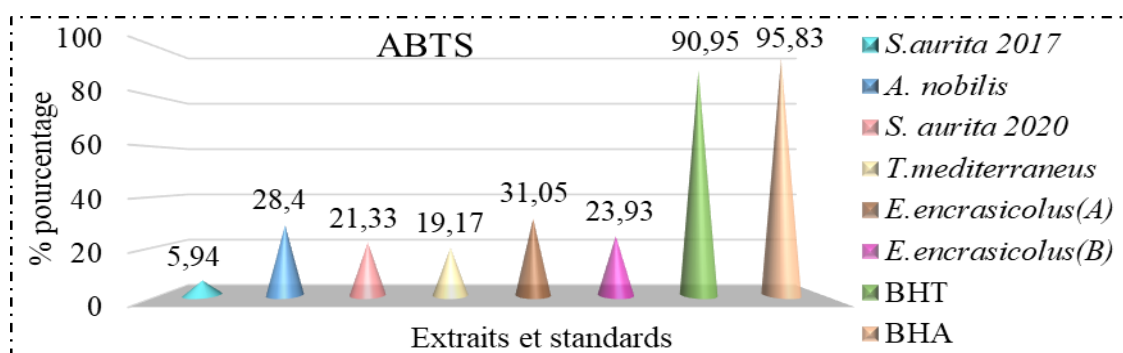
Le piégeage du cation radical ABTS<sup>•+</sup> en ABTSH<sup>+</sup> est induit par l'antioxydant, cette transformation a été suivie par la mesure de l'absorbance à 734 nm et la détermination de la concentration inhibitrice des différents extraits en comparaison avec les standards (BHA et BHT). Les résultats sont illustrés dans la Figures III.11 et III.12 et le tableau III.6.



**Figure III.11 :** Microplaque des tests des activités du piégeage du cation radical ABTS•+ des huiles extraites. Huile de *S. aurita* ‘C’ de 2017 et ‘D’ de 2020. Carpe "*A. nobilis*", *E. encrasicolus* ‘A’ : Extraction par l’hexane. ‘B’ : Extraction par l’éther di éthylique. Huile de *T. mediterraneus*

**Tableau III.6 :** Inhibition du cation radical ABTS•+.

concentration Extraits et standards	% Inhibition							IC <sub>50</sub> µg/mL
	12.5 µg	25 µg	50 µg	100 µg	200 µg	400 µg	800 µg	
<i>S.aurita</i> (C)	NA	NA	NA	NA	NA	5,94±0,94	7,61±1,24	>800
<i>A. nobilis</i>	NA	7,24±1,47	8,21±0,75	11,23±0,43	16,09±0,84	28,40±0,43	58,32±2,27	673.72±4.92
<i>S. aurita</i> (D)	NA	NA	5,67±1,78	8,48±1,30	11,34±2,16	21,33±0,95	-	>800
<i>T.mediterraneus</i>	NA	NA	5,89±1,38	10,10±1,99	10,80±0,65	19,17±0,16	-	>800
<i>E. encrasicolus</i> (A)	NA	9,49±1.63	11,95±0.86	14,40±0.83	21,18±0.71	31,05±2,25	NA	>800
<i>E. encrasicolus</i> (B)	NA	8,56±1.59	10,08±0.88	12,18±0,46	17,38±0,54	23,93±0,35	NA	>800
BHT	69,21±0,40	78,23±1,34	88,12±1,28	88,76±3,07	90,85±1,74	90,95±0,51	96,68±0,39	1,29±0,30
BHA	92,83±1,42	94,68±0,42	94,95±0,90	95,32±0,25	95,59±0,47	95,83±0,15	95,86±0,10	1,81±0,10



**Figure III.12 :** Valeurs des pourcentages d’inhibition du radical du test ABTS des huiles de poissons

Les résultats du test ABTS ont montré que l’huile de la carpe chinoise possède la plus forte capacité de piégeage de ces radicaux libres par rapport aux autres huiles des petits pélagiques

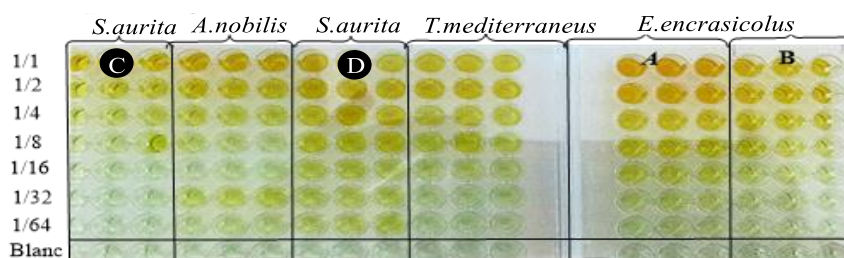
( $IC_{50}=673,72\pm 4,92$   $\mu\text{g/ml}$ ) mais elle demeure plus faible que celle des standards BHT et BHA. Quand on compare les pourcentages d'inhibition à la concentration 400  $\mu\text{g/ml}$ , on constate que l'huile qui présente le pourcentage le plus élevé est celle d'*Engraulis encrasicolus* extraite par l'hexane ( $31,05\pm 2,25$  %), suivie par l'huile d'*Aristichthys nobilis* ( $28,40\pm 0,43$  %), l'huile de l'espèce *Engraulis encrasicolus* extraite par l'éther di éthylique ( $23,93\pm 0,35$  %), l'huile de la sardinelle extraite en 2020 ( $21,33\pm 0,95$  %), l'huile de *Trachurus mediterraneus* ( $19,17\pm 0,16$  %) et enfin l'huile de la sardinelle extraite en 2017 ; avec le plus faible pourcentage d'inhibition ( $5,94\pm 0,94$  %). Les huiles des espèces testées de petits pélagiques de la région de Jijel, de la sardinelle pêchée dans la baie d'Alger et la carpe chinoise pêchée au niveau du barrage de Gargar de la wilaya de Ghelizene ; présentent une très faible activité anti-radicalaire au test ABTS ( $IC_{50}>800$   $\mu\text{g/ml}$ ) par rapport aux standards BHT et BHA (respectivement  $IC_{50}=1,29\pm 0,30$   $\mu\text{g/ml}$  et  $IC_{50}=1,81\pm 0,10$   $\mu\text{g/ml}$ ).

CAI *et al.* (2015) ont rapporté que l'hydrolysate de peau de la carpe herbivore (*Ctenopharyngodon idella*) est riche en peptides antioxydants (trois fractions) et possède une activité anti-radicalaire au test ABTS dose-dépendante ( $IC_{50}= 0,281$  mM,  $IC_{50}= 0,530$  mM et  $IC_{50}= 0,960$  mM).

Toutefois, les extraits ont manifesté un meilleur pouvoir de piégeage des radicaux libres au test ABTS que dans l'activité antiradicalaire au DPPH ; ceci peut être justifié par la différence de la structure stéréochimique du radical cation ABTS et de la solubilité et la polarité des extraits, car ce radical a la capacité d'évaluer la capacité anti-oxydante des composés hydrophiles et lipophiles, polaires et apolaires (GÜLÇİN, 2010 ; MOONMUN *et al.*, 2017; SRIDHAR et CHARLES, 2019).

### III.6.1.3- Activité de réduction du complexe cuivre- néocuproïne (CUPRAC)

La capacité de réduction du complexe cuivre-néocuproïne [ $\text{Nc}_2\text{-Cu}^{2+}$ ] est induite par l'antioxydant, le dosage de cette réaction est mesuré et compare par rapport aux valeurs  $A_{0,50}$  des standards (BHA et BHT). Les résultats sont présentés ci-après (Figure III.13, III.14 et le tableau III.7).

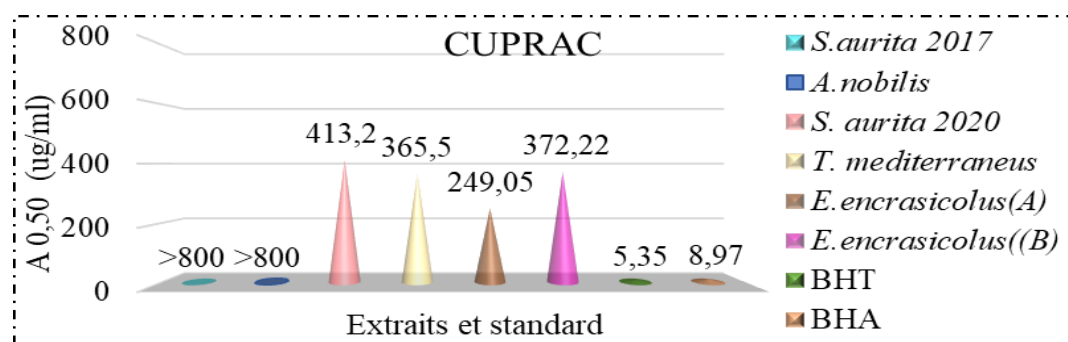


**Figure III.13 :** Evaluation de l'activité de réduction du complexe Cu (II) -Nc des huiles de poissons extraites sur microplaque.

Huile de *S. aurita* 'C' de 2017 et 'D' de 2020. Carpe "*A. nobilis*", *E. encrasicolus* 'A' : Extraction par l'hexane. 'B' : Extraction par l'éther di-éthylique. Huile de *T. mediterraneus*

**Tableau III.7 :** Inhibition du radical CUPRAC.

Concentration	Absorbances							A <sub>0,50</sub> (µg/mL)
	12.5 µg	25 µg	50 µg	100 µg	200 µg	400 µg	800 µg	
Extraits et standards								
<i>S.aurita</i> (C)	0,10±0,01	0,11±0,00	0,12±0,02	0,15±0,02	0,21±0,01	0,25±0,01	0,33±0,02	>800
<i>A. nobilis</i>	0,14±0,01	0,25±0,01	0,13±0,02	0,17±0,01	0,24±0,01	0,31±0,02	0,43±0,01	>800
<i>S.aurita</i> (D)	0,19±0,00	0,19±0,00	0,21±0,01	0,31±0,01	0,47±0,00	0,48±0,00	1,07±0,07	413,20±15.52
<i>T.mediterraneus</i>	0,11±0,00	0,13±0,01	0,17±0,01	0,21±0,01	0,37±0,04	0,53±0,01	1,01±0,06	365,50±6.93
<i>E.encrasicolus</i> (A)	0,12±0,00	0,15±0,01	0,20±0,00	0,27±0,00	0,43±0,01	0,71±0,00	1,25±0,01	249,05±5.73
<i>E.encrasicolus</i> (B)	0,11±0,05	0,14±0,00	0,18±0,00	0,26±0,00	0,39±0,01	0,53±0,02	0,83±0,03	372,22±0.48
BHA <sup>b</sup>	1,12±0,05	1,95±0,31	3,14±0,46	3,58±0,42	3,35±0,20	3,77±0,19	3,92±0,13	5,35±0,71
BHT <sup>b</sup>	1,41±0,03	2,22±0,05	2,42±0,02	2,50±0,01	2,56±0,05	2,86±0,07	3,38±0,13	8,97±3.94



**Figure III.14 :** Valeurs des A<sub>0,50</sub> du test CUPRAC des huiles de poisson.

Selon les résultats du test CUPRAC, on remarque que les absorbances augmentent avec l'augmentation de la concentration de l'extrait dans les différents puits et varient d'une espèce à l'autre.

Cette étude a montré que l'huile de l'espèce *Engraulis encrasicolus* extraite par l'hexane possède donc la plus forte activité anti-radicalaire de réduction de complexe cuivre néocuproïne ( $A_{0,50} = 249.05 \pm 5.73 \mu\text{g/ml}$ ) par rapport aux autres espèces mais elle reste plus faible que les standards BHT et BHA. Cette activité est décroissante respectivement pour l'huile de *Trachurus mediterraneus* ( $A_{0,50} = 365.50 \pm 6.93 \mu\text{g/ml}$ ), *Engraulis encrasicolus* extraite par l'éther di éthylique ( $A_{0,50} = 372.22 \pm 0.48 \mu\text{g/ml}$ ).

L'huile de l'espèce *Engraulis encrasicolus* extraite par l'hexane, présente une activité anti-radicalaire plus forte que celle de la même espèce extraite par l'éther di-éthylique.

L'huile de l'espèce *Aristichthys nobilis* et de l'espèce *Sardinella aurita* (2017) possèdent une faible activité de réduction du complexe cuivre-néocuproïne avec ( $A_{0,50} > 800 \mu\text{g/ml}$ ).

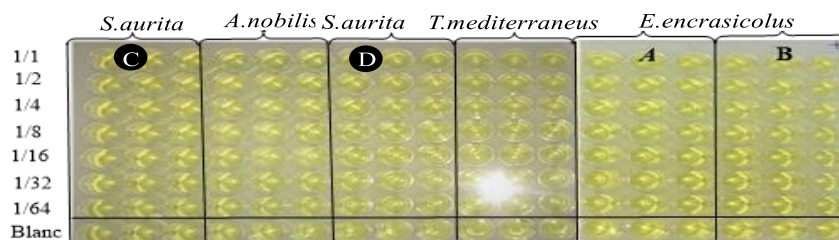
L'activité antiradicalaire de réduction de complexe cuivre-néocuproïne des huiles de poisson testées est nettement plus faible que celle des standards BHA et BHT (respectivement,  $A_{0,50} = 5,35 \pm 0,71 \mu\text{g/ml}$  et  $A_{0,50} = 8.97 \pm 3.94 \mu\text{g/ml}$ ).

L'existence d'une activité de réduction de complexe cuivre-néocuproïne peut s'expliquer par la présence de molécules anti-oxydantes donneuses d'électron dans les échantillons testés. Cette capacité anti-oxydante reste faible et ça peut s'expliquer par les interactions des liaisons H des antioxydants entre elles même ou avec des molécules du solvant ; ce qui peut influencer la capacité de transfert des électrons (ÇELIK *et al.*, 2010).

Le potentiel de l'activité anti-oxydante des composés dépend en partie de la polarité du solvant extracteur utilisé, donc dépend du rendement d'extraction des lipides (JADID *et al.*, 2017). D'après BACHIR BEY (2016), l'éther di-éthylique est plus polaire que l'hexane (les solvants hydrocarbonés) ; Mais c'est les solvants apolaires qui sont les plus communément utilisés pour l'extraction des lipides.

#### III.6.1.4- Activité du pouvoir réducteur (FRAP)

La capacité de réduction du  $\text{Fe}^{3+}$  présente dans le complexe  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  en  $\text{Fe}^{2+}$  est induite par l'antioxydant, le ferrocyanure de potassium qui va réagir ensuite avec le chlorure ferrique pour former un complexe fer ferreux de couleur bleu-vert, qui absorbe à 700 nm. Dans ce test les résultats ont été comparés aux standards (acide ascorbique et  $\alpha$ -Tocophérol) (Figures III.15 et III.16 et le tableau III.8).

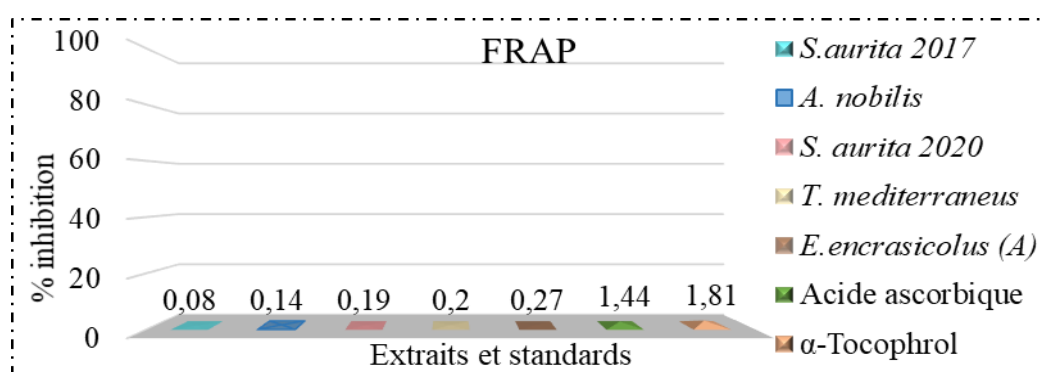


**Figure III.15 :** Evaluation de l'activité du pouvoir réducteur (FRAP) des huiles de poissons extraites sur microplaque.

Huile de *S.aurita* 'C' de 2017 et 'D' de 2020. Carpe "*A.nobilis*", *E.encrasicolus* 'A' : Extraction par l'hexane. 'B' : Extraction par l'éther di-éthylique. Huile de *T.mediterraneus*.

**Tableau III.8 :** Inhibition du radical FRAP.

Concentration Extraits et standards	Absorbance							A <sub>0.5</sub> µg/mL
	3.125 µg	6.25 µg	12.5 µg	25 µg	50 µg	100 µg	200 µg	
<i>S.aurita</i> (C)	NA	NA	NA	0,06±0,00	0,06±0,00	0,07±0,00	0,08±0,02	>200
<i>A. nobilis</i>	NA	0,07±0,00	0,07±0,00	0,07±0,00	0,07±0,01	0,10±0,05	0,14±0,01	>200
<i>S. aurita</i> (D)	NA	NA	0,07±0,00	0,07±0,00	0,08±0,00	0,10±0,02	0,19±0,04	>200
<i>T.mediterraneus</i>	NA	NA	0,07±0,01	0,08±0,00	0,09±0,00	0,15±0,02	0,20±0,01	>200
<i>E.encrasicolus</i> (A)	0,08±0,00	0,08±0,00	0,08±0,01	0,08±0,01	0,10±0,03	0,15±0,03	0,27±0,03	>200
Acide ascorbique	0,35±0,05	0,46±0,03	0,84±0,12	0,93±0,30	1,18±0,34	1,37±0,20	1,44±0,21	6.77±1.15
α-Tocophérol	0.11±0,00	0.16±0.00	0,21±0,03	0,35±0,03	0,73±0,03	1,37±0,08	1,81±0,09	34.93±2.38



**Figure III.16 :** Valeurs des pourcentages d'inhibition du radical du test FRAP.

Selon les résultats obtenus dans cette étude (Figure III.16), on constate que toutes les huiles testées des poissons marins et d'eau douce de la région de Jijel, de la baie d'Alger et de Ghelizene ont une très faible capacité de réduction de fer (A<sub>0,50</sub>>200 µg/ml), par rapport aux

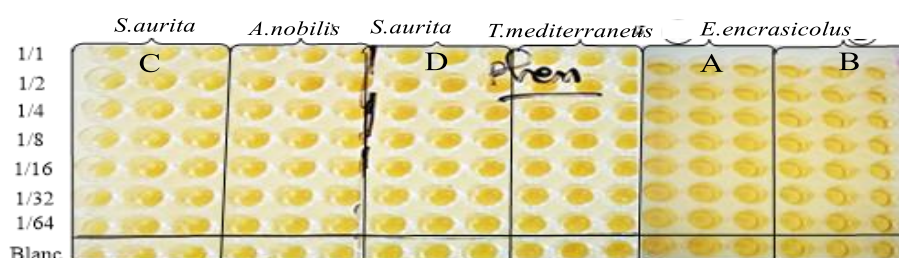
standards ; acide ascorbique et  $\alpha$ -Tocophérol (respectivement,  $A_{0.5}=6.77\pm 1.15 \mu\text{g/ml}$  et  $A_{0.5}=34.93\pm 2.38 \mu\text{g/ml}$ ). À une concentration de  $200 \mu\text{g/ml}$ , le pourcentage d'inhibition des huiles testées est décroissant dans l'ordre : l'huile d'*Engraulis encrasicolus* extraite par l'hexane ( $0,27\pm 0,03 \%$ ), suivie par celle de *Trachurus mediterraneus* ( $0,20\pm 0,01 \%$ ), l'huile de l'espèce *Sardinella aurita* extraite en 2020 ( $0,19\pm 0,04 \%$ ) et celle de l'espèce *Aristichthys nobilis* ( $0,14\pm 0,01 \%$ ) et enfin celle de la sardinelle extraite en 2017 ( $0,08\pm 0,02 \%$ ).

La comparaison entre ces résultats et ceux de HE *et al.* (2015), ayant travaillé sur les hydrolysats protéiques, montre que l'extrait sec (fraction protéique) de l'anchois (*Engraulis japonicus*) possède une capacité de réduction du fer maximale à la concentration  $40 \text{ mg/ml}$  avec une absorbance à  $700 \text{ nm}$  est de 1,7.

La valeur FRAP peut varier considérablement en fonction de la variabilité chimique et la concentration de ces molécules anti-oxydantes contenues dans l'échantillon (GULCIN, 2020).

### III.6.1.5- Activité de réduction par la formation du complexe $\text{Fe}^{+2}$ - phénanthroline

La capacité de réduction du fer ferrique ( $\text{Fe III}$ ) en fer ferreux ( $\text{Fe II}$ ) est induite par l'antioxydant, le fer ferreux ( $\text{Fe II}$ ) va réagir ensuite avec la phénanthroline pour former un complexe stable de couleur rouge orange qui absorbe à  $510 \text{ nm}$ . Les résultats obtenus ont été comparés aux standards (BHA et BHT) et sont consignés ci-après (Figures III.17 et III.18 et Tableau III.9).



**Figure III.17 :** Evaluation de l'activité de réduction du fer ferrique par la formation du complexe  $\text{Fe}^{+2}$ -phénanthroline des huiles de poissons sur microplaque.

Huile de *S. aurita* 'C' de 2017 et 'D' de 2020. Carpe "*A.nobilis*", *E. encrasicolus* 'A' : Extraction par l'hexane. 'B': Extraction par l'éther di-éthylique. Huile de *T. mediterraneus*.

Tableau III.9 : Réduction du fer par la méthode phénanthroline.

Concentration Extraits et Standards	Absorbances							
	3.125 µg	6.25 µg	12.5 µg	25 µg	50 µg	100 µg	200 µg	A <sub>0,5</sub> µg/mL
<i>S.aurita</i> (C)	NA	NA	0.25±0,01	0.25±0,00	0.27±0.01	0,30±0,00	0,35±0.02	>200
<i>A. nobilis</i>	0,24±0,01	0.25±0,01	0.25±0,00	0.26±0,01	0.30±0,00	0.38±0,01	0.46±0.03	>200
<i>S. aurita</i> (D)	0.25±0,02	0.26±0,02	0.27±0,02	0.29±0,01	0.34±0,02	0.32±0,00	0,39±0,01	>200
<i>T.mediterraneus</i>	NA	NA	NA	0.28±0,01	0.28±0,01	0.31±0,02	0.42±0,00	>200
<i>E. encrasicolus</i> (A)	NA	NA	0.18±0,01	0.20±0,03	0.20±0,01	0,26±0,03	0,39±0,01	>200
<i>E. encrasicolus</i> (B)	0.16±0,01	0.18±0,01	0.19±0,01	0.19±0,01	0.19±0,01	0.20±0,01	0.29±0,05	>200
	0.78125	1.5625	3.125 µg	6.25 µg	12.5 µg	25 µg	50 µg	A <sub>0,5</sub> µg/mL
BHA	0,49±0,01	0,59±0,01	0,73±0,02	0,93±0,01	1,25±0,04	2,10±0,05	4,89±0,06	0,93±0,07
BHT	0,47±0,01	0,47±0,01	0,53±0,03	1,23±0,02	1,84±0,01	3,48±0,03	4,84±0,01	2,24±0,17

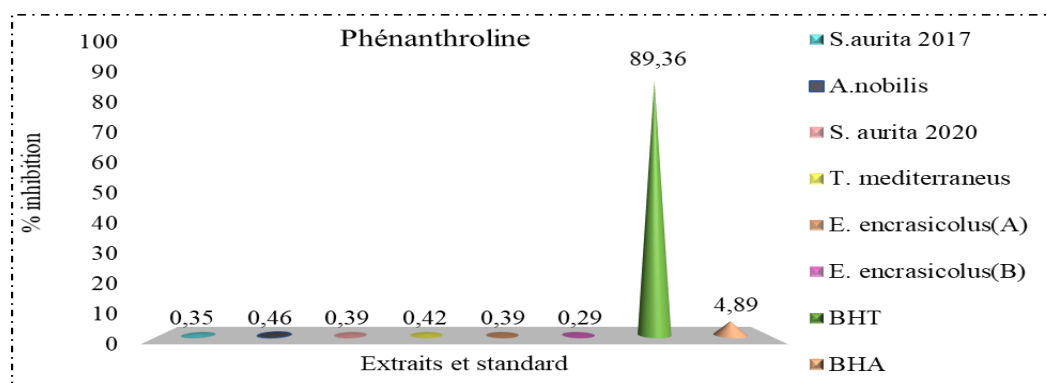


Figure III.18 : Valeurs des pourcentages d'inhibition du fer ferrique au test Phénanthroline

Au regard des données, on constate que toutes les huiles testées des poissons, qu'elles soient d'origine marine ou d'eau douce, ont une très faible capacité de réduction du fer ( $A_{0,50} > 200$  µg/ml), par comparaison aux standards BHA et BHT (respectivement,  $A_{0,5}=0,93\pm0,07$  µg/ml et  $A_{0,5}=2,24\pm0,17$  µg/ml).

Toutes les huiles absorbent à 510 nm, mais elles présentent des absorbances différentes. A la concentration 200 µg/ml, l'huile de l'espèce *Aristichthys nobilis* de la région de Ghelizene et celle de l'espèce *Trachurus mediterraneus* présentent deux absorbances les plus élevées ( $0.46\pm0.03$  et  $0.42\pm0,00$ ), suivies par celle de l'espèce *Engraulis encrasicolus* extraite par l'hexane et celle de la sardinelle extraite en 2020 (respectivement,  $0.39\pm0,05$  et  $0,39\pm0,01$ ),

l'huile de la sardinelle extraite en 2017 ( $0,35\pm 0,02$ ) et enfin l'huile de l'espèce *Engraulis encrasicolus* extraite par l'éther di-éthylique ( $0,29\pm 0,01$ ).

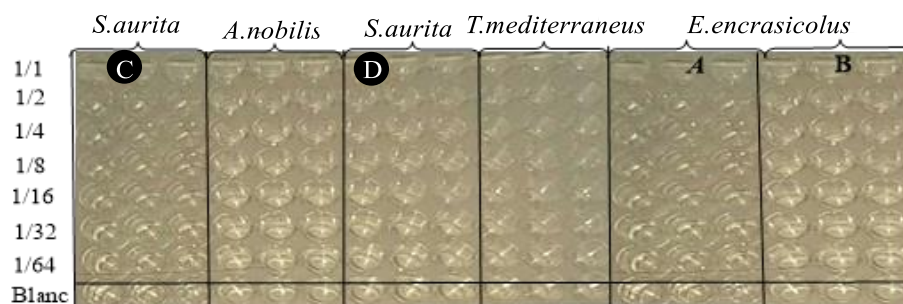
On remarque aussi que l'activité anti-oxydante de l'huile de *Sardinella aurita* de 2017 est plus faible que celle de 2020 (les absorbances à 200  $\mu\text{g/ml}$  sont  $0,35\pm 0,02$  et  $0,39\pm 0,01$  respectivement) (BORAN *et al.*, 2006).

Cette étude est la première dans l'évaluation de l'activité de réduction par la formation du complexe  $\text{Fe}^{+2}$ -phénanthroline des espèces étudiées.

La capacité chélatrice est très importante, du fait qu'elle réduit la concentration des métaux de transition catalyseurs de la peroxydation lipidique. En effet, le fer sous forme de  $\text{Fe}^{2+}$  peut stimuler l'oxydation des lipides par la réaction de FENTON, et accélère également cette oxydation en décomposant les hydroperoxydes en radicaux peroxydes et alcoxydes qui peuvent à leur tour entretenir la réaction en chaîne. Il a été rapporté que les agents chélateurs qui forment une liaison de type  $\sigma$  avec les métaux sont actifs comme antioxydants secondaires car ils réduisent le potentiel redox et stabilisent la forme oxydée de l'ion métallique sous forme de  $\text{Fe}^{2+}$  par la formation d'un complexe stable. La configuration favorable structure-fonction des composés contenant deux ou plusieurs des groupes suivants : -OH, -COOH, -C=O, -NR<sub>2</sub>, -S- et -O- montre la capacité des échantillons à réduire le  $\text{Fe}^{3+}$  en  $\text{Fe}^{2+}$  (RAHMANI et SAIDI, 2015). On peut supposer que la faible activité réductrice des extraits testés est due à l'absence de ces composés.

#### III.6.1.6- Réduction de la nanoparticule d'argent (AgNP)

La capacité de réduction des ions d'argent  $\text{Ag}^+$  en  $\text{Ag}^0$  est induite par l'anti-oxydant, pour obtenir des AgNP. Dans ce test les résultats ont été comparés aux standards (acide ascorbique et Trolox). Les résultats sont présentés dans les Figures (III.19 et III.20) et le Tableau III.10

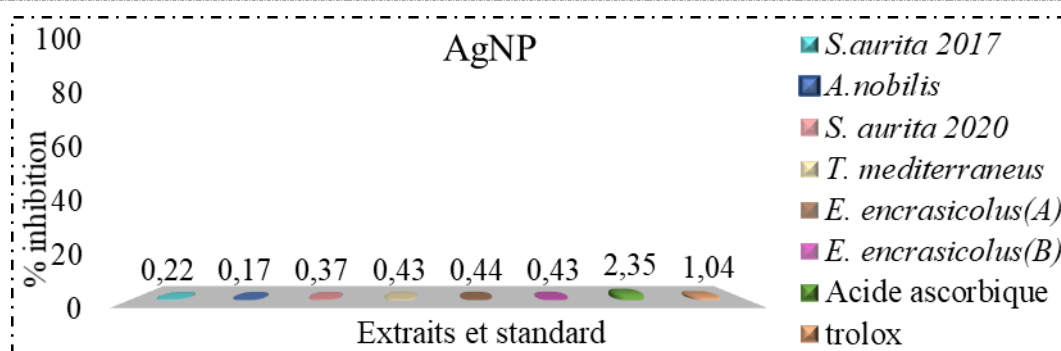


**Figure III.19 :** Evaluation de la capacité des huiles de poisson à réduire des ions Ag<sup>+</sup> en Ag<sup>0</sup> par la formation des AgNPs sur microplaque.

Huile de *S. aurita* ‘C’ de 2017 et ‘D’ de 2020. Carpe "*A.nobilis*", *E. encrasicolus* ‘A’ : Extraction par l’hexane. ‘B’ : Extraction par l’éter di-éthylique. Huile de *T. mediterraneus*.

**Tableau III.10 :** Réduction de l’argent par méthode de nanoparticules d’argent.

Concentration Extraits et Standards	Nanoparticules d’argents							
	6.25µg	12.5µg	25µg	50µg	100µg	200µg	400µg	A <sub>0.5</sub> µg/mL
<i>S.aurita</i> (A)	0.11±0.01	0.11±0.00	0.11±0.00	0.11±0.00	0.11±0.00	0.14±0.00	0,22±0.02	>400
<i>A. nobilis</i>	0.11±0.00	0.11±0.00	0.11±0.01	0.11±0.01	0.11±0.01	0.13±0.01	0.17±0.01	>400
<i>S. aurita</i> (B)	0.11±0.01	0.12±0.01	0.11±0.00	0.12±0.00	0.14±0.01	0.19±0.01	0.37±0.03	>400
<i>T.mediterraneus</i>	NA	NA	NA	NA	0.12±0.00	0.24±0.14	0.43±0.04	>400
<i>E.encrasicolus</i> (A)	NA	NA	NA	0.14±0.01	0.20±0.07	0.26±0.02	0,44±0.04	>400
<i>E. encrasicolus</i> (B)	NA	NA	0.13±0.01	0.15±0.02	0.16±0.00	0.22±0.04	0.43±0.01	>400
	1.5625µg	3.125µg	6.25µg	12.5µg	25µg	50µg	100µg	A <sub>0.5</sub> µg/mL
Acide ascorbique	0.24±0.00	0.32±0.01	0.45±0.01	0.75±0.01	1.22±0.02	1.90±0.03	2.35±0.01	7.14±0.05
Trolox	0.17±0.00	0.20±0.01	0.23±0.00	0.30±0.01	0.43±0.01	0.64±0.03	1.04±0.01	34.17±1.23



**Figure III.20 :** Valeurs des pourcentages d’inhibition du radical du test de l’AgNP.

D'après les résultats, on constate que les différentes huiles des espèces de poissons testées ont une capacité de réduction des cations d'argent ( $A_{0,5} > 400 \mu\text{g/ml}$ ) nettement plus faible que celle des standards ; acide ascorbique et le trolox (respectivement,  $A_{0,5} = 7,14 \pm 0,05 \mu\text{g/ml}$  et  $A_{0,5} = 34,17 \pm 1,23 \mu\text{g/ml}$ ). D'après les résultats des absorbances des complexes de nanoparticules d'argent présentés ci-dessous, à la concentration  $400 \mu\text{g/ml}$  ; l'huile de l'espèce *Engraulis encrasicolus* extraite par l'hexane, l'huile de la même espèce extraite par l'éther di-éthylique et celle de l'espèce *Trachurus mediterraneus* (respectivement,  $0,44 \pm 0,04$  ;  $0,43 \pm 0,01$  et  $0,43 \pm 0,04$ ) présentent les absorbances les plus élevées, suivies par l'huile de l'espèce *Sardinella aurita* extraite en 2020 ( $0,37 \pm 0,03$ ) et en 2017 ( $0,22 \pm 0,02$ ) et enfin l'huile de l'espèce *Aristichthys nobilis* ( $0,17 \pm 0,01$ ).

La faible activité AgNP dans les huiles de poisson peut s'expliquer par un faible transfert d'électron entre les ions d'argent et les anti-oxydants. (SZYDŁOWSKA-CZERNIAK *et al.*, 2012).

### **Discussion générale sur les activités anti-oxydantes des huiles de poisson**

Les études de BRUNETON (2009) ; de GUILLOUTY (2016) ; de BACHIR BEY (2016) et de JADID *et al.* (2017) ont montré que l'activité anti-oxydante peut être différente d'un individu à un autre au sein de la même espèce et que la variation des résultats d'un extrait à l'autre est due principalement aux solvants d'extraction utilisés. Selon GREEN et RODNEY JAMES (2004), la différence de polarité des solvants utilisés permet l'extraction d'une large gamme de métabolites secondaires. Dans la présente étude, l'huile qui a été extraite par l'hexane a manifesté un pourcentage d'inhibition supérieur à celle extraite par l'éther di-éthylique, car ce dernier est plus polaire que l'hexane (les solvants hydrocarbonés).

Par ailleurs, De nombreux travaux réalisés sur les produits chimiques d'origines naturelles (telles que les huiles essentielles) ont prouvé que se sont surtout les polyphénols qui sont responsables de l'activité anti-oxydante, cependant il a été établi que plusieurs familles de métabolites secondaires tels que les alcaloïdes et les saponosides peuvent présenter une activité anti-oxydante. Chaque métabolite se caractérise par une action qui lui est propre et qui devient plus importante en combinaison avec un autre, ce qui reflète l'effet synergique ou additif de ces molécules regroupés dans l'échantillon et qui influence l'activité anti-oxydante. (BENARIBA *et al.*, 2013; SÈNE M *et al.*, 2015 ; ADIDA *et al.*, 2016)

La faible activité anti-oxydante des huiles des espèces marines et continentale testées peut s'expliquer donc par leur faible teneur en composés phénoliques.

Généralement d'après la littérature la forte activité anti-oxydante des extraits de poisson se trouve plutôt dans les hydrolysats protéiques que dans les huiles (FUKUSHIMA *et al.*, 2009 ; LUTEN, 2009; SELLAMI *et al.*, 2014 ; WANG *et al.*, 2018). Ce qui explique les faibles activités anti-oxydantes des huiles testées *in vitro*.

En revanche, ANDERSON *et al.* (2014) et LEITE *et al.* (2014) ont montré, à travers des tests *in vivo*, que les acides gras polyinsaturés de la série (n-3) des huiles de poisson améliorent la capacité anti-oxydante aux niveaux de différents organes.

Cette différence peut s'expliquer par le mécanisme antioxydant indirect des lipides contenus dans l'huile de poisson ; Plus précisément un régime enrichi en acides gras polyinsaturés de la famille des omegas-3 est suffisant pour provoquer l'augmentation de l'expression des enzymes antioxydantes et la diminution de la production mitochondriale d'espèces réactives à l'oxygène (LEITE *et al.*, 2014).

Enfin, les études de SANTO-SANCHEZ *et al.* (2019) ont confirmé que les tests *in vitro* ne sont pas corrélés avec les tests *in vivo*.

### III.6.2- Activité enzymatique

#### III.6.2.1- Evaluation de l'activité antidiabétique

L'activité antidiabétique de l'extrait de l'huile issue de l'espèce *Sardinella aurita* pêchée au niveau de la baie d'Alger est testée par l'inhibition de l'enzyme alpha-amylase ( $\alpha$ -amylase). L'acarbose est utilisé comme standard dans cette activité. Les résultats sont présentés dans les figures (III.21 et III.22) et le tableau III.11. L'activité antidiabétique des autres huiles n'a pas pu être déterminée suite au confinement en prévention de la pandémie COVID-19.

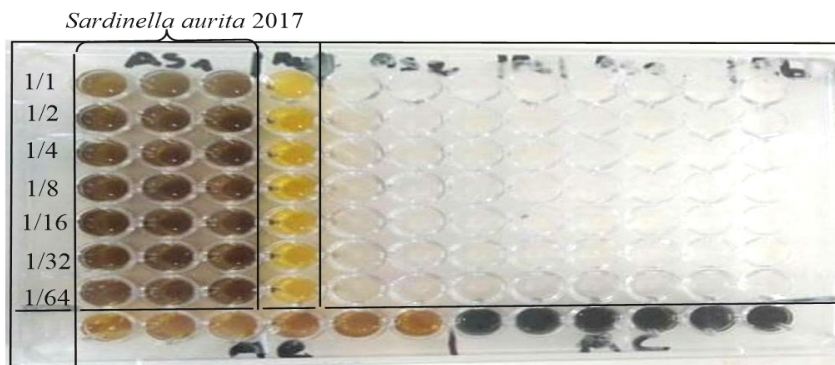


Figure III.21 : Evaluation de l'activité d'inhibition de l'α-amylase par l'huile de *S.aurita* de 2017 sur microplaque.

Tableau III.11 : Inhibition de l'α-amylase par l'huile de *S.aurita* et l'acarbose.

Concentration	% d'inhibition							IC <sub>50</sub> (μg/ml)
	6,25 μg	12,5 μg	25 μg	50 μg	100μg	200 μg	400 μg	
Extraits								
<i>S.aurita</i> (A)	25.96±3.21	27.68±2.32	28.28±2.29	29.15±0.92	30.67±2.86	33,88±2.37	-	>400
	62,5 μg	125 μg	250 μg	500 μg	1000 μg	2000 μg	4000 μg	
Acarbose	7,76±0,17	8,08±0,30	9,46±0,11	10,70±0,96	31,81±2,89	37,21±3,54	53,05±1,59	3650,93±10,70

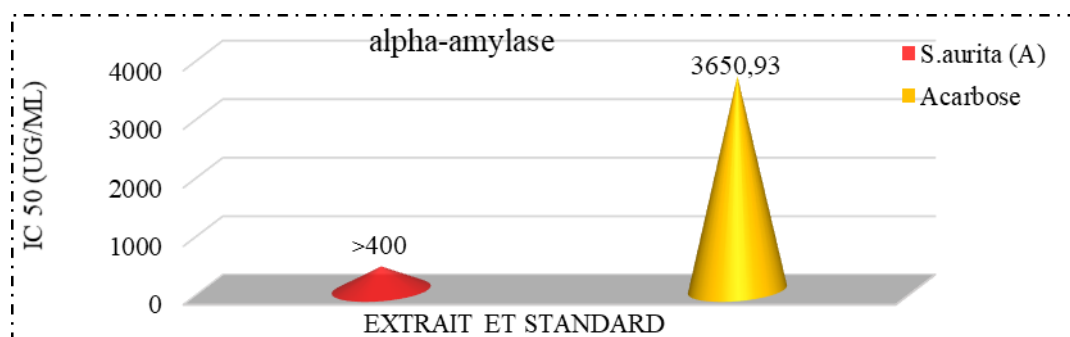


Figure III.22: Valeurs des IC<sub>50</sub> du test d'inhibition de l'α-amylase

D'après les résultats obtenus (Tableau III.11, Figure III.22 ), on remarque que l'activité inhibitrice de l'alpha-amylase a été enregistrée pour l'huile extraite en 2017 de *Sardinella aurita* avec une (IC<sub>50</sub>>400 μg/ml), en comparant cette capacité antidiabétique avec celle du médicament l'acarbose utilisé contre le diabète de type 2, on relève que le pourcentage d'inhibition de l'α-amylase par l'huile issue de cette sardinelle de (29,15±0,92 %) est environ quatre fois supérieur que celui enregistré pour la molécule antidiabétique standard (7,76±0,17 %) ; à deux concentrations proches ; 50 μg/ml de l'huile de poisson et 62,5 μg/ml du médicament acarbose.

Donc l'huile de l'espèce *Sardinella aurita* pêchée au niveau de la baie d'Alger extraite en 2017 ; possède une plus forte activité inhibitrice de l' $\alpha$ -amylase que celle du standard l'acarbose.

Selon TENG et CHEN (2017), des études ont montré qu'une alimentation pauvre en graisse et enrichie en acides oléique et linoléique influence le taux du glucose à jeun dans le cas de diabète de type 2. Dans la même étude, ces auteurs ont testé la capacité inhibitrice de l' $\alpha$ -amylase des AG, ils ont montré des valeurs  $IC_{50}$  de l'acide oléique et l'acide palmitique de 97,3  $\mu$ g/ml et 38,7  $\mu$ g/ml, respectivement.

Selon KACEM *et al.* (2011) l'espèce *Sardinella aurita* est riche en acide palmitique avec un pourcentage élevé du total lipidique (environ 26 %) et en acide oléique (environ 5 %). Ces renseignements peuvent expliquer la forte activité inhibitrice  $\alpha$ -amylase de l'huile testée. L'activité antidiabétique des acides gras n'est pas limitée sur l'inhibition de l'enzyme l' $\alpha$ -amylase ; des études ont montré que le taux plasmatique du glucose réduit sans augmentation de taux de l'insuline lors de l'introduction de l'huile de poisson. Cette réduction s'explique par les avantages des AG sur la résistance de l'insuline (par un effet anti-inflammatoire) et sur le diabète de type 2 en augmentant la tolérance de l'insuline au glucose (par un effet synergique avec le DHA) (GIRAUD, 2006 ; WANG et HUANG, 2015 ; KEAPAI *et al.*, 2016).

En outre, l'acide oléique réduit efficacement les lipoprotéines de base densité et le taux de cholestérol ainsi que la réduction de l'expression des adipocytes impliqués dans la réduction de la résistance à l'insuline induite par l'obésité et le diabète de type 2 (TENG et CHEN, 2017).

**CONCLUSION GÉNÉRALE**  
**ET PERSPECTIVES**

### CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

La pêche et l'aquaculture ainsi que l'industrie halieutique génèrent une quantité considérable de sous-produits (estimés à 50 % ces dernières années) au cours de la pêche et surtout des étapes de transformations. Il convient de trouver de nouvelles utilisations pour ces biomasses.

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation biotechnologique des coproduits et des produits issus de la pêche accessoire et de l'aquaculture en vue d'obtenir des biomolécules à hautes valeurs ajoutées.

Trois espèces marines (*Sardinella aurita*, *Trachurus mediterraneus*, *Engraulis encrasicolus*) et une espèce issue de l'aquaculture continentale *Aristichthys nobilis* (RICHARDSON, 1845) ont fait l'objet de cette étude.

La première partie a été consacrée à la détermination de la composition chimique globale de la matière première (chair et coproduits de poissons), suivie d'une étape dédiée aux différents modes d'extraction des huiles et des extraits secs (protéines et minéraux) ainsi que leur caractérisation et enfin une dernière partie concerne l'évaluation de leur propriété pharmacologique.

Néanmoins, il convient de signaler qu'à cause de la pandémie du Covid-19 et du confinement, nous n'avons pu tester que les huiles, les autres fractions feront probablement l'objet des études ultérieures.

A la lumière des résultats obtenus, il en ressort :

- L'analyse de la composition biochimique de la matière première a montré de forte teneur en eau chez les quatre espèces, en matière minérale chez l'espèce *Sardinella aurita* (environ 4 %), en protéines chez *Trachurus mediterraneus* et *Sardinella aurita* (environ 20 % chacune) et en lipides chez *Engraulis encrasicolus* (environ 10 %).
- La caractérisation qualitative des huiles extraites par CCM, a révélé la présence des acides gras polyinsaturés de la famille des omégas 3 (tels que le DHA et l'EPA) dans toutes les préparations.
- De même, la caractérisation quantitative par CPG/SM des huiles extraites a permis d'identifier 37 constituants chez l'espèce *Aristichthys nobilis*, avec 4 constituants majoritaires : l'acide palmitique (18,44 %), l'acide oléique (16,29 %), acide eicosapentaénoïque EPA (9,15 %) et l'acide stéarique (6,96 %).

- En ce qui concerne l'huile extraite de *sardinella aurita*, 31 constituants avec 5 composés majoritaires ont été identifiés : l'acide oléique (25,36 %), l'acide eicosapentaénoïque EPA (19,77 %), acide docosahexaénoïque DHA (15,91 %) et l'acide palmitique (13,83 %).
- L'évaluation de l'activité antidiabétique de l'huile issue de *Sardinella aurita*, par l'inhibition de l'enzyme alpha-amylase a montré une forte activité, probablement liée à la présence des métabolites notamment les acides gras tels que l'acide palmitique et l'acide oléique.
- Quant aux activités anti-oxydantes, les espèces étudiées ont manifesté globalement un faible taux. Les méthodes d'extraction auraient un impact sur la qualité des huiles, leurs compositions en biomolécules et surtout leurs activités. Toutefois, il convient de signaler que les tests ont été réalisés *in vitro* et les huiles de poisson auraient plutôt une action indirecte, elles joueraient le rôle de précurseurs de molécules anti-oxydantes *in vivo*.

Ce travail préliminaire focalisé sur les propriétés antidiabétiques et anti-oxydantes des différentes espèces de poissons d'eau de mer et d'eau douce, ouvre la porte pour de nouvelles études et apporte des données nouvelles dans le domaine pharmaceutique, ainsi à l'avenir, il serait intéressant de :

- Procéder à l'isolement et l'identification de composés bioactifs à partir des huiles de poisson, tester leur effet antidiabétique à différentes doses et étudier la relation structure – activité, leur effet sur l'absorption intestinale du glucose, leur effet insulino-sécrétoire sur les cellules  $\beta$ -pancréatiques ;
- Recherche sur le mécanisme de l'activité anti-oxydante *in vivo* de ces huiles,
- Tester les autres activités biologiques telles que l'activité anti-Alzheimer, anti-inflammatoire, anticholesterolemiant, anti-cancérogène, antiarythmique et anticoagulante de l'huile de poisson ;
- Evaluer les activités biologiques *in vitro* et *in vivo* des composés des extraits secs ; vu leur richesse en polypeptides, acides aminés, minéraux et en vitamines qui sont également nécessaires pour une meilleure activité anti-oxydante.

**RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES**

**-A-**

**ABRAHA BEREKET (2017).** Production of Fish Protein Hydrolysate from Silver Catfish (*Arius thalassinus*). *MOJ Food Processing & Technology*, 5(4), [consulté le 02/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2017.05.00132>

**ADEOTI IBRAHEEM-A. et HAWBOLDT KELLY (2014).** A review of lipid extraction from fish processing by-product for use as a biofuel. *Biomass and Bioenergy*, 63: pp 330–340, [consulté le 02/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.02.011>

**ADIDA H. et al. (2016).** Étude phytochimique et évaluation du pouvoir antiradicalaire des extraits de *Pituranthos scoparius*. *Phytothérapie*, 14(4) : pp 207–212, [consulté le 13/08/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1007/s10298-015-0932-4>

**AGUSTINA ELSYE et al. (2015).** Simple and Precise Quantification of Iron Catalyst Content in Carbon Nanotubes Using UV/Visible Spectroscopy. *ChemistryOpen*, 4(5) : pp 613–619, [consulté le 27/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1002/open.201500096>

**ALAM MD-NUR et al. (2013).** Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 21(2) : pp 143–152, [consulté le 28/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2012.05.002>

**ANANEY-OBIRI DANIEL et al. (2019).** Chapter 6- Proteins From Fish Processing By-Products. In C. M. Galanakis (Ed.), *Proteins: Sustainable Source, Processing and Applications* : pp 163–191. Academic Press, [consulté le 14/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816695-6.00006-4>

**ANDERSON ETHAN-J. et al. (2014).** Do Fish Oil Omega-3 Fatty Acids Enhance Antioxidant Capacity and Mitochondrial Fatty Acid Oxidation in Human Atrial Myocardium via PPAR $\gamma$  Activation? *Antioxidants & Redox Signaling*, 21(8) : pp 1156–1163, [consulté le 16/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1089/ars.2014.5888>

**APAK RESAT et al. (2004).** Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26) : pp 7970–7981, [consulté le 16/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1021/jf048741x>

**APHA A. et WPCF (1985).** Standard methods for the examination of water and wastewater / prepared and published jointly by American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation ; joint editorial board, Arnold E. Greenberg, Lenore S. Clesceri, Andrew D. Eaton - Trove. Disponible sur le web: <https://trove.nla.gov.au/work/16646325>

**ASHRAF SYED AMIR et al. (2020).** Fish-Based Bioactives as Potent Nutraceuticals: Exploring the Therapeutic Perspective of Sustainable Food from the Sea. *Marine Drugs*, 18(5). [consulté le 19/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.3390/md18050265>

**ATLANTNIRO et CNROP (2001).** Les ressources halieutiques de la République Islamique de Mauritanie. [consulté le 18/06/2020]. Disponible sur le web: <https://www.oceandocs.org/handle/1834/233>

**-B-**

**BACHIR BEY MOSTAPHA (2016).** Extraction et caractérisations physique et chimique des lipides. Université Abderrahmane Mira, [consulté le 20/07/2020]. Disponible sur le web: <https://www.exoco-lmd.com/index.php?board=1333.0>

**BADARINATH ATTULURI VENKATA et al. (2010).** a review on in-vitro antioxidant methods: comparisons, correlations and considerations, [consulté le 16/05/2020]. Disponible sur le web: [/paper/a-review-on-in-vitro-antioxidant-methods%3a-and-badarinath-rao/7296f283fda19c4dd31ad07e3849e340c997dfaf](http://www.ijerph.in/paper/a-review-on-in-vitro-antioxidant-methods%3a-and-badarinath-rao/7296f283fda19c4dd31ad07e3849e340c997dfaf)

**BAKO TANKO et al. (2017).** Criteria for the Extraction of Fish Oil. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(3) : pp 120–132, [consulté le 11/04/2020].

**BARRERO MARINELA et BELLO RAFAEL A. (2000)** Characterization of Sardine Minced Flesh (*Sardinella aurita*) Washed with Different Solutions. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 9: pp 105–114. [consulté le 23/03/2020]. Disponible sur le web: [https://doi.org/10.1300/J030v09n03\\_08](https://doi.org/10.1300/J030v09n03_08)

**BASSII SABINA (2015).** *Etude de la répartition structurale des acides féruliques et p-coumarique dans la chènevotte et la poudre organique de chanvre (Cannabis sativa). Exploration des voies de fractionnement pour l'obtention d'extraits à valeur ajoutée.* Thèse de doctorat de 3<sup>o</sup> cycle, Univ Toulouse III - Paul Sabatier. Disponible sur le web: <http://thesesups.ups-tlse.fr/2979/>

**BEKRO YVES-ALAIN (2017).** Composition organique et activité anti-radicalaire de *Bombax costatum* de Côte d'Ivoire Organic composition and anti-radical activity of *Bombax costatum* from Côte d'Ivoire. *Revue Économique*, 18

**BENARIBA NAABILA et al. (2013).** Phytochemical screening and free radical scavenging activity of *Citrullus colocynthis* seeds extracts. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 3(1) : pp 35–40, [consulté le 20/05/2020]. Disponible sur le web: [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(13\)60020-9](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(13)60020-9)

**BLOIS MARSDEN-S. (1958).** Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. *Nature*, 181(4617) : pp 1199–1200, [consulté le 19/04/2020]. Disponible sur le web: Retrieved from <https://doi.org/10.1038/1811199a0>

**BONILLA-MÉNDEZ JEIMMY ROCÍO et CONCHA JOSÉ LUIS (2018).** Métodos de extracción, refinación y concentración de aceite de pescado como fuente de ácidos grasos omega-3. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 19(3) : pp 621–644. [consulté le 24/03/2020]. Disponible sur le web: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol19\\_num2\\_art:684](https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num2_art:684)

**BORAN GÖKHAN et al. (2008)** Seasonal Changes in Proximate Composition of Anchovy and Storage Stability of Anchovy Oil. *Journal of Food Quality*, 31(4): pp 503–513. [consulté le 23/05/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2008.00215.x>

**BORAN GÖKHAN et al. (2006).** Changes in the quality of fish oils due to storage temperature and time. *Food Chemistry*, 98(4) : pp 693–698, [consulté le 23/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.06.041>

**BOUBEKEUR HAFSA (2019).** Activités biologiques d'*Helichrysum stoechas*. Thèse de Doctorat de 3<sup>o</sup> cycle. univ-setif. [consulté le 29/03/2020]. Disponible sur le web: <http://dspace.dz:8888/jspui/handle/123456789/3152>

**BOUFLIGHA KHEDIDJA (2014).** Etude Biométrique comparée de l'allache *Sardinella aurita* (Valencienne, 1847) du Littoral Algérien. Magistère en Sciences de la mer. Univ.20 Août 1955-Skikda : 113 P.

**BOUGATEF ALI et al. (2010).** Purification and identification of novel antioxidant peptides from enzymatic hydrolysates of sardinelle (*Sardinella aurita*) by-products proteins. *Food Chemistry*, 118(3): pp 559–565, [consulté le 29/05/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.021>

**BOURRE JEAN-MARIE (2003)** Alimentation animale et valeur nutritionnelle induite sur les produits dérivés consommés par l'homme : Les lipides sont-ils principalement concernés ? *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, 10: pp 405–424, [consulté le 03/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1051/ocl.2003.0405>

**BRADFORD MARION-M., (1976).** A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1) : pp 248–254. [consulté le 26/03/2020]. Disponible sur le web: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)

BRUNETON J., 2009- Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales (4ème éd.) -. (consulté le 13 October 2020), <http://www.ethnopharmacologia.org/bibliotheque-ethnopharmacologie/pharmacognosie-phytochimie-plantes-medicinales-4eme-ed/>

**-C-**

**CAHU CHANTAL et al. (2010).** Consommation des poissons, mollusques, crustacés: aspects nutritionnels et sanitaires pour l'homme. Rapport ANSES.

**CAI LUYUN et al. (2015).** Purification and characterization of three antioxidant peptides from protein hydrolysate of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) skin. *Journal of Functional Foods*, 16: pp 234–242, [consulté le 23/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.04.042>

**ÇELIK SALIHA et al. (2010).** Solvent effects on the antioxidant capacity of lipophilic and hydrophilic antioxidants measured by CUPRAC, ABTS/persulphate and FRAP methods. *Talanta*, 81(4) : pp 1300–1309, [consulté le 22/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.02.025>

**CERRETANI LORENZO et BENDINI ALESSANDRA (2010).** Chapter 67 - Rapid Assays to Evaluate the Antioxidant Capacity of Phenols in Virgin Olive Oil. In V. R. Preedy & R. R. Watson (Eds.), *Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention*: pp 625–635. San Diego: Academic Press, [consulté le 19/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374420-3.00067-X>

**CHESALIN MIKHAIL et al. (2020)** Biological Characteristics of Azov Anchovy (*Engraulis encrasicolus maeoticus* A.) in 2016-2017 and 2017-2018 Fishing Seasons. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 20, [consulté le 22/04/2020]. Disponible sur le web: [https://doi.org/10.4194/1303-2712-v20\\_7\\_06](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v20_7_06)

**CHO J. H. et KIM I. H., (2011).** Fish meal – nutritive value. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 95(6) : pp 685–692, [consulté le 11/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2010.01109.x>

**CHUNG YUN-CHIN et al. (2000).** Utilization of freeze-dried mackerel (*Scomber australasicus*) muscle proteins as a binder in restructured meat. *Fisheries Science*, 66(1) : pp 130–135, [consulté le 28/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2000.00019.x>

**CODEX\_CCFO\_23\_AGENDA\_ITEM3\_EN.PDF.**[en ligne] consulté le 20 Juin 2020.Disponible sur le web:  
[https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/codex\\_ccfo\\_23\\_agenda\\_item3\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/codex_ccfo_23_agenda_item3_en.pdf)

**COLLÉGIALE DES ENSEIGNANTS DE NUTRITION (2011).** © Université Médicale Virtuelle Francophone. COLLÉGIALE DES ENSEIGNANTS DE NUTRITION. Disponible sur le web:<http://campus.cerimes.fr/nutrition/liste-2.html>

**COMMITTEE | CODEXALIMENTARIUS FAO-WHO (2017).** Disponible sur le web:  
<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/committees/committee/en/?committee=CCFO>

**CX FO, (2013).** CODEX COMMITTEE ON FATS AND OILS 23rd Session Langkawi, Malaysia - 25-2 to 1 Mars 2013. European Union comment : 9p .

**-D-**

**DAS SUSHIMITA et al. (2009).** Beneficial effects of Fish oil to Human Health- A review. *Agricultural Reviews*: 8p

**DASGUPTA ALITAVA et KLEIN KIMBRLY., (2014).** Chapter 16 - Herbal and Other Dietary Supplements That Are Antioxidants. In A. Dasgupta & K. Klein (Eds.), *Antioxidants in Food, Vitamins and Supplements* : pp 295–315, San Diego: Elsevier, [consulté le 12/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405872-9.00016-1>

**DASGUPTA ALITAVA et KLEIN KIMBRLY., (2014).** Herbal and Other Dietary Supplements That Are Antioxidants. In *Antioxidants in Food, Vitamins and Supplements* :pp 295–315. Elsevier, [consulté le 28/05/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405872-9.00016-1>

**DOBREVA DIANA et MERDZHANOVA ALBENA., (2011).** Fatty Acid profile and Vitamin A and E content in Horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*). *Asian Chemistry Letters*, 15, [consulté le 28/04/2020]. Disponible sur le web: [https://www.researchgate.net/publication/272506418\\_Fatty\\_Acid\\_profile\\_and\\_Vitamin\\_A\\_and\\_E\\_content\\_in\\_Horse\\_mackerel\\_Trachurus\\_mediterraneus](https://www.researchgate.net/publication/272506418_Fatty_Acid_profile_and_Vitamin_A_and_E_content_in_Horse_mackerel_Trachurus_mediterraneus)

**DOBREVA DIANA et al. (2018).** Black Sea fish and shellfish as essential source of vitamin B12. *International Journal of Scientific Reports*, [consulté le 22/08/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.18203/issn.2454-2156.IntJSciRep20183181>

**DPRH D'ALGER CENTRE RÉGION CENTRE (2016).** Rapport d' activité. Document non publié. Alger: DPRH.

**DUKE JAMES (2011).** CHAPTER 53 - Herbal Supplements. In J. Duke (Ed.), *Anesthesia Secrets (Fourth Edition)* :pp 369–372). Philadelphia: Mosby, [consulté le 22/08/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-06524-5.00054-4>

**DURMUŞ MUSTAFA et DURMUŞ MUSTAFA (2019)** Fish oil for human health: omega-3 fatty acid profiles of marine seafood species. *Food Science and Technology*, 39 :pp 454–461, [consulté le 22/08/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1590/fst.21318>

**-E-**

**EI JEMLI MERYEM *et al.* (2016).** Radical-Scavenging Activity and Ferric Reducing Ability of *Juniperus thurifera* (L.), *J. oxycedrus* (L.), *J. phoenicea* (L.) and *Tetraclinis articulata* (L.), [consulté le 22/08/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1155/2016/6392656>

**ENNOURI RYM et MILI S. (2013).** Evaluation de la qualité nutritionnelle de la sardinelle ronde *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847) du golfe de tunis, 40, 10.

**EYMARD SYLVIE (2003).** Mise en évidence et suivi de l'oxydation des lipides au cours de la conservation et de la transformation du chinchard (*Trachurus trachurus*): choix des procédés. Thèse de doctorat 3ème cycle. Univ.de.Nantes : 217p, [consulté le 27/08/2020]. Disponible sur le web: <https://archimer.ifremer.fr/doc/00000/2/>

**-F-**

**FAHY EOIN *et al.* (2011).** Lipid classification, structures and tools. *Biochimica Et Biophysica Acta*, 1811(11) : pp 637–647, [consulté le 29/08/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.bbaliip.2011.06.009>

**FAO (2018).** La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2018: Atteindre les objectifs de développement durable. Rome: FAO. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/I9540FR/>

**FAO (2020).** FAO Fisheries & Aquaculture - Cultured Aquatic Species Information Programme - *Hypophthalmichthys nobilis* (Richardson, 1845), [consulté le 22/08/2020]. Disponible sur le web: [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Hypophthalmichthys\\_nobilis/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Hypophthalmichthys_nobilis/en)

**FAO (2020).** Fisheries & Aquaculture - Species Fact Sheets - *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758), [consulté le 08/03/2020]. Disponible sur le web: <http://www.fao.org/fishery/species/2106/en>

**FAO (2020).** Fisheries & Aquaculture - Species Fact Sheets - *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847), [consulté le 08/03/2020]. Disponible sur le web: <http://www.fao.org/fishery/species/2088/en>

**FAO (2020).** Fisheries & Aquaculture - Species Fact Sheets - *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868), [consulté le 08/03/2020]. Disponible sur le web: <http://www.fao.org/fishery/species/2311/en>

**FIORI L *et al.* (2012).** Lipid profiles of oil from trout (*Oncorhynchus mykiss*) heads, spines and viscera: Trout by-products as a possible source of omega-3 lipids? *Food Chemistry*, 134(2): pp 1088–1095, [consulté le 17/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.022>

**FISHBASE (2010).** *Hypophthalmichthys nobilis*, Bighead carp : fisheries, aquaculture, aquarium, [consulté le 08/03/2020]. Disponible sur le web: <https://www.fishbase.in/summary/275>

**FISHBASE (2012).** *Sardinella aurita*, Round sardinella : fisheries, bait, [consulté le 08/03/2020]. Disponible sur le web: from <https://www.fishbase.se/summary/sardinella-aurita>

**FISHBASE (2013).** *Trachurus mediterraneus*, Mediterranean horse mackerel : fisheries, gamefish, [consulté le 08/03/2020]. Disponible sur le web: <https://www.fishbase.se/summary/1278>

**FROISSARD MARINE. et BOULARD CÉLINE (2012).** Optimisation de la production de lipides d'intérêt chez la levure par génie génétique.

**F.SOXHLET (1879).** Soxhlet, über gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes. *Polytechnisches Journal*, 232:pp 461–465.

**FUKUSHIMA YOICHI et al. (2009).** Coffee and Green Tea As a Large Source of Antioxidant Polyphenols in the Japanese Population. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(4): pp 1253–1259, [consulté le 19/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1021/jf802418j>

**-G-**

**GAINES A-M et al. (2005).** Estimation of the ideal ratio of true ileal digestible sulfur amino acids:lysine in 8- to 26-kg nursery pigs,. *Journal of Animal Science*, 83(11): pp 2527–2534, [consulté le 08/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.2527/2005.83112527x>

**GARCÍA-MORENO PEDRO-J et al. (2014).** Antioxidant activity of protein hydrolysates obtained from discarded Mediterranean fish species. *Food Research International*, 65, 469–476, [consulté le 08/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.061>

**GBIF (2018).** Hypophthalmichthys nobilis (Richardson, 1845). [consulté le 11/03/2020]. Disponible sur le web: <https://www.gbif.org/species/2362486>

**GBOGOURI GRODJI-A et al. (2006).** Analysis of lipids extracted from salmon (*Salmo salar*) heads by commercial proteolytic enzymes. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108(9): pp 766–775, [consulté le 14/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600081>

**GENCBAY GOKHAN et TURHAN SADETTIN (2016).** Proximate Composition and Nutritional Profile of the Black Sea Anchovy (*Engraulis encrasicolus*) Whole Fish, Fillets, and By-Products. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 25(6): pp 864–874, [consulté le 17/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1080/10498850.2014.945199>

**GILBERT T et al. (2013).** Stress oxydant et maladie d'Alzheimer. In B. Vellas & P. Robert (Eds.), *Traité sur la maladie d'Alzheimer* : pp 175–194. Paris: Springer, [consulté le 08/08/2020]. Disponible sur le web: [https://doi.org/10.1007/978-2-8178-0443-9\\_10](https://doi.org/10.1007/978-2-8178-0443-9_10)

**GIRAUD SABRINA., (2006).** Oméga 3 et syndrome métabolique. thèse de doctorat 3ème cycle.univ. josef. fourier, 120p., [consulté le 16/03/2020]. Disponible sur le web: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01104461>

**GŁOWACZ-RÓŻYŃSKA AGNIESZKA et al. (2016).** Comparison of oil yield and quality obtained by different extraction procedures from salmon (*Salmo salar*) processing byproducts. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118(11):p 1759–1767, [consulté le 22/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201500269>

**GOEL AKSHY et al. (2018).** Fish, Fish Oils and Cardioprotection: Promise or Fish Tale? *International Journal of Molecular Sciences*, 19(12), [consulté le 08/0/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.3390/ijms19123703>

**GOGUS UGUR et SMITH CHRIS (2010).** n-3 Omega fatty acids: a review of current knowledge. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(3):pp 417–436, [consulté le 11/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02151.x>

**GOHLKE R-S. (1959).** Time-of-Flight Mass Spectrometry and Gas-Liquid Partition Chromatography. *Analytical Chemistry*, 31(4):pp 535–541, [consulté le 11/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1021/ac50164a024>

**GOPALASATHEESKUMAR K. (2018).** significant role of soxhlet extraction process in phytochemical research. *Mintage Journal of Pharmaceutical & Medical Sciences*, [consulté le 08/07/2020]. Disponible sur le web: [https://www.academia.edu/38784392/SIGNIFICANT\\_ROLE\\_OF\\_SOXHLET\\_EXTRACTION\\_PROCESS\\_IN\\_PHYTOCHEMICAL\\_RESEARCH](https://www.academia.edu/38784392/SIGNIFICANT_ROLE_OF_SOXHLET_EXTRACTION_PROCESS_IN_PHYTOCHEMICAL_RESEARCH)

**GREEN RODNEY-JAMES (2004).** Antioxidant Activity of Peanut Plant Tissues. </paper/Antioxidant-Activity-of-Peanut-Plant-Tissues-Green/7b2e138115297b4d725c9904f0202097924ed5b6>

**GUILLOUTY AMANDINE (2016).** *Plantes médicinales et antioxydants* (exercice). Université Toulouse III - Paul Sabatier. <http://thesesante.ups-tlse.fr/1635/>

**GÜLÇİN İLHAMI (2010).** Antioxidant properties of resveratrol: A structure–activity insight. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(1):pp 210–218, [consulté le 07/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.07.002>

**GÜLÇİN İLHAMI (2012).** Antioxidant activity of food constituents: an overview. *Archives of Toxicology*, 86(3):pp 345–391, [consulté le 11/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1007/s00204-011-0774-2>

**GULCIN İLHAMI. (2020).** Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. *Archives of Toxicology*, 94(3):pp 651–715, [consulté le 15/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02689-3>

## **-H-**

**HE SHAN et ZHANG WEI (2013).** Functions, applications and production of protein hydrolysates from fish processing co-products (FPCP). *Food Research International*, 50(1): pp 289–297, [consulté le 08/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.10.031>

**HE SILIAN et al. (2015).** Autolysis of Anchovy (*Engraulis japonicus*) Protein: Evaluation of Antioxidant Properties and Nutritional Quality of Resulting Hydrolysates. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 24(5):pp 417–428, [consulté le 11/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1080/10498850.2013.786773>

**HONG HUI et al. (2015).** Seasonal variations of fatty acid profile in different tissues of farmed bighead carp (*Aristichthys nobilis*). *Journal of Food Science and Technology*, 52(2):pp 903, [consulté le 22/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1129-1>

**HUANG TSE-HUNG et al. (2018).** Cosmetic and Therapeutic Applications of Fish Oil's Fatty Acids on the Skin. *Marine Drugs*, 16(8), [consulté le 15/05/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.3390/md16080256>

**HUMBERT LUC et LHERMITTE MICHEL (2005).** Molécules indétectables par chromatographie en phase gazeuse. *Annales de Toxicologie Analytique*, 17(1): pp 57–62, [consulté le 15/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1051/ata:2005038>

**-I-**

**IBRAHIM S-M (2009).** Evaluation of production and quality of salt-biscuits supplemented with fish protein concentrate. /paper/Evaluation-of-production-and-quality-of-with-fish-Ibrahim/c3748c805a1bafe169168a95fe7da3e3a0d6cf08

**IMMANUEL G. et al. (2009).** Processing and characterisation of low cost Balistid fish *Sufflamen capistratus* liver oil for edible purpose. *Food Chemistry*, 115(2):pp 430–435, [consulté le 13/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.023>

**INNES JACQUELINE et CALDER PHILIP (2020).** Marine Omega-3 (N-3) Fatty Acids for Cardiovascular Health: An Update for 2020. *International Journal of Molecular Sciences*, 21:pp 1362, [consulté le 22/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.3390/ijms21041362>

INPN, 2020- *Sardinella aurita* Valenciennes, 1847 - Allache., 2020. consulté le 8 Septembre 2020. [https://inpn.mnhn.fr/espece/cd\\_nom/67039](https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/67039)

**-J-**

**JADID NURUL et al. (2017).** Antioxidant activities of different solvent extracts of *Piper retrofractum* Vahl. using DPPH assay (Vol. 1854 :p 020019). Presented at the AIP Conference Proceedings, [consulté le 24/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1063/1.4985410>

**JEMIL INES et al. (2014).** Functional, antioxidant and antibacterial properties of protein hydrolysates prepared from fish meat fermented by *Bacillus subtilis* A26. *Process Biochemistry*, [consulté le 08/06/2020]. Disponible sur le web: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201700124479>

**JIJITH U-S et JAMAKUMARI S. (2017).** recent advances and methods for in-vitro evaluation of antidiabetic activity: a review. *International Journal of Research in Ayurveda & Pharmacy*, 8:pp 81–87, [consulté le 22/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.7897/2277-4343.08117>

**-K-**

**KACEM MOHAMED et al. (2011).** Seasonal Variations in Proximate and Fatty Acid Composition of Viscera of *Sardinella aurita*, *Sarpa salpa*, and *Sepia officinalis* from Tunisia. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 20(2):pp 233–246, [consulté le 14/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1080/10498850.2011.560365>

**KEAPAI WARANYA et al. (2016).** Evaluation of fish oil-rich in MUFAs for anti-diabetic and anti-inflammation potential in experimental type 2 diabetic rats. *The Korean Journal of Physiology & Pharmacology: Official Journal of the Korean Physiological Society and the Korean Society of Pharmacology*, 20(6):pp 581–593, [consulté le 11/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.4196/kjpp.2016.20.6.581>

**KENNEDY D-O., (2016).** B Vitamins and the Brain: Mecanisms, Dose and efficacy. *Nutrients*, [consulté le 24/03/2020]. Disponible sur le web: <https://dx.doi.org/10.3390%2Fnu8020068>

**KETATA KHITOUNI ILHEM et al. (2011).** Global chemical composition of the méditerranéan horse mackerel *Trachurus mediterraneus*: variations according to muscle type and fish sex. *Journal de La Société Chimique de Tunisie*, 13 :pp 123–132.

**KOCATEPE DEMET *et al.* (2011).** Effects of cooking methods on the proximate composition of black sea anchovy (*Engraulis encrasicolus*, Linnaeus 1758). *Gida*, 36:pp 71–75.

**KRISTINSSON HORDUR et RASCO BARBARA (2000).** Fish Protein Hydrolysates: Production, Biochemical, and Functional Properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40, 43–81, [consulté le 24/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1080/10408690091189266>

**-L-**

**L'AGRICULTURE O. DES N-U-POUR L'ALIMENTATION., (2018).** La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2018: Atteindre les objectifs de développement durable. *Food & Agriculture Org (FAO)*.

LABORATOIRE ENSSMAL, LBCM2., mars 2020.

**LE-GOFF P (2013).** Tritium from ecosystem to man. Study of mechanisms and constants controlling the equilibria and the different transfer pathways (No. FRCEA-TH--5676). Univ. de Besancon, [consulté le 22/03/2020]. Disponible sur le web: [http://inis.iaea.org/Search/search.aspx?orig\\_q=RN:45087453](http://inis.iaea.org/Search/search.aspx?orig_q=RN:45087453)

**LEITE MARIANA F *et al.* (2014).** Effect of astaxanthin and fish oil on enzymatic antioxidant system and  $\alpha$ -amylase activity of salivary glands from rats. *Brazilian Journal of Oral Sciences*, 13(1):pp 58–63, [consulté le 22/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1590/1677-3225v13n1a12>

LIBERT M-J., 2019- Oméga-3 : quelle supplémentation apporte le meilleur bénéfice thérapeutique pour le patient ?. thèse de doctorat 3ème cycle. univ. lille2. <http://pepite.univ-lille2.fr/notice/view/UDSL2-workflow-11969>

**LIZÁRRAGA-VELÁZQUEZ CYNTHIA ESMERALDA *et al.* (2018)-** Effect of hydrophilic and lipophilic antioxidants from mango peel (*Mangifera indica* L. cv. Ataulfo) on lipid peroxidation in fish oil. *CyTA - Journal of Food*, 16(1):pp 1095–1101, [consulté le 08/05/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1513425>

**LOZANO G. et HARDISSON A, (2003).** FISH | Fish as Food. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)* (pp. 2417–2423). Oxford: Academic Press, [consulté le 17/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00467-3>

**LUTEN J-P. (2009).** Les aliments fonctionnels marins. 176p. <http://www.ifremer.fr/consult.php?ID=>

**-M-**

**M. LIBERT JULIEN., (2019).** Oméga-3 : quelle supplémentation apporte le meilleur bénéfice thérapeutique pour le patient ?. thèse de doctorat 3ème cycle. univ. lille2, [consulté le 11/05/2020]. Disponible sur le web: <http://pepite.univ-lille2.fr/notice/view/UDSL2-workflow-11969>

**MADRP (2016).** Ministère de l'Agriculture du développement rural et de la pêche. ARCHIVE,Rapport d'activité. document non publié. MADRP

**MADRP (2014).** Ministère de l'Agriculture du développement rural et de la pêche. ARCHIVE. Rapport d'activité. document non publié. MADRP.

**MAJEKODUNMI STEPHEN OLARIBIGBE (2015).** A Review on Centrifugation in the Pharmaceutical Industry. *American Journal of Biomedical Engineering*, 5(2):pp 67–78.

**MALDE M-K et al. (2010).** ORIGINAL ARTICLE: Fish bones – a highly available calcium source for growing pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 94(5), : pp e66–e76. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2009.00979.x>

**MARC FRANÇOISE et al. (2004).** Méthodes d'évaluation du potentiel antioxydant dans les aliments. *M/S : médecine sciences*, 20(4):pp 458–463.

**MARCHAL EMILE (1966).** Teneur en matières grasses et teneur en eau chez deux clupéidés de Côte d'Ivoire (*Sardinella aurita* C.V., *Sardinella eba* C.V.) (Document Scientifique Provisoire - CRO) (p. 14 p. multigr.). Abidjan: CRO, [consulté le 19/03/2020]. Disponible sur le web: <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:10981>

**MARTÍNEZ AURORA et al. (1988).** Purification and characterization of two trypsin-like enzymes from the digestive tract of anchovy *Engraulis encrasicolus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 91(4), 677–684. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(88\)90191-5](https://doi.org/10.1016/0305-0491(88)90191-5)

**MERDZHANOVA A et al. (2011).** fatty acids Composition and Fat Soluble Vitamins Content of Bighead Carp (*Aristichthys nobilis*)- *Medical university of Verna, 55 Marin Drinov St., 9000 Verna*.

**MESNIL DELPHINE (2004).** La chromatographie de partage centrifuge (définition, application à *Lissoclinum bistratum*, comparaison avec la chromatographie liquide basse pression).

**MOONMUN D et al. (2017).** Quantitative Phytochemical Estimation and Evaluation of Antioxidant and Antibacterial Activity of Methanol and Ethanol Extracts of *Heliconia rostrata*. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 79(1): pp79–90, [consulté le 13/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.4172/pharmaceutical-sciences.1000204>

**MPRH (2016).** Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques. archive. Rapport d'activité document non publié : DPRH

**MSC MARINELLA-BARRERO et PHD RAFAEL-A-BELLO (2000).** Characterization of Sardine Minced Flesh (*Sardinella aurita*) Washed with Different Solutions. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 9(3): pp 105–114, [consulté le 03/06/2020]. Disponible sur le web: [https://doi.org/10.1300/J030v09n03\\_08](https://doi.org/10.1300/J030v09n03_08)

**-N-**

**NAEEM M. et SALAM A. (2010).** Proximate composition of fresh water bighead carp, *Aristichthys nobilis*, in relation to body size and condition factor from Islamabad, Pakistan. *African Journal of Biotechnology*, 9(50), :pp 8687–8692, [consulté le 22/07/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.4314/ajb.v9i50>.

**NDE DIVINE-BUP. et FONCHA ANUANWEN-CLARIS (2020).** Optimization Methods for the Extraction of Vegetable Oils: A Review. *Processes*, 8(2):pp 209, [consulté le 18/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.3390/pr8020209>

**NJINKOUE JEAN-MICHEL et al (2011).** Lipids and fatty acids in muscle, liver and skin of three edible fish from the Senegalese coast: *Sardinella maderensis*, *Sardinella aurita* and *Cephalopholis taeniop*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B* 131 (2002) 395–402.

**NORA BENAICHETA (2017).** Effet des protéines de sardine sur le risque cardiométabolique, le statut redox et deux types de cytokines (TNF- $\alpha$  et adiponectine), chez le rat rendu diabétique de type 2, 149p.

**-O-**

**ONC, (2007).** PETITION FOR THE ADDITION OF FISH OIL TO 7 CFR 205.606. canada.185p.

**OKTAVIA B et al. (2008).** Simultaneous Determination of Fe(III) and Fe(II) Ions via complexation with Salicylic Acid and 1,10-Phenanthroline in Microcolumn Ion Chromatography. *Analytical sciences* 24 : pp 1487-1492.

<https://doi.org/10.2116/analsci.24.1487>

**OU BOXIN et al. (2002).** Analysis of Antioxidant Activities of Common Vegetables Employing Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) and Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) Assays: A Comparative Study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(11): pp 3122–3128. <https://doi.org/10.1021/jf0116606>

**OYAIZU MAKOTO (1986).** Studies on products of browning reaction. Antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *The Japanese Journal of Nutrition and Dietetics*, 44(6): pp 307–315, [consulté le 28/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.5264/eiyogakuzashi.44.307>

**ÖZYÜREK MUSTAFA et al. (2011).** The main and modified CUPRAC methods of antioxidant measurement. *Trends in Analytical Chemistry - TrAC*, 30 :pp 652–664, [consulté le 13/08/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2010.11.016>

**ÖZYÜREK MUSTAFA et al. (2012).** Development of a Silver Nanoparticle-Based Method for the Antioxidant Capacity Measurement of Polyphenols. *Analytical Chemistry*, 84(18):pp 8052–8059, [consulté le 14/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1021/ac301925b>

**-P-**

**PASUPULETI VIJAI-K. et BRAUN STEVEN (2010).** State of the Art Manufacturing of Protein Hydrolysates. In V. K. Pasupuleti & A. L. Demain (Eds.), *Protein Hydrolysates in Biotechnology*. pp: 11–32. Dordrecht: Springer Netherlands, [consulté le 22/07/2020]. Disponible sur le web: [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6674-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6674-0_2)

**PENCHEV PETKO (2010).** Étude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plantes par couplage de techniques séparatives à basses et hautes pressions. thèse de doctorat 3<sup>ème</sup> cycle.univ.toulouse, [consulté le 17/06/2020]. Disponible sur le web: <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00001338/>

**PETROVA INNA et al. (2018).** Production of fish protein hydrolysates step by step: technological aspects, equipment used, major energy costs and methods of their minimizing. *International Aquatic Research*, 10(3):pp 223–241, [consulté le 22/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1007/s40071-018-0207-4>

**PIKE IAN et JACKSON ANDREW (2010).** Fish oil: Production and use now and in the future. *Lipid Technology*, 22 :pp 59–61, [consulté le 14/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1002/lite.201000003>

**PIRES C et al. (2012).** Properties of protein powder prepared from Cape hake by-products. *Journal of Food Engineering*, 108(2):pp 268–275, [consulté le 22/06/2020]. Disponible sur le w <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.08.020>

**POPOVICI CRISTINA et al. (2010).** Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. [consulté le 20/06/2020]. Disponible sur le web: [/paper/Evaluation-de-l-activit%C3%A9-antioxydant-des-compos%C3%A9s-Popovici-Saykova/deb39bc9ac9c7fa44b6aa5a7b6241dadf8dad70d](http://www.scribd.com/paper/Evaluation-de-l-activit%C3%A9-antioxydant-des-compos%C3%A9s-Popovici-Saykova/deb39bc9ac9c7fa44b6aa5a7b6241dadf8dad70d)

**PUGLIA CARMELO et al. (2005).** In vitro percutaneous absorption studies and in vivo evaluation of anti-inflammatory activity of essential fatty acids (EFA) from fish oil extracts. *International Journal of Pharmaceutics*, 299(1–2):pp 41–48, [consulté le 11/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2005.04.031>

**-R-**

**RAHMANI ZEHOUR et SAIDI MOKHTAR (2015).** Etude de la relation structure-activité antioxydante et antihémolyse des érythrocytes humaines par quelques dithiolethiones et composés phénoliques. thèse de doctorat 3<sup>ème</sup> cycle, [consulté le 10/06/2020]. Disponible sur le web: <http://dspace.univ-ouargla.dz:8080/jspui/handle/123456789/19845>

**RAYNAL-LJUTOVAC KETSIA et al. (2011).** Organisation structurale et moléculaire des lipides dans les aliments : impacts possibles sur leur digestion et leur assimilation par l'Homme. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 18(6):pp 324–351. <https://doi.org/10.1051/ocl.2011.0415>

**RE R. et al. (1999).** Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26(9–10) :pp 1231–1237, [consulté le 11/08/2020]. Disponible sur le web: [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)

**REARDON PATRICK-N et al. (2018).** Carbohydrates protect protein against abiotic fragmentation by soil minerals. *Scientific Reports*, 8(1):pp 813, [consulté le 11/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-19119-7>

**REDDY N-JAYACHANDRA et al. (2014).** Evaluation of antioxidant, antibacterial and cytotoxic effects of green synthesized silver nanoparticles by Piper longum fruit. *Materials Science and Engineering: C*, 34:pp 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.08.039>

**REKSTEN AMALIE-M et al. (2020).** Nutrient and Chemical Contaminant Levels in Five Marine Fish Species from Angola—The EAF-Nansen Programme. *Foods*, 9(5), [consulté le 08/08/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.3390/foods9050629>

**RICE H-B. et ISMAIL A. (2016).** Chapter 6 - Fish Oils in Human Nutrition: History and Current Status. In S. K. Raatz & D. M. Bibus (Eds.), *Fish and Fish Oil in Health and Disease Prevention* :pp 75–84. San Diego: Academic Press, [consulté le 17/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802844-5.00006-3>

**RINCÓN-CERVERA MIGUEL ÁNGEL et al. (2017).** Comparison of fatty acid profiles of dried and raw by-products from cultured and wild fishes. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(9):pp 1600516, [consulté le 02/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600516>

**RITTER JENNA C. SULLIVAN *et al.* (2013).** Quality analysis of commercial fish oil preparations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(8):pp 1935–1939, [consulté le 13/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1002/jsfa.5994>

**ROMDHANE MOHAMED SALAH (2012).** Etude de la variation de la composition nutritionnelle pour la valorisation de la sardine et de la sardinelle. Institut National Agronomique de Tunisie INAT. Tunis-Mahrajène. 4p, [consulté le 22/09/2020]. Disponible sur le web: [http://www.iresa.agrinet.tn/pdfs/FRR\\_sardine\\_finale%20\\_1\\_.pdf](http://www.iresa.agrinet.tn/pdfs/FRR_sardine_finale%20_1_.pdf)

**ROSA RUI *et al.* (2010).** Bioenergetics of small pelagic fishes in upwelling systems: Relationship between fish condition, coastal ecosystem dynamics and fisheries. *Marine Ecology-Progress Series - MAR ECOL-PROGR SER*, 410: pp 205–218, [consulté le 11/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.3354/meps08635>

**RUBIO-RODRÍGUEZ NURIA *et al.* (2008).** Supercritical fluid extraction of the omega-3 rich oil contained in hake (*Merluccius capensis*–*Merluccius paradoxus*) by-products: Study of the influence of process parameters on the extraction yield and oil quality. *The Journal of Supercritical Fluids*, 47(2):pp 215–226, [consulté le 12/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2008.07.007>

**RUBIO-RODRÍGUEZ NURIA *et al.* (2012).** Supercritical fluid extraction of fish oil from fish by-products: A comparison with other extraction methods. *Journal of Food Engineering*, 109(2):pp 238–248. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.011>

**-S-**

**SANFILIPPO MARILENA *et al.* (2006).** Chemical Composition and Nutritional Value of *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) Caught by Driftnet ‘Menaide’ along Sicilian Coast: a Natural Food for Mediterranean Diet, [consulté le 02/06/2020]. Disponible sur le web: [https://www.researchgate.net/publication/232241764\\_Chemical\\_Composition\\_and\\_Nutritional\\_Value\\_of\\_Engraulis\\_encrasicolus\\_Linnaeus\\_1758\\_Caught\\_by\\_Driftnet\\_Menaide\\_along\\_Sicilian\\_Coast\\_a\\_Natural\\_Food\\_for\\_Mediterranean\\_Diet](https://www.researchgate.net/publication/232241764_Chemical_Composition_and_Nutritional_Value_of_Engraulis_encrasicolus_Linnaeus_1758_Caught_by_Driftnet_Menaide_along_Sicilian_Coast_a_Natural_Food_for_Mediterranean_Diet)

**SANTOS NIDIA-C-C-DOS *et al.* (2020).** Omega-3 PUFA and aspirin as adjuncts to periodontal debridement in patients with periodontitis and type 2 diabetes mellitus: Randomized clinical trial. *Journal of Periodontology*, [consulté le 13/05/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1002/JPER.19-0613>

**SANTOS-SÁNCHEZ NORMA-F *et al.* (2019).** Antioxidant Compounds and Their Antioxidant Mechanism. *Antioxidants*. [consulté le 17/08/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.5772/intechopen.85270>

**SELLAMI MOHAMED *et al.* (2014).** Lipid composition and antioxidant activity of liver oils from ray species living in Tunisian coasts. *Arabian Journal of Chemistry*, 226p. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.07.010>

**SELMI S. et SADOK S. (2006).** Evaluation de la qualité sensorielle et biochimique de la sardinelle ronde ‘*Sardinella aurita*’ au cours du stockage dans l’eau de mer refroidie a la glace. <https://www.oceandocs.org/handle/1834/4277>

**SÉNE M. *et al.* (2015).** activité anti-oxydante d'un extrait d'écorce de dialium guineense (caesalpiniaceae) - URL, [consulté le 17/08/2020]. Disponible sur le web: <https://docplayer.fr/163981822-Activite-anti-oxydante-d-un-extrait-d-ecorce-de-dialium-guineense-caesalpiniaceae.html>

**SENEVIRATHNE MAHINDA et al. (2012).** Chapter 32 - Utilization of Seafood Processing By-products: Medicinal Applications. In S.-K. Kim (Ed.), *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 65, pp. 495–512). Academic Press, [consulté le 10/08/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416003-3.00032-9>

**SHAVANDI AMIN et al. (2019).** Marine Waste Utilization as a Source of Functional and Health Compounds. In *Advances in Food and Nutrition Research*, 87: pp 187–254. Elsevier, [consulté le 17/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2018.08.001>

**SHAVIKLO AMIR-R. (2015).** Development of fish protein powder as an ingredient for food applications: review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2):pp 648–661. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1042-7>

**SHAVIKLO GHOLAM-R. et al. (2011).** Chemical properties and sensory quality of ice cream fortified with fish protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(7):pp 1199–1204, [consulté le 10/08/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1002/jsfa.4299>

**ŠIMAT VIDA et al. (2012).** Seasonal changes in proximate composition of anchovy (*Engraulis encrasicolus*, L.) from the central Adriatic. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=AV20120101209>

**SRIDHAR KANDI et CHARLES ALBERT LINTON (2019).** In vitro antioxidant activity of Kyoho grape extracts in DPPH and ABTS assays: Estimation methods for EC50 using advanced statistical programs. *Food Chemistry*, 275 :pp 41–49, [consulté le 10/08/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.040>

**STAHL EGON (1969).** Thin-Layer Chromatography: A Laboratory Handbook (2nd ed.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, [consulté le 17/08/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-88488-7>

**STAMP LISA-K. et CLELAND LESLIE-G. (2017).** Chapter 68 - Nutrition and Rheumatic Diseases. In G-S Firestein R-C. Budd S-E. Gabriel I-B. McInnes et J-R. O'Dell (Eds.), *Kelley and Firestein's Textbook of Rheumatology* (Tenth Edition): pp 1096-1114.e5. Elsevier, [consulté le 17/09/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-31696-5.00068-1>

**-S-**

**SZYDŁOWSKA-CZERNIAK ALEKSANDRA et al. (2008).** Determination of antioxidant capacities of vegetable oils by ferric-ion spectrophotometric methods. *Talanta*, 76(4):pp 899–905, [consulté le 11/08/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.04.055>

**SZYDŁOWSKA-CZERNIAK ALEKSANDRA et al. (2012).** A silver nanoparticle-based method for determination of antioxidant capacity of rapeseed and its products. *Analyst*, 137(16):pp 3750–3759, [consulté le 11/08/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1039/C2AN35326A>

**-T-**

**TENG HUI et CHEN LEI (2017).**  $\alpha$ -Glucosidase and  $\alpha$ -amylase inhibitors from seed oil: A review of liposoluble substance to treat diabetes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, [consulté le 10/08/2020]. Disponible sur le web: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2015.1129309>

**TESFALDET ZERIET-O. et al. (2004).** Sequential injection spectrophotometric determination of iron as Fe(II) in multi-vitamin preparations using 1,10-phenanthroline as complexing agent. *Talanta*, 64(5):pp 1189–1195, [consulté le 17/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2004.02.044>

**TUFAN BEKIR et al. (2016).** Comparison of Proximate Composition and Fatty Acid Profile of On-Growing and Wild Mediterranean Horse Mackerel (*Trachurus mediterraneus*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 25(8):pp 1284–1300, [consulté le 17/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1080/10498850.2015.1056398>

**TURAL SERRPIL et TURHAN SADETTIN (2017).** Effect of anchovy by-product protein coating incorporated with thyme essential oil on the shelf life of anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) fillets. *Food Science and Biotechnology*, 26:pp 1–9, [consulté le 11/06/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0185-0>

**TZIKAS Z et al. (2007).** Seasonal variation in the chemical composition and microbiological condition of Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) muscle from the North Aegean Sea (Greece). *Food Control*, 18(3):pp 251–257, [consulté le 12/08/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.10.003>

**-V-**

**VANAPATLA SWAROOPA RANI (2020).** Inhibitory Effect of Some Bioactive Extracts on Alpha Amylase and Alpha Glucosidase Enzymes Linked to Type 2 Diabetes (*SSRN Scholarly Paper No. ID 3529048*). [consulté le 11/06/2020]. Disponible sur le web: <https://papers.ssrn.com/abstract=3529048>

**VENUGOPAL V. (2016).** Enzymes from Seafood Processing Waste and Their Applications in Seafood Processing. *Advances in Food and Nutrition Research*, 78 :pp. 47–69. Elsevier, [consulté le 10/08/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2016.06.004>

**VISENTAINER JESUÍ VERGILIO et al. (2000).** Concentração de ácido eicosapentaenóico (EPA) e ácido docosahexaenóico (DHA) em peixes marinhos da costa brasileira. *Food Science and Technology*, 20(1):pp 90–93, [consulté le 17/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612000000100017>

**-W-**

**WANG LIMEI et al. (2018).** Isolation and identification of novel antioxidant and antimicrobial oligopeptides from enzymatically hydrolyzed anchovy fish meal. *Process Biochemistry*, 74:pp 148–155, [consulté le 11/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2018.08.021>

**WANG YUE et HUANG FEIRO (2015).** N-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Inflammation in Obesity: Local Effect and Systemic Benefit. *BioMed Research International*, [consulté le 11/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1155/2015/581469>

**WEATHERLEY A-H. et al. (1987).** The Biology of Fish Growth. *Academic Press*.

**WU HAOHAO et al. (2012).** Enzymatic preparation and characterization of iron-chelating peptides from anchovy (*Engraulis japonicus*) muscle protein. *Food Research International*, 48(2):pp 435–441, [consulté le 17/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.04.013>

**WU RIBANG *et al.* (2015).** Overview of Antioxidant Peptides Derived from Marine Resources: The Sources, Characteristic, Purification, and Evaluation Methods. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 176(7) :pp 1815–1833, [consulté le 11/04/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1007/s12010-015-1689-9>

**-X-**

**XU CHEN *et al.* (2013).** Superoxide generated by pyrogallol reduces highly water-soluble tetrazolium salt to produce a soluble formazan: A simple assay for measuring superoxide anion radical scavenging activities of biological and abiological samples. *Analytica Chimica Acta*, 793: pp 53–60, [consulté le 10/07/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2013.07.027>

**-Y-**

**YALÇIN KAYA HÜLYA TURAN (2008).** Comparison of protein, lipid and fatty acids composition of anchovy (*Engraulis encrasicolus* l. 1758) during the catching season. [consulté le 17/08/2020]. Disponible sur le web: [https://www.researchgate.net/publication/230274257\\_Comparison\\_of\\_protein\\_lipid\\_and\\_fatty\\_acids\\_composition\\_of\\_anchovy\\_engraulis\\_encrasicolus\\_l\\_1758\\_during\\_the\\_commercial\\_catching\\_season](https://www.researchgate.net/publication/230274257_Comparison_of_protein_lipid_and_fatty_acids_composition_of_anchovy_engraulis_encrasicolus_l_1758_during_the_commercial_catching_season)

**YANG CHIUN-YING *et al.* (2019).** Inhibitory effects of pu-erh tea on alpha glucosidase and alpha amylase: a systemic review. *Nutrition & Diabetes*, 9(1):pp 1–6, [consulté le 10/07/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1038/s41387-019-0092-y>

**-Z-**

**ZAHIA BOUCHERIT., (2014).** Composition chimique et activité antioxydante d'extraits organiques des racines de *Fredolia aretioides* de la région de Béchar en Algérie. *Phytérapie*.

**ZENGIN GOKHAN *et al.* (2014).** A comprehensive study on phytochemical characterization of *Haplophyllum myrtifolium* Boiss. endemic to Turkey and its inhibitory potential against key enzymes involved in Alzheimer, skin diseases and type II diabetes. *Industrial Crops and Products*, 53: pp 244–251, [consulté le 17/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.12.043>

**ZINN K. E *et al.* (2009).** Fish protein substrates can substitute effectively for poultry by-product meal when incorporated in high-quality senior dog diets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 93(4):pp 447–455, [consulté le 19/03/2020]. Disponible sur le web: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00826.x>

# **ANNEXES**

## ANNEXES

## Annexe I : matériel et appareils utilisés

## Matériel du laboratoire

- |  |                    |   |
|--|--------------------|---|
| * Ampoule à décanter.                  | * Béchers.         | * Pipettes et pro-pipettes.                       |
| * Tubes Eppendorf.                     | * Erlenmeyers.     | * Matériels de dissection.                        |
| * Micropipettes de différents volumes. | * Éprouvettes.     | * Boîtes à conservations.                         |
| * Microplaques à fond plat.            | * Flacons.         | * Tamis.  |
| * Ballons à fond plat et à fond rond.  | * Spatules.        | * Cristalliseur.                                  |
| * Portoirs.                            | * Verres à montre. | * Plaques de gel de silice.                       |
| * Papier filtre.                       | * Bacs.            | * Papier aluminium, papier cuisson, fil à cuisson |
| * Tubes à vis et micro-tubes.          | * Compresses.      | * Membrane semi-perméable.                        |
|  | * Creusets.        |   |
|  | * Entonnoir.       |   |

## Appareillage

- |   |   |
|---|---|
| * Autoclave (SANOclav).                             | * Rotavapeur (IKA).                     |
| * Lecteur de microplaque (PerkinElmer).             | * pH mètre (METTLER TOLEDO).            |
| * Etuve.  | * Centrifugeuse réfrigérée (Sigma 2-6). |
| * Appareil Soxhlet (HUBER).                         | * Four à moufle (WISETHERM).            |
| * Balance à précision $10^{-6}$ (SHIMADZU et KERN). | * Mixeur.                               |
| * Spectrophotomètre UV-Visible (SIGMA).             | * Dessiccateur.                         |

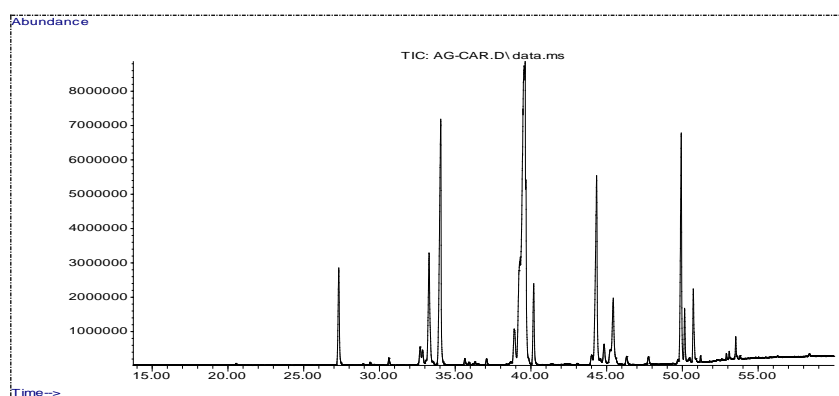
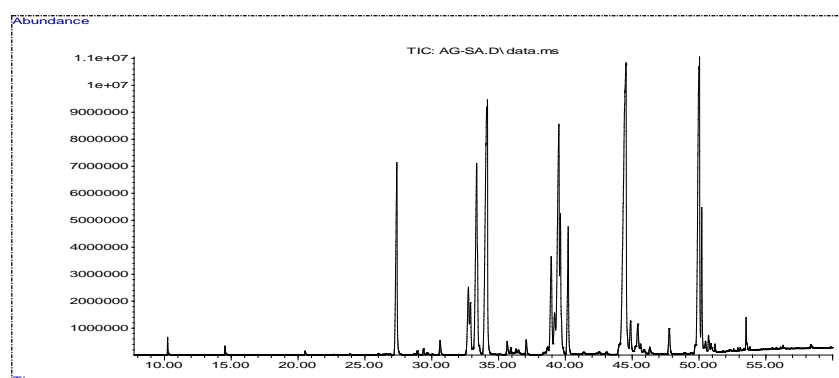
## Annexe II: Réactifs pour l'étude des activités anti-oxydantes

Réactifs	Compositions	Quantités
2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl	DPPH	6 mg
	Méthanol	100 ml
Galvinoxyl	Galvinoxyl	4 mg
	Méthanol	100 ml
ABTS <sup>•+</sup> (7 mM)	ABTS	19,2 mg
	H <sub>2</sub> O	5 ml
	K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (2.45 mM)	3,3 mg
	H <sub>2</sub> O	5 ml
Acétate d'ammonium	ACNH <sub>4</sub>	1,927 g
	H <sub>2</sub> O	25 ml
Chlorure de cuivre	CuCl <sub>2</sub> , 2H <sub>2</sub> O	0,042625g
	H <sub>2</sub> O	25 ml
Néocuproïne	Neocupronin	0,039 g
	MeOH	25 ml
Potassium de Ferricyanure de (1%)	K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>	1 g
	H <sub>2</sub> O	100 ml
Acide tri-chloroacétique (10%)	TCA (10%)	1 g
	H <sub>2</sub> O	10 ml
Chlorure de fer anhydre (0,1%)	FeCl <sub>3</sub>	0,1 g
	H <sub>2</sub> O	100 ml
Chlorure de fer anhydre (0,2%)	FeCl <sub>3</sub>	0.02g
	H <sub>2</sub> O	10ml
phénantroline (0,5%)	1,10-Phenanthroline	0.05g
	MeOH	10ml
Sulfate de fer (8mM)	FeSO <sub>4</sub>	22,24 mg
	7H <sub>2</sub> O	10 ml
AgNP	AgNO <sub>3</sub> (1.0 mM)	50 ml
	Trisodium citrate (1%)	5 ml

## Annexe III: Réactifs pour l'étude des activités enzymatiques

Réactifs	Compositions	Quantités
Antidiabétique		
Acide Chlorhydrique (1M)	H <sub>2</sub> O	45.83 ml
	HCl pure	4.17 ml
Iodure de potassium iode IKI	KI	3 g
	H <sub>2</sub> O	100 ml
	Iodine (5mM)	127 mg
Tampon	Tampon phosphate (pH 6.9)	100 ml
	6mM NaCl	35.1 mg

## Annexes III : Chromatogrammes de l'analyse CPG/SM.

Figure 1 : Chromatogramme de l'analyse CPG/SM de l'huile de l'espèce *Aristichthys nobilis*.Figure 2 : Chromatogramme de l'analyse CPG/SM de l'huile de l'espèce *Sardinella aurita*.

# RÉSUMÉ

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية وتقييم منتجات الصيد الثانوية والصيد العرضي البحري والقاري. ما يخص الزيوت المستخرجة بالطرق التقليدية (المذيبات وتحت ضغط البخار) من بعض أسماك السطح البحرية العذبة *Engraulis encrasicolus*, *Trachurus mediterraneus*, *Sardinella aurita* و نوع من أسماك المياه العذبة *Aristichthys nobilis* كما أجريت دراسة حول خصائصها الدوائية. على الرغم من أن التركيب الكيميائي العام للأسماك يتأثر بعدة عوامل مثل الموسم ومنطقة الصيد، العمر والنضج الجنسي، تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن الأنواع المدروسة تصنف على أنها أسماك خالية من الدهون حتى دهنية. أظهرت نتائج كل من تحليلي CPG/SM و CCM لزيوت الأسماك أن الأنواع البحرية والقارية غنية بالأحماض الدهنية المشبعة (حمض النخيل)، الأحماض الدهنية الأحادية الغير مشبعة (حمض الزيت) و الأحماض الدهنية المتعددة الغير مشبعة سواء حرة أو على شكل دهون ثلاثية (حمض الإيكوساينتانويك و حمض الدوكوساهيكسانويك). تمت دراسة النشاط البيولوجي للمستخلصات الزيتية للأنواع *Aristichthys nobilis* و *Engraulis encrasicolus* *Trachurus mediterraneus*, *Sardinella aurita* من خلال التقييم المخبري لأنشطة مضادات الأكسدة ومضادات السكري بالاعتماد على اختبارات مختلفة. يظل نشاط محاصرة وإرجاع DPPH, ABTS, CUPRAC, FRAP, phénanthroline وجسيمات الفضة النانوية منخفضا بالنسبة لجميع الزيوت المستخرجة. من ناحية أخرى، أظهر مستخلص نوع *S.aurita* نشاط تثبيط قوي لإنزيم  $\alpha$ -amylase بنسبة 29.15٪، أعلى من تلك التي تخص دواء أكاربوز المستعمل كمعيار وهي 7.76٪. أخيراً، استنادا على هذه النتائج، يمكن الاستنتاج أن الزيوت التي تم استخلاصها من النوع *S.aurita* قد أظهرت أنشطة بيولوجية واعدة في المختبر والتي تتطلب المزيد من الدراسات في الجسم الحي والأبحاث السريرية المتعمقة باعتبارها مضادات لمرض السكري.

**الكلمات المفتاحية:** *Aristichthys nobilis*, *Engraulis encrasicolus*, *Trachurus mediterraneus*, *Sardinella aurita* التركيب الكيميائي العام، الزيوت المستخرجة، تحليلي CPG/SM و CCM لزيوت الأسماك، مضادات الأكسدة ومضادات السكري.

## RÉSUMÉ

L'objectif général du présent travail est la caractérisation physico-chimique et la valorisation des coproduits et des produits issus des activités de la pêche accessoire marine et continentale. Il s'agit des huiles extraites par méthodes conventionnelles (solvants et sous pression de vapeur) à partir de quelques petits pélagiques marins (*Sardinella aurita* ; *Trachurus mediterraneus* ; *Engraulis encrasicolus*) et une espèce d'eau douce *Aristichthys nobilis*. L'étude de leurs propriétés pharmacologiques a été également entreprise. Bien que la composition chimique globale du poisson soit conditionnée par plusieurs facteurs tels que la saison, la zone de pêche, l'âge et la maturité sexuelle, les résultats obtenus montrent que les espèces étudiées sont classées en poissons maigre, semi-gras à gras. L'analyse par CCM et CPG/SM des huiles de poisson a montré que les espèces marines et continentales sont riches en acides gras saturés (acide palmitique), en acides gras monoinsaturés (acide oléique), et polyinsaturés libres ou sous forme de triglycérides (acide docosahexaénoïque DHA et acide eicosapentaénoïque EPA). L'activité biologique des extraits huileux des espèces *Sardinella aurita*, *Trachurus mediterraneus*, *Engraulis encrasicolus* et *Aristichthys nobilis* a été réalisé par l'évaluation *in vitro* des activités antioxydantes et antidiabétique à l'aide de divers tests. L'activité de piégeage et de réduction du DPPH, de l'ABTS, du CUPRAC, de la FRAP, de la phénanthroline et des nanoparticules d'argent reste faible pour l'ensemble des huiles extraites. En revanche, l'extrait de l'espèce *Sardinella aurita* a montré une forte activité d'inhibition de l'enzyme  $\alpha$ -amylase de l'ordre de 29,15 % supérieure à celle du standard Acarbose qui est de 7,76 %. Enfin, à partir des résultats, on peut conclure que les huiles issues de *S. aurita* ont démontré des activités

biologiques prometteuses *in vitro* ce qui nécessite d'autres études *in vivo* et des recherches cliniques approfondies en tant qu'agents antidiabétiques.

**Mots clés :** *Sardinella aurita*, *Trachurus mediterraneus*, *Engraulis encrasicolus*, *Aristichthys nobilis*, composition chimique globale, extraction des huiles, composition chimique des huiles (CCM-CPG/SM), activité anti-oxydante, activité antidiabétique.

### ABSTRACT

The general objective of the present work is the physico-chemical characterization and valorization of co-products and products resulting from the marine and continental marine accessory fishing. It's about oils extracted by conventional methods (solvents and under steam pressure) from some small marine pelagic species (*Sardinella aurita*; *Trachurus mediterraneus*; *Engraulis encrasicolus*) and a freshwater species *Aristichthys nobilis*.

The study of their pharmacological properties was also undertaken. Although the overall chemical composition of the fish is conditioned by several factors such as fishing season and area, age, sexual maturity, the results obtained show that the species studied are classified as lean, semi-fat to fat fish. TLC and GC/MS analysis of fish oils showed that marine and continental species are rich in saturated fatty acids (palmitic acid), monounsaturated fatty acids (oleic acid), and free polyunsaturated or triglycerides (docosahexaenoic acid DHA and eicosapentaenoic acid EPA). The biological activity of the oily extracts of the species *Sardinella aurita*, *Trachurus mediterraneus*, *Engraulis encrasicolus* and *Aristichthys nobilis* has been achieved by the *in vitro* evaluation of antioxidant and antidiabetic activities using various tests. The scavenging and reduction activity of DPPH, ABTS, CUPRAC, FRAP, phenanthroline and silver nanoparticles remain low for all extracted oils. On the other hand, the extract of the *Sardinella aurita* species showed a strong inhibition activity of the enzyme  $\alpha$ -amylase of the order of 29.15% higher than that of the Acarbose standard which is 7.76%. Finally, from these results, we can conclude that the oils derived from *S. aurita* have shown promising biological activities *in vitro*, which requires further *in vivo* studies and in-depth clinical research as antidiabetic agents.

**Key words:** *Sardinella aurita*, *Trachurus mediterraneus*, *Engraulis encrasicolus*, *Aristichthys nobilis*, overall chemical composition, oil extraction, chemical composition of the oils (TLC-GC/MS), antioxidant activity, antidiabetic activity.

